

**Universidad Nacional  
Abierta y a Distancia**



## **FÍSICA ELECTRÓNICA**

**Freddy Reynaldo Téllez Acuña<sup>1</sup>  
(Versión Preliminar)**

**UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA - UNAD  
FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA  
2005**

---

<sup>1</sup> Docente de la Unad. Ingeniero Electricista UIS. Magíster en Potencia Eléctrica UIS.

## CONTENIDO DEL CURSO

	Pág.
Presentación .....	5
Introducción .....	8
<b>UNIDAD 1. FUNDAMENTOS DE ELECTRICIDAD</b>	
<b>Capítulo 1. Naturaleza de la Electricidad .....</b>	<b>11</b>
1. El Electrón .....	12
2. La Corriente Eléctrica .....	12
3. Fuentes de Electricidad .....	17
<b>Capítulo 2. Circuitos Eléctricos .....</b>	<b>18</b>
1. Componentes de un Circuito Eléctrico .....	19
2. Ley de Ohm .....	21
3. Resistencia Eléctrica .....	23
4. Fuerza Electromotriz .....	28
5. Potencia Eléctrica .....	39
6. Circuitos Serie y Paralelo .....	47
7. Leyes de Kirchhoff .....	50
8. Corriente Continua y Alterna .....	54
<b>Capítulo 3. Electrostática y Electromagnetismo .....</b>	<b>59</b>
1. Capacitancia .....	60
2. Condensadores .....	72

3. Condensadores en Serie y Paralelo .....	78
4. Campos Magnéticos .....	84
5. Inductancia .....	88
6. Inductancias en Serie y Paralelo .....	90
7. El Transformador .....	92

## **UNIDAD 2. FUNDAMENTOS DE SEMICONDUCTORES**

### **Capítulo 1. Introducción a los Semiconductores ..... 96**

1. Estructura Atómica .....	97
2. Aisladores, Conductores y Semiconductores .....	99
3. Tipo de Materiales: N y P .....	105
4. Unión P-N .....	107

### **Capítulo 2. Dispositivos Semiconductores ..... 123**

1. El Diodo .....	123
2. Otros Tipos de Diodos .....	130
3. El Transistor .....	134
4. Circuitos Integrados .....	136
5. Otros Dispositivos .....	138

## **UNIDAD 3. FUNDAMENTOS DE ELECTRÓNICA DIGITAL**

### **Capítulo 1. Introducción a la Electrónica Digital ..... 148**

1. Conceptos Introdutorios .....	149
2. Compuertas Lógicas .....	157

3. Implementación de Funciones Lógicas .....	158
4. Teoremas Booleanos .....	160
<b>Capítulo 2. Circuitos Combinaciones .....</b>	<b>168</b>
1. Circuitos Aritméticos .....	169
2. Comparadores de Magnitud .....	170
3. Codificadores y Decodificadores .....	172
4. Multiplexores y Demultiplexores .....	173
<b>Capítulo 3. Circuitos Secuenciales .....</b>	<b>168</b>
1. Biestables y Flip – Flops .....	169
2. Registros .....	170
3. Contadores .....	172
<b>APÉNDICE A. Equipo Básico de Laboratorio .....</b>	<b>184</b>
<b>APÉNDICE B. Notación Científica .....</b>	<b>188</b>
<b>APÉNDICE C. Unidades y Prefijos .....</b>	<b>189</b>
<b>INFORMACIÓN DE RETORNO .....</b>	<b>194</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>212</b>

## PRESENTACIÓN

Nuestro país progresivamente ha venido entrando en la modernización tecnológica, que hasta hace algunos años era aplicada sólo en países altamente industrializados. Este avance continuo y vertiginoso en la transformación de nuestras industrias, hace imprescindible para muchas personas obtener una información rápida y clara sobre las bases en las que se soporta todo este desarrollo.

El presente Módulo, elaborado para el curso de Física Electrónica de la UNAD, tiene entonces como finalidad principal, el desarrollo de las habilidades y destrezas necesarias para que los estudiantes se enfrenten con cierta propiedad ante las situaciones que puedan surgir en esta sociedad tecnificada. Además está diseñado para estudiantes con o sin conocimientos previos en la materia y les permitirá conocer, entre otros, los siguientes aspectos :

- Conceptos de electricidad y electrónica.
- Elementos y tipos de circuitos.
- Leyes básicas de los circuitos eléctricos.
- Descripción general de los principales elementos electrónicos.
- Teoría de los elementos semiconductores.
- Fundamentos de la electrónica digital.

### **Explicación metodológica.**

A lo largo de cada uno de los capítulos encontrará el siguiente esquema:

**Introducción:** en ella se da una justificación de la existencia del capítulo, además de los conceptos que se aprenderán en el mismo. A pesar de ser corta se ha buscado que sea lo suficientemente concisa para que tenga una idea clara de lo que se va a estudiar.

**Evaluación de conceptos previos:** en esta parte se encuentran una serie de preguntas de control, las cuáles permitirán averiguar el grado de conocimiento que se posee previamente del tema. Además sirve como guía de los conceptos que se aprenderán a lo largo del capítulo.

**Desarrollo del tema:** en esta parte se desarrollará el tema correspondiente al capítulo y se presentarán diversos ejemplos, los cuales aclararán los conceptos estudiados.

**Taller experimental:** su principal propósito es aplicar los conceptos aprendidos, en una experiencia de laboratorio. Se tratará de trabajar con los principales elementos y componentes existentes en el mercado nacional, para que se pueda realizar la totalidad de los talleres propuestos.

**Evaluación final:** en esta sección se evalúan los conocimientos teóricos aprendidos, y su capacidad de emplearlos en la solución de problemas. Los problemas presentados requieren que usted haya leído cuidadosamente el material inicial. Se espera que usted pueda solucionarlos todos. Puede darse el caso de que no logre solucionar algún problema, en ese caso es muy importante que tenga en claro el porqué no ha podido solucionarlo y busque ayuda.

Al final de cada capítulo encontrará una pequeña sección de **palabras claves para búsqueda en Internet**. Estas palabras claves se pueden digitar en un buen buscador de Internet, por ejemplo <http://www.google.com>. La lista de páginas y textos será extensa, sin embargo es un buen ejercicio que busque algunas páginas, las abra y revise los principales conceptos que pueden ayudar a su formación.

Además de las palabras claves para búsqueda en Internet, al final del módulo encontrará también una **BIBLIOGRAFÍA de textos escritos** y algunas **Páginas de Internet recomendadas**. Es importante que empiece también a consultar algunos textos en inglés, ya que esto formará una parte muy importante en su ejercicio profesional.

Es mi más profundo anhelo, que este texto sirva para enriquecer sus conocimientos y le permitan desempeñarse mejor en nuestra sociedad. Por ello estamos atentos en la Universidad a recibir cualquier comentario y sugerencia que Ud. nos pueda brindar para mejorarlo.

## INTRODUCCIÓN

Los dispositivos electrónicos y digitales, basados principalmente en componentes semiconductores y circuitos integrados, son los pilares de la tecnología moderna.

Por tal motivo, el estudio de tópicos relacionados con la electrónica ( fundamentos físicos, características de operación y aplicaciones ), se constituye en un componente esencial para todo profesional de cualquier ingeniería, en especial, para aquellos relacionados con la computación, las redes y telecomunicaciones.

La electrónica se encuentra en nuestra vida diaria en forma de teléfonos, receptores de radio, televisores, equipo de audio, aparatos domésticos, computadoras y equipo para el control y la automatización industrial. Se ha convertido tanto en un estímulo como en una parte integral del crecimiento y desarrollo tecnológico actual en los diferentes países.

Las décadas que siguieron a la introducción del transistor, en los años cuarenta, experimentaron un cambio sumamente drástico en la industria electrónica; el cual no ha dado tregua hasta nuestros días, evidenciándose en la miniaturización y complejidad de funciones de todos los dispositivos que nos rodean. En la actualidad se encuentran sistemas completos en una oblea miles de veces menor que el más sencillo elemento de las primeras redes electrónicas.

En algunos campos, la electrónica juega un papel tan importante, que sin ésta, nunca se hubiera llegado a su desarrollo presente. Como ejemplo podemos citar algunos de los más importantes,

- Las telecomunicaciones: sin los transmisores y receptores electrónicos sería imposible la comunicación rápida y móvil, tal como se conoce actualmente.
- La automatización industrial: en este campo la mayor parte de los dispositivos de control y monitores son electrónicos.
- También la computación y el procesamiento de datos son áreas que requieren de la electrónica.

El mundo actual exige entonces al futuro profesional, familiarizarse con la electrónica, tanto analógica como digital, como componente imprescindible de la tecnología y el desarrollo de nuevos campos productivos.

Como se ha apreciado hasta el momento, los conceptos a tratar en este curso, están íntimamente ligados a su profesión y son de gran importancia dentro del proceso de formación integral de todo ingeniero.

El manejo de los diferentes temas y la comprensión de los principales conceptos del curso, le darán una visión más amplia de su carrera y proyectarán sus posibilidades de desempeño profesional.

# UNIDAD 1

## FUNDAMENTOS DE ELECTRICIDAD

### CONTENIDOS

#### **Capítulo 1. Naturaleza de la Electricidad**

1. El Electrón
2. La Corriente Eléctrica
3. Fuentes de Electricidad

#### **Capítulo 2. Circuitos Eléctricos**

1. Componentes de un Circuito Eléctrico
2. Ley de Ohm
3. Resistencia Eléctrica
4. Fuerza Electromotriz
5. Potencia Eléctrica
6. Circuitos Serie y Paralelo
7. Leyes de Kirchhoff
8. Corriente Continua y Alterna

#### **Capítulo 3. Electrostática y Electromagnetismo**

1. Capacitancia
2. Condensadores
3. Condensadores en Serie y Paralelo
4. Campos Magnéticos
5. Inductancia
6. Inductancias en Serie y Paralelo
7. El Transformador

## CAPÍTULO 1. NATURALEZA DE LA ELECTRICIDAD

La electricidad es una de las principales formas de energía usada en el mundo actual. Se emplea en todas partes: en las comunicaciones, en el transporte, en la industria, en el hogar, en nuestro trabajo, etc.

Fue descubierta por los griegos cuando observaron que el ámbar al ser frotado se cargaba con una fuerza misteriosa, de tal manera que podía atraer cuerpos livianos como hojas secas y viruta de madera. Los griegos denominaron al ámbar como *elektrón*, de donde se derivó el nombre de electricidad.

Posteriormente el señor William Gilbert clasificó los materiales según como se comportaban con el ámbar en eléctricos y no eléctricos.

Más tarde Charles Dufay concluyó que existían dos tipos de electricidad, debido a que observó que al cargar un trozo de vidrio, este atraía algunos objetos cargados pero rechazaba a otros. Benjamín Franklin dio los nombres de electricidad positiva y negativa a los dos tipos de electricidad mencionados por Dufay.

### EVALUACIÓN DE CONCEPTOS PREVIOS

- ¿ Qué partículas atómicas componen un átomo ?
- ¿ Qué es electricidad ?
- ¿ Qué es electrónica ?
- ¿ Qué hace un ingeniero electricista ?
- ¿ Y un ingeniero electrónico ?
- ¿ Qué equipos, elementos, o dispositivos asocia con cada ciencia ?
- ¿ Cómo se puede generar la energía eléctrica ?
- ¿ Qué es la corriente eléctrica ?

## 1. EL ELECTRÓN

Antes de ocuparnos directamente del electrón, demos un breve vistazo al concepto de materia.

Materia es todo lo que tiene masa y ocupa un lugar en el espacio, puede encontrarse en forma sólida, líquida o gaseosa.

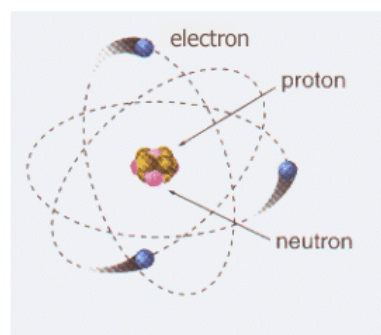
Los materiales básicos de toda materia son los elementos de la tabla periódica. Todo lo que nos rodea está formado de elementos y su combinación produce lo que se llama compuestos, los cuáles tienen características muy diferentes a las de los elementos que los constituyen.

**Ejemplo :** el agua es un compuesto de  $\left\{ \begin{array}{l} \text{Hidrógeno ( gas )} \\ \text{Oxígeno ( gas )} \end{array} \right.$

Los átomos son la parte más pequeña en que se puede reducir un elemento simple sin que se pierdan sus características físicas y químicas, por lo tanto, toda la materia tiene átomos.

Ahora bien, si el átomo de un elemento se divide más deja de existir y lo que tendremos serán partículas sub-atómicas. La cantidad de estas partículas son las que hacen que el átomo de un elemento sea diferente al átomo de otro elemento.

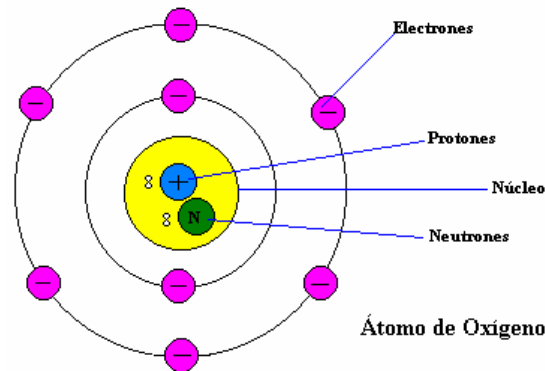
Todo átomo está formado por las siguientes partículas sub-atómicas: electrones, protones y neutrones.



Fuente: [http://www.kirlian.com.br/info\\_por\\_0004.asp](http://www.kirlian.com.br/info_por_0004.asp)

- Electrones, tienen carga negativa y giran en diferentes órbitas alrededor del núcleo. Los electrones de la órbita más externa del átomo se llaman electrones de valencia.
- Protones, tienen carga positiva y se encuentran en el núcleo del átomo.
- Neutrones, no tienen carga y se encuentran en el núcleo del átomo.

En condiciones normales el número de electrones es igual al número de protones, lo cual hace que el átomo sea eléctricamente neutro. El número de protones determina la diferencia entre los átomos y viene dado por el número atómico. Para ilustrar lo anterior, se presenta en la siguiente figura, el átomo del Oxígeno.



Cuando un electrón se encuentra en la capa externa de su átomo, la atracción producida por el núcleo será mínima. Si se aplica entonces suficiente energía al átomo, algunos de los electrones situados en la capa externa lo abandonarán. Esos electrones reciben el nombre de electrones libres y su movimiento será el causante de la corriente eléctrica en un conductor.

La energía mencionada anteriormente, puede ser producida por fricción, calor, luz, magnetismo, presión, reacciones químicas, fenómenos físicos y hasta nucleares.

Así como algunos átomos pueden perder electrones, otros pueden ganarlos. Es posible provocar la transferencia de electrones de un objeto a otro. Cuando esto sucede se altera la distribución de cargas, dando origen a objetos con exceso de electrones, a los que llamaremos con carga negativa ( - ) y a objetos con deficiencia de electrones, o lo que es lo mismo, exceso de protones, que serán llamados con carga positiva ( + )

Vale la pena recordar la famosa Ley de las Cargas Eléctricas, que puede expresarse así :

**“ cargas iguales se repelen, cargas opuestas se atraen ”**

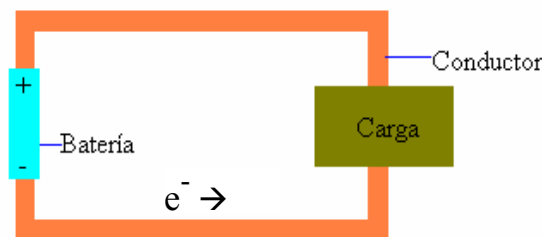
La magnitud de la carga eléctrica que posee un cuerpo, se determina por la relación existente entre el número de electrones y protones que hay en dicho cuerpo. El símbolo para la carga eléctrica es “ **Q** ” , y la unidad para expresarla es el **coulomb** ( **C** ). Una carga negativa de 1 coulomb nos indica que el cuerpo contiene  $6,25 \times 10^{18}$  más electrones que protones.

## 2. LA CORRIENTE ELÉCTRICA

Podemos definir la corriente eléctrica, como el paso o movimiento de electrones a través de un circuito o trayectoria cerrada. Esto sucede cuando se desprenden los electrones de la órbita de valencia de un átomo y pasan al otro sucesivamente, creando de esta forma un flujo de electrones.

La teoría electrónica nos dice que los electrones siempre se desplazan de un potencial negativo hacia un potencial positivo. Es así, que para que exista corriente eléctrica se necesita una diferencia de potencial eléctrico ( voltaje ).

Supongamos que tenemos un material conductor y que en sus extremos aplicamos una diferencia de potencial con una batería.



Los electrones se mantienen en movimiento porque los que son repelidos por el lado negativo de la batería son atraídos por el lado positivo de la misma. Por cada electrón que entre a la fuente, saldrá uno por el otro extremo y esto ocurrirá mientras exista la diferencia de potencial en la fuente. Si la fuente se interrumpe no habrá quién empuje ni atraiga electrones y la corriente desaparecerá.

La intensidad, el amperaje o la corriente en un circuito es lo mismo y se define como la cantidad de electrones ( carga negativa ) que circula en un conductor por unidad de tiempo.

$$i = \Delta Q / \Delta t$$

La unidad de medida de la corriente eléctrica, es el **amperio ( A )** y equivale al paso de una carga de un coulomb en un segundo.

### 3. FUENTES DE ELECTRICIDAD [1]

La electricidad puede ser generada por múltiples procesos y formas: por acción química, magnetismo, fricción, calor, luz, presión, entre otras.

A continuación se describen algunos de los procesos más interesantes para la producción de la energía eléctrica.

#### 3.1 Acción Química

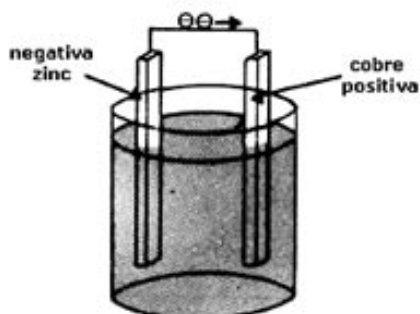
En 1883, Michael Faraday observó que el agua pura era un aislador casi perfecto, mientras que las soluciones acuosas de ciertas sustancias eran conductoras de la electricidad.

Una solución que conduce la corriente eléctrica es un electrolito. Este fenómeno va acompañado de efectos químicos secundarios como la electrólisis y la electrosíntesis. La primera es la acción de separar los componentes de una sustancia, como por ejemplo el agua, en oxígeno e hidrógeno y la segunda consiste en depositar en un electrodo, un metal disuelto en forma de sales, por ejemplo el anodizado.

Si se introducen dos electrodos de platino en una solución diluida de ácido sulfúrico y se les suministra un voltaje moderado, del electrodo negativo empezaran a salir burbujas de hidrógeno y del electrodo positivo saldrán burbujas de oxígeno y se pueden recoger estos gases en tubos de ensayo invertidos.

Después de que la electrólisis ha tenido lugar durante algún tiempo, los electrodos pueden ser desconectados del generador y conectados a un galvanómetro o equipo de medición. Se observará entonces una corriente instantánea en sentido opuesto, indicando que durante un instante ha existido un voltaje opuesto, producido por el hecho que un electrodo esta cubierto con hidrógeno y el otro con oxígeno.

La combinación de dos sustancias distintas en un electrolito constituye el principio de una pila galvánica.



Fuente: <http://www.mupe.org/elect/inv/pila.html>

Consideremos otro caso en el cual los electrodos reaccionan con las sustancias depositadas sobre ellos. Supongamos dos electrodos de plomo sumergidos en ácido sulfúrico diluido. Se libera hidrógeno en el polo negativo como si el electrodo fuera de platino, pero el oxígeno liberado en el electrodo positivo se combina ahora con el plomo para formar bióxido de plomo  $PbO_2$ . Al cabo de un cierto tiempo se suprime el generador y se sustituye por un galvanómetro. Se observará una corriente en sentido inverso que indica la existencia de un voltaje inverso. Las medidas indican que este voltaje es de 2 voltios aproximadamente.

En condiciones adecuadas, dos sustancias diferentes y un electrolito pueden disponerse de modo que el voltaje no sea transitorio, sino que puedan permanecer más o menos constante mientras se suministra corriente a un circuito exterior. Tal dispositivo se denomina **pila voltaica** o **pila galvánica** en honor de Volta y Galvani, que fueron quienes primero lo estudiaron.

Estos principios son los que han venido siendo desarrollados hasta tener los diferentes tipos de pilas y baterías que vemos hoy en día.

### 3.2 Magnetismo

### 3.3 Fricción

### 3.4 Calor

### 3.5 Luz

### 3.6 Presión

## CAPÍTULO 2. CIRCUITOS ELÉCTRICOS

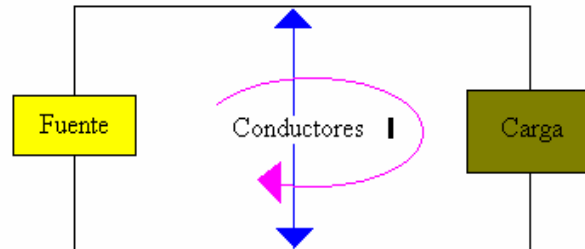
La electricidad, junto con los circuitos eléctricos, han hecho parte de nuestra vida hasta el punto en el que no nos podemos imaginar el mundo que nos rodea sin su presencia. Sin embargo desconocemos aspectos tan importantes como la forma de transmisión y distribución de la energía eléctrica hasta nuestros hogares, las leyes físicas y matemáticas que rigen su comportamiento y confundimos en algunas ocasiones las magnitudes y unidades relacionadas con ella.

Es por esto que en el presente capítulo, estudiaremos con cierta profundidad, los aspectos más relevantes relacionados con los circuitos eléctricos, sus componentes, magnitudes y leyes de comportamiento y las aplicaremos en la solución de diversos ejercicios y situaciones en las que se involucren dichos conceptos.

### EVALUACIÓN DE CONCEPTOS PREVIOS

- ¿ Qué elementos componen un circuito eléctrico ?
- ¿ Qué es la resistencia eléctrica ?
- ¿ Qué es el voltaje o fuerza electromotriz ?
- ¿ Qué equipos o elementos me permiten medir las magnitudes eléctricas ?
- ¿ Qué características tiene un circuito paralelo ?
- ¿ En qué consisten las leyes de Ohm y Kirchhoff ?
- ¿ Qué diferencia existen entre las señales continuas y las alternas ?

## 1. COMPONENTES DE UN CIRCUITO ELÉCTRICO



Un circuito eléctrico práctico consta por lo menos de cuatro componentes:

- Una fuente de voltaje
- Una carga o elemento de consumo
- Elementos de conexión o conductores
- Un medio de control o interruptor

La corriente eléctrica convencional, sale por el terminal positivo de la fuente de voltaje, circula a través de los conductores hasta la carga, la cual aprovecha y transforma la energía eléctrica en otro tipo de energía y regresa nuevamente a la fuente por el otro extremo.

Decimos entonces que tenemos un circuito cerrado cuando la corriente eléctrica circula sin inconvenientes desde un terminal de la fuente hasta el otro. Cuando la corriente eléctrica no regresa a la fuente se debe a que el circuito se encuentra abierto. Todo circuito debe tener un interruptor, o medio de control, que le permita a la corriente que circule por él, sólo cuando sea necesario.

## 2. LEY DE OHM

La ley de OHM establece una relación entre tres magnitudes fundamentales y se enuncia de la siguiente manera:

***el voltaje entre los extremos de muchos tipos de materiales conductores es directamente proporcional a la corriente que fluye a través de él, siendo la constante de proporcionalidad la resistencia eléctrica de dicho material***

La ley de OHM se expresa matemáticamente con la siguiente ecuación :

**Voltaje = Resistencia x Corriente**

$$V = R \times I$$

Esta ecuación trae como consecuencia la definición matemática de la corriente. La corriente eléctrica es igual al voltaje dividido entre la resistencia. También que la resistencia eléctrica es igual al voltaje dividido entre la corriente.

### 3. RESISTENCIA ELÉCTRICA

En la expresión anterior aparece el término **resistencia**. Vamos a definir su significado físico y comportamiento.

La resistencia es la oposición o dificultad que ofrece un material al paso de los electrones. Entre más resistencia esté presente en un circuito eléctrico, más difícil es la circulación de corriente por él. La unidad de medida de la resistencia es el **ohmio** (  $\Omega$  )

Físicamente la resistencia se asocia con los **resistores** u objetos cuya resistencia al paso de la corriente tiene un valor conocido. Este elemento también representa al elemento carga o de consumo en muchos circuitos prácticos.

**3.1 Resistores.** Los resistores o resistencias son los elementos de mayor empleo en el ramo de la electrónica. Su función es controlar o limitar la corriente que fluye a través de un circuito eléctrico, presentando una oposición al paso de la corriente.



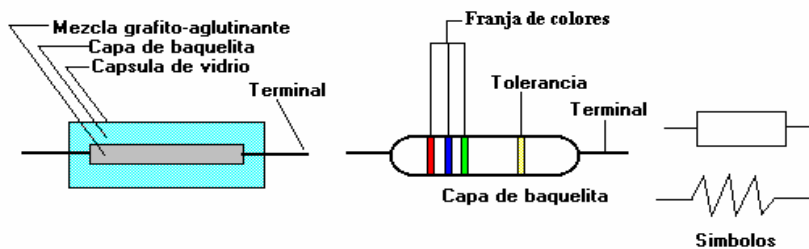
Según su funcionamiento se pueden clasificar en :

- Resistores Fijos
- Resistores Variables

**3.1.1 Resistores Fijos.** Los resistores fijos son aquellos cuyo valor óhmico no se puede alterar o variar después de su fabricación. Según su construcción se pueden dividir en: con composición de carbono o de alambre arrollado.

a. Resistores con composición de carbono. Estos resistores se elaboran con base en una mezcla de grafito ( carbón ) y un aglutinante, generalmente aislante. El valor de la resistencia depende de la relación entre el grafito y el aglutinante. De hecho si el contenido de carbón es alto, el valor óhmico del resistor es bajo y viceversa.

La mezcla de los dos materiales se deposita a presión en una pequeña cápsula de vidrio, en cuyos extremos se colocan un par de terminales. Posteriormente se recubre el conjunto por una capa de baquelita sobre la que se imprime, en forma de franjas circulares, un código de colores que más adelante estudiaremos.



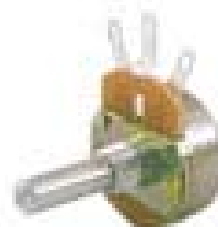
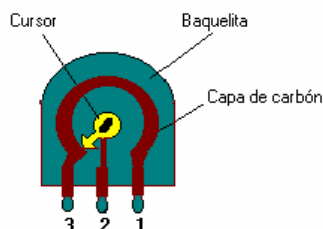
Los resistores con composición suelen tener empleo en circuitos de audio y radiofrecuencia de bajo costo y donde la calidad no sea un factor muy determinante. Es de anotar que su tamaño es pequeño y depende de su potencia.

b. Resistores de alambre arrollado. Los resistores de alambre arrollado o bobinado, están elaborados por un alambre resistivo de níquel-cromo o de ferro-níquel, enrollado sobre una barra tubular de porcelana o cerámica. Encima se le deposita una capa de esmalte aislante a base de material cerámico vitrificado.

Estos resistores son menos comunes en equipos electrónicos debido a su tamaño y a su alta tolerancia.

**3.1.2 Resistores Variables.** Estos resistores son aquellos cuyo valor óhmico se puede variar dentro de un rango considerable según necesite el usuario. Reciben también el nombre de **potenciómetros** o **reóstatos**. En los potenciómetros el cuerpo resistivo está elaborado con base en carbón depositado sobre una

herradura de baquelita, mientras que en los reóstatos el elemento resistivo es alambre.



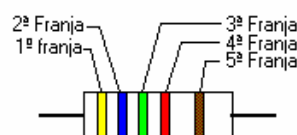
Haciendo contacto con el elemento resistivo se encuentra un elemento móvil llamado cursor, cuya posición se establece con un pequeño destornillador o por medio de un pequeño eje que se puede girar manualmente.

Se emplean como controles de volumen y tonos en diferentes equipos, también en algunas fuentes reguladas para variar la tensión de salida y en algunos controles de velocidad.

Por lo general las resistencias variables se emplean como potenciómetros y no como reóstatos, y según su variación pueden ser lineales o logarítmicos

**3.1.3 Código de colores.** El código de colores más empleado para resistores, se compone de cuatro franjas de color que se leen de izquierda a derecha, estando colocado el resistor en la forma que lo muestra la figura, siendo la cuarta franja dorada o plateada.

	CODIGO DE COLORES				
	1ª	2ª	3ª	4ª	5ª
NEGRO		0	x 1		
MARRON	1	1	x 10		+ 1%
ROJO	2	2	x 100		+ 2%
NARANJA	3	3	x 1.000		
AMARILLO	4	4	x 10.000		± 0.5%
VERDE	5	5	x 100.000		± 0.6%
AZUL	6	6	x 1.000.000		
VIOLETA	7	7	x 10.000.000		
GRIS	8	8	x 100.000.000		
BLANCO	9	9	x 1.000.000.000		
DORADO			x 0,1	+ 5%	
PLATEADO			x 0,01	+ 10%	
SIN COLOR				± 20%	



Las dos primeras franjas determinan las cifras significativas. La tercera franja indica el multiplicador o la cantidad de ceros que se deben agregar a los dos primeros dígitos para obtener el valor nominal del resistor. La cuarta franja indica la tolerancia o porcentaje de error en el valor que tiene el resistor.

En la tabla aparecen en primer lugar, los colores empleados en las franjas. En la primera columna el valor que representa cada color para el primer dígito significativo. En la segunda columna el valor de cada franja para el segundo dígito significativo. En la tercera columna, el valor del multiplicador o el número de ceros que se deben agregar. En la cuarta columna, aparece el valor que representa el porcentaje de la tolerancia de cada resistor. Generalmente para este valor se emplean los colores dorado ( 5% ) y el plateado ( 10% ). Cuando el resistor viene sin cuarta franja o sin color, la tolerancia es del 20%.

**Ejemplo :** 

COLORES : marrón, negro, naranja, dorado

Supongamos que tenemos un resistor con los colores anteriores.

De qué valor es este resistor ?

1 franja : marrón ( 1 ), primer dígito significativo.

2 franja : negro ( 0 ), segundo dígito significativo.

3 franja : naranja ( 3 ), multiplicador (  $\times 1000$  ) o número de ceros ( 000 )

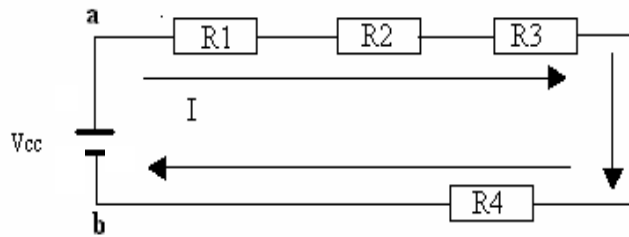
4 franja : dorado, porcentaje de tolerancia de  $\pm 5\%$

Entonces, valor de la resistencia :  $1\ 0\ 000\ (\Omega) \pm 5\%$

Tenemos una resistencia de  $10.000\ \Omega$  o  $10\ K\Omega$  con una tolerancia del 5%

**3.1.4 Asociación de resistores.** En el estudio de los circuitos resistivos es común trabajar con ellos de tal forma que podamos agrupar los resistores en serie, en paralelo o en configuraciones mixtas como una sola equivalente, es decir, reemplazar el comportamiento de toda la red por una sola resistencia.

a. Montaje en serie. Se dice que varios elementos se encuentran en serie, cuando están consecutivos, es decir, uno después del otro.



Observamos en la figura un circuito serie con cuatro resistores.

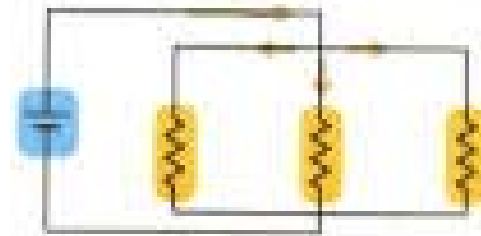
Podemos pensar en reemplazar estos resistores por uno sólo, entre a y b, que conserve el comportamiento general del circuito.

La resistencia total entre a y b es igual a la suma de los resistores que se encuentran en serie,

$$R_{ab} = R1 + R2 + R3 + R4$$

Con lo anterior podemos concluir que la resistencia equivalente o total de un conjunto de dos o más resistencias conectadas en serie es igual a la suma de todas ellas.

b. Montaje en paralelo. Se dice que varios elementos se encuentran en paralelo, cuando están conectados entre el mismo par de puntos.



Cuando tenemos resistencias conectadas en paralelo podemos encontrar la resistencia equivalente empleando la siguiente expresión,

$$1/R_t = 1/R_1 + 1/R_2 + \dots + 1/R_n$$

Con lo que concluimos que para encontrar la resistencia equivalente o total de un circuito en paralelo, debemos hallarlo tomando el inverso de la suma de los inversos de cada resistor.

Cabe anotar que en el caso de arreglos mixtos de resistores, cada sección serie o paralela, tendrá su propio tratamiento.

#### 4. FUERZA ELECTROMOTRIZ

También conocido como *VOLTAJE* o *Diferencia de Potencial*.

Se define como la capacidad de efectuar un trabajo al mover a otra carga por atracción o repulsión. Podemos decir también que es la fuerza necesaria para hacer mover los electrones en un circuito eléctrico. La unidad básica de medida es el voltio ( V )

Los elementos más comunes que nos suministran Fuerza Electromotriz o Voltaje son las baterías, pilas y los tomacorrientes.

#### 5. POTENCIA ELÉCTRICA

Se puede definir como la cantidad de energía eléctrica transformada por una carga en un tiempo determinado. Tal carga está conectada a una diferencia de potencial y su potencia dependerá de la oposición que ofrezca al paso de la corriente eléctrica.

La potencia eléctrica se puede producir, consumir o almacenar, dependiendo del tipo de elemento con el que se trabaje. Si el elemento produce potencia eléctrica se dice que es un *elemento activo*, si por el contrario la consume o almacena decimos que es un *elemento pasivo*.

La unidad de medida de la potencia eléctrica es el vatio ( W ) Un vatio es igual a la potencia consumida cuando un amperio fluye con una fuente de un voltio.

Existe una ecuación muy sencilla para el cálculo de potencia eléctrica en los diferentes elementos de un circuito, que además nos relaciona las tres magnitudes tratadas hasta ahora.

$$P = V \cdot I$$

Ahora, si combinamos la ecuación de potencia eléctrica (  $P = V I$  ) con la ecuación de la Ley de OHM (  $V = I R$  ), encontramos dos nuevas expresiones de potencia, muy útiles para encontrar la potencia consumida por una carga resistiva.

$$P=VI$$

$$V=P/I$$

$$I=P/V$$

$$V=IR$$

$$I=V/R$$

$$R=V/I$$

$$P=VI=V(V/R)=V^2/R$$

$$P=(IR)(I)=I^2R$$

$$P=V^2/R$$

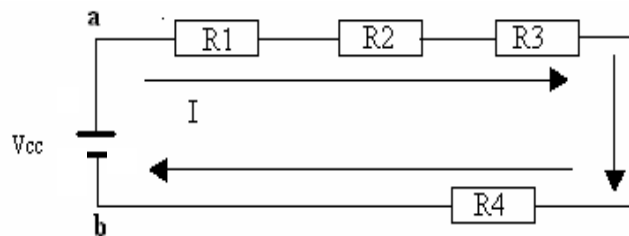
$$P=I^2R$$

Es importante memorizar las anteriores ecuaciones debido a que se usan muy a menudo en ejercicios de circuitos eléctricos.

## 6. CIRCUITO SERIE Y PARALELO

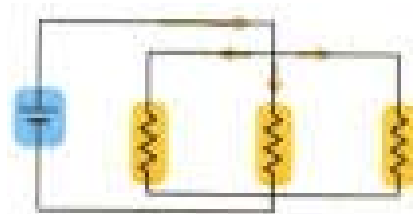
Dependiendo de la forma como estén interconectados los diferentes elementos en un circuito, van a tener características propias de voltaje y corriente, que se van a describir a continuación.

**6.1 Circuito serie.** Un circuito serie es aquel en el que sólo hay un camino por el que fluye la corriente.



En el circuito serie la corriente ( $I$ ) es la misma en todas las partes del circuito, es decir, sólo hay una corriente recorriendo el circuito. Respecto al voltaje ( $V$ ) en un circuito serie, cada elemento del circuito tiene su propio voltaje. Además el voltaje suministrado por los elementos fuente es igual a la suma de los voltajes en los extremos de cada elemento carga.

**6.2 Circuito paralelo.** En un circuito paralelo dos o más componentes están conectados a los terminales de la misma fuente de voltaje.



Cada camino paralelo es una rama con su propia corriente, donde la corriente de los elementos fuente es igual a la suma de las corrientes que circulan por cada elemento carga. El voltaje en cambio es uno sólo entre el par de terminales e igual al voltaje de la fuente.

**6.3 Circuito mixto.** Es un circuito especial que combina características de circuitos serie y circuitos en paralelo. Con un poco de práctica podremos diferenciar que parte del circuito tiene comportamiento serie y cual comportamiento paralelo.

## 7 LEYES DE KIRCHHOFF

El físico alemán Gustav Robert Kirchhoff ( 1824-1887 ) fue uno de los pioneros en el análisis de los circuitos eléctricos. A mediados del siglo XIX, propuso dos leyes que llevan su nombre y que facilitan la comprensión del comportamiento de voltajes y corrientes en circuitos eléctricos.

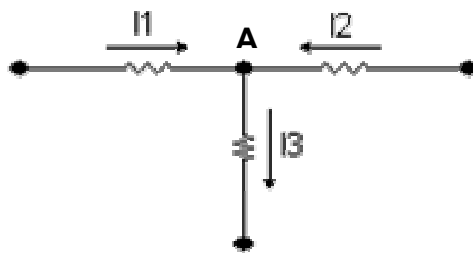
a. Primera Ley de Kirchhoff : Ley de Corrientes.

La suma de todas las intensidades de corriente que llegan a un *nodo* ( unión o empalme ) de un circuito, es igual a la suma de todas las intensidades de corriente que salen de él.

$$\Sigma I \text{ llegan nodo} = \Sigma I \text{ salen nodo}$$

Por definición, un nodo es un punto donde convergen tres o más conductores.

También se puede encontrar como : la suma algebraica de todas las intensidades de corriente en cualquier unión o nodo de un circuito es igual a cero. De esta manera son de signo positivo las corriente que fluyen a un nodo, y negativas las que salen de él.



En la figura vemos que al nodo A llega una corriente  $I_1$  y otra  $I_2$  las cuales se unen para formar la corriente  $I_3$ . Como en el nodo A no se ganan ni se pierden electrones,  $I_3$  es igual a la suma de  $I_1$  mas  $I_2$ . En otras palabras, la corriente que fluye hacia el nodo es igual a la que sale de él.

De acuerdo con la figura tenemos :  $I_1 + I_2 = I_3$

b. Segunda Ley de Kirchhoff : Ley de Voltajes.

En un circuito cerrado o *malla*, las caídas de tensión totales en las resistencias son iguales a la tensión total que se aplica en el circuito. En otras palabras, la suma de los voltajes en un circuito cerrado o malla es igual a la suma de todas las caídas de potencial en el circuito.

Esta ley confirma el principio de la conservación de la energía. La energía que gana una fuente generadora de fuerza electromotriz (fem) al transformar las energías mecánica o química en eléctrica, se pierde en formas de caídas de tensión  $IR$  o bien, cuando se reconvierte la energía eléctrica en mecánica al mover el motor.



En la figura vemos una fuente y dos resistores en un circuito eléctrico serie. La suma de las caídas de voltaje (  $v_1$  y  $v_2$  ) en cada resistencia es igual a la fem proporcionada por la batería (  $e_1$  )

De acuerdo con la figura tenemos :  $e_1 = v_1 + v_2$

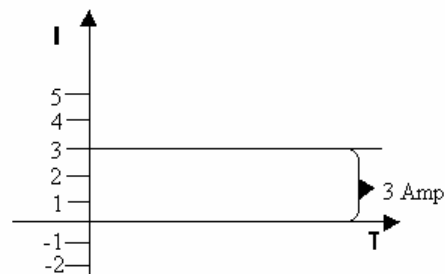
## 8. SEÑALES CONTINUAS Y ALTERNAS

Existen dos tipos de señales íntimamente relacionadas con la electricidad y la electrónica, que debemos aprender a reconocer y diferenciar, estas son las señales continuas y las señales alternas.

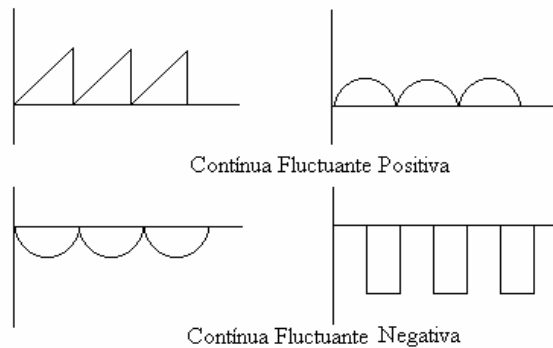
**8.1 Señales continuas o directas.** Las señales de corriente continua son las que producen, en un circuito cerrado, una corriente que se mueve en un solo sentido o dirección, es decir, tienen una polaridad definida.

Pueden ser : Señales de corriente continua pura.  
Señales de corriente continua fluctuante o variable

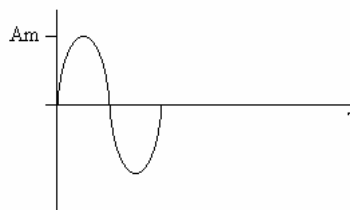
a. La señal de corriente continua pura es la que no cambia ni de sentido ni de magnitud.



b. La señal de corriente continua fluctuante es la que no cambia de sentido, pero si de magnitud, algunos ejemplos son:



**8.2 Señales alternas.** Son las que varían tanto en dirección como en amplitud. Es la señal de los tomacorrientes. Este tipo de señal varía a intervalos periódicos. La forma de onda que generalmente se usa para corriente alterna es la señal senoidal.

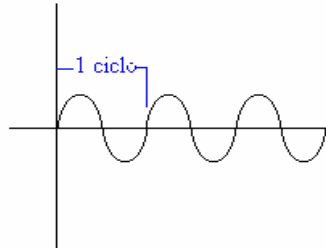


Como se puede ver, una señal de corriente alterna fluye primero en una dirección y luego en otra, es decir alterna su sentido de giro.

Se usa más la corriente alterna que la continua, debido a que sirve para las mismas aplicaciones pero es más fácil de producirla, más barata de transmitirla y tiene aplicaciones para las cuales la corriente continua no sirve.

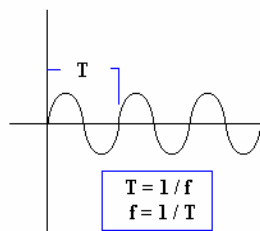
Algunas de las características fundamentales de la señal alterna son :

Frecuencia : Es el número de ciclos que se producen en un segundo, se determina por la letra  $f$  y se mide en Hz. Un Hz equivale a un ciclo por segundo.



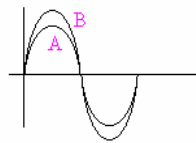
Entre mas ciclos tenga una señal en un segundo, mayor será la frecuencia. Nosotros usamos una frecuencia de 60 Hz, pero en Europa se usan desde 25 a 120 ciclos, siendo común los 50 Hz.

Periodo : Se representa por la letra  $T$  y es el tiempo necesario para que un ciclo se repita. Se mide en segundos y se relaciona con la frecuencia debido a que son inversamente proporcionales.

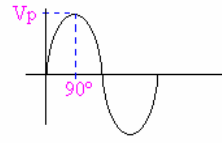


Fase : Es la relación angular que existe entre 2 ondas, independiente de las magnitudes. Cuando se hace la representación en el plano cartesiano se determina como fase cada uno de los puntos a lo largo de la trayectoria sinusoidal, los cuales se dan en grados.

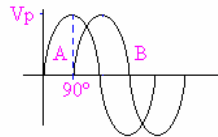
Decimos que dos señales están en fase cuando sus valores máximos y mínimos ocurren en el mismo instante, luego las dos ondas comenzarán y terminarán al mismo tiempo. Se dice que dos señales están desfasadas o que tienen una diferencia de fase cuando sus máximos y mínimos no coinciden, luego las dos señales no comienzan ni terminan al mismo tiempo.



A y B están en fase



$V_p$  está en una fase de  $90^\circ$

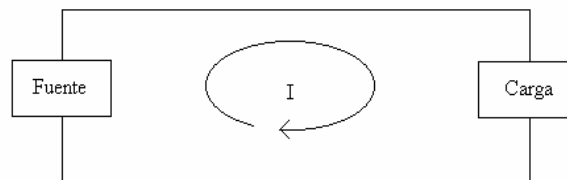


A y B están desfasadas  $90^\circ$

## TALLER EXPERIMENTAL

## EVALUACIÓN FINAL

1



- Si en el circuito circula un corriente de 2 amperios ( A ) y en los terminales de la carga se miden 4.5 voltios ( V ). Cuál es la potencia en la carga ? Cuál es la potencia de la fuente ? Especifique en cada caso si la potencia fue generada, consumida o almacenada.

### ACTIVIDAD. Leyes de OHM y Kirchhoff.

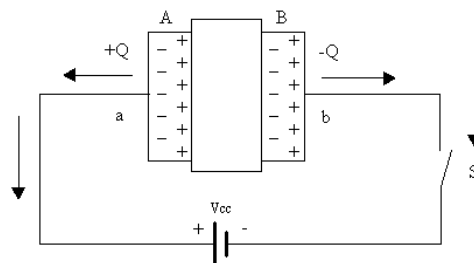
- Con ayuda del docente ejercito los conceptos estudiados, respecto a estas leyes básicas del comportamiento de circuitos eléctricos.

## PALABRAS CLAVES PARA BÚSQUEDA EN INTERNET

## CAPÍTULO 3. ELECTROSTÁTICA Y ELECTROMAGNETISMO

**1. CONDENSADORES.** Un condensador es un elemento pasivo que tiene la particularidad de almacenar carga eléctrica.

Los condensadores están formados por dos superficies metálicas conductoras llamadas armaduras, que se hallan separadas por un medio aislante denominado dieléctrico. Este material dieléctrico puede ser aire, cerámica, papel o mica



En la figura observamos un condensador cuya armadura A se encuentra conectada al polo positivo de la fuente y cuya armadura B se encuentra desconectada.

Mientras el interruptor S permanezca abierto las placas del condensador serán eléctricamente neutras, pues el número de protones y de electrones en cada una es el mismo. Decimos entonces que se encuentra en equilibrio de cargas o eléctricamente neutro.

Cuando se cierra el interruptor S, la carga negativa de la placa A es atraída por el terminal positivo de la fuente, mientras que la carga positiva de la placa B es atraída por el terminal negativo de la fuente. Este movimiento de cargas continúa hasta que el voltaje en las placas del condensador sea igual al de la fuente, en este momento el condensador está cargado.

Como resultado tenemos que en ambas armaduras aparece una carga cuyo valor absoluto es el mismo, pero su polaridad opuesta. Esta carga se acumula por influencia electrostática recíproca de las dos armaduras.

La corriente eléctrica que se produce es de poca duración y dependerá de las características del condensador, o sea de su capacitancia. Una vez cargadas las armaduras, la corriente por dicho circuito es nula.

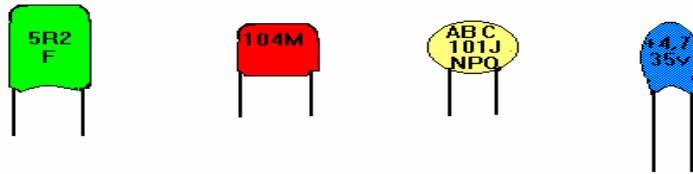
Entonces podemos concluir que un condensador no permite el paso de la corriente continua. Sin embargo, la diferencia de potencial entre sus terminales es la misma que la del generador. Por tanto, el condensador a la vez que acumula carga almacena tensión entre sus armaduras. La diferencia de potencial de un condensador cargado no se pierde aunque se desconecte de la fuente que originó la carga.

En los circuitos electrónicos se suele utilizar básicamente, bien para eliminar la componente continua de una señal eléctrica o bien para almacenar tensión en un determinado momento ( como batería temporal ) y cederla posteriormente.

De acuerdo a su funcionamiento, los condensadores pueden ser:

- Fijos
- Variables

**1.1 Condensadores fijos.** Los condensadores fijos son aquellos cuya capacidad no se puede alterar. El valor de la capacidad está determinado desde el momento mismo de la construcción. Sus diferentes formas se pueden apreciar en la figura.



Es de tener en cuenta que los condensadores de capacidad fija, también vienen en dos versiones.

- No polarizados
- Polarizados

Los no polarizados son aquellos que trabajan con corriente alterna y suelen ser llamados “ condensadores de paso ”. Los polarizados conocidos también como electrolíticos, son aquellos que trabajan únicamente con corriente directa y se emplean en circuitos de filtrado, temporizadores, etc.



de paso



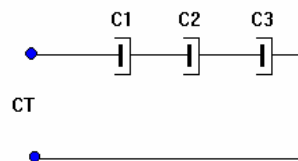
electrolítico

**1.2 Condensadores variables.** Son aquellos a los que se le puede variar su capacidad a voluntad y en cualquier momento, trayendo para el efecto un eje al cual se acopla una perilla. Estos están compuestos por varias placas y son de mucho mayor capacidad que los fijos. Se emplean para sintonizar la frecuencia de los receptores de radio y de los transmisores. Su dieléctrico puede ser el aire o el poliestireno.

**1.3 Asociación de condensadores.** Es posible encontrar redes formadas por varios condensadores y que al igual que las resistencias pueden estar conectados en serie o en paralelo.

Se debe señalar que la fórmula de capacidad equivalente de condensadores conectados en serie se parece, como se podrá observar, a la de resistencias en paralelo, y la de la capacidad equivalente de condensadores en paralelo, a la de resistencias en serie.

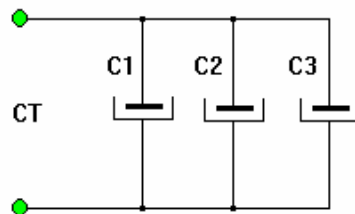
Montaje en serie :



Cuando los condensadores se encuentran conectados en serie se pueden llevar a uno equivalente por medio de la siguiente expresión :

$$1/C_T = 1/C_1 + 1/C_2 + \dots + 1/C_n$$

Montaje en paralelo :



En la figura se muestra una red de condensadores montados en paralelo.

La expresión para llevar esta configuración a un condensador equivalente es la siguiente.

$$C_T = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n$$

Los condensadores poseen una unidad de medida que los diferencia de los demás elementos electrónicos, ésta es el Faradio ( F ).

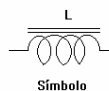
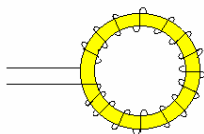
Esta unidad como tal no se presenta en los condensadores ya que tocaría fabricar condensadores demasiado grandes, para ser representados por unidades de Faradios.

Para solucionar lo anterior se procede a fabricar condensadores con unidades más pequeñas que nos permiten obtener condensadores pequeños con las propiedades requeridas en el campo de la electrónica.

Las unidades de *submúltiplos* más utilizadas para condensadores son el microfaradio (  $\mu F$  ) y el picofaradio ( pF ).

**2. Bobinas o Inductancias.** Los inductores son elementos pasivos formados por un arrollamiento de hilo conductor, bobinado normalmente sobre un núcleo de una sustancia ferromagnética. La ferrita y la chapa magnética son buenos ejemplos de los materiales más empleados. En algunas aplicaciones el núcleo es de aire, aunque esta sustancia es mucho menos conductora del campo magnético que los elementos ferromagnéticos.

Una inductancia es un dispositivo eléctrico que genera un flujo magnético cuando se hace circular por ella una corriente eléctrica. Las inductancias acumulan energía en forma de corriente.



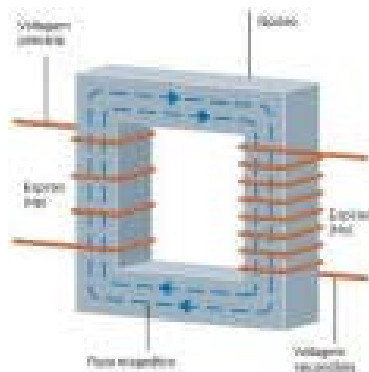
La corriente que circula por la bobina puede ser continua o variable. En este último caso, el flujo que se crea también es variable.

La unidad de medida es el henrio (H):

**1 Weber-Vuelta / 1 amperio = 1 henrio**

Las bobinas no son muy empleadas en electrónica debido a su tamaño, peso y existencia de un campo magnético que puede alterar el comportamiento de otros elementos. Sin embargo su principio de funcionamiento se emplea en la construcción de otro elemento importante como es el transformador.

**3. Transformadores.** El transformador básico consiste de dos bobinas eléctricamente aisladas y enrolladas sobre un núcleo común.



La energía se transfiere de una bobina a otra por medio de acoplamiento magnético. La bobina que recibe la energía de la fuente de c.a se llama devanado primario. La que proporciona energía a una carga a se llama devanado secundario.

El núcleo de los transformadores se hace con un material magnético usualmente acero laminado. Algunas bobinas se arrollan sencillamente sobre formas huecas no magnéticas ( por ejemplo, de cartón o de plástico ), de manera que el material del núcleo sea en realidad el aire.

Si se supone que el transformador opera en condiciones ideales, la transferencia de la energía de un voltaje a otro no va acompañada por pérdidas.

El voltaje en las bobinas de un transformador es directamente proporcional al número de vueltas ( o espiras ) de cada una de ellas. Esta relación se expresa por la fórmula :

$$V_p / V_s = N_p / N_s$$

En la que :

$V_p$  = voltaje en la bobina del primario

$V_s$  = voltaje en la bobina del secundario

$N_p$  = número de vueltas en la bobina del primario

$N_s$  = número de vueltas en la bobina del primario

El cociente  $V_p / V_s$  se llama relación de voltaje (  $R_V$  ), el cociente  $N_p / N_s$  se denomina relación de vueltas (  $R_N$  ). Al sustituir estas cantidades en la ecuación obtenemos la fórmula equivalente :

$$R_V = R_N$$

Una relación de voltaje de 1:4 significa que por cada voltio del primario del transformador, en el secundario hay 4 voltios. Cuando el voltaje del secundario es mayor que el voltaje del primario, al transformador se le llama elevador.

Una relación de voltaje de 4:1 significa que por cada 4 V del primario, el secundario hay sólo 1 V . Cuando el voltaje del secundario es menor que el primario, al transformador se le llama reductor.

En electrónica los transformadores se emplean principalmente para disminuir el valor de voltaje en las fuentes reguladas.

## **TALLER EXPERIMENTAL**

## **EVALUACIÓN FINAL**

## **PALABRAS CLAVES PARA BÚSQUEDA EN INTERNET**

A continuación se presenta una serie de palabras útiles para la búsqueda en Internet. Las palabras se han probado en el buscador

<http://www.google.com>

No tienen ortografía dado que el buscador es universal, y porque en ocasiones va a tener que utilizar teclados que no tienen tildes o eñes.

# **UNIDAD 2**

## **FUNDAMENTOS DE LOS SEMICONDUCTORES**

## CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN A LOS SEMICONDUCTORES

### 1. CONDUCTORES Y AISLADORES

Dependiendo de la facilidad con que permitan la circulación de corriente en un circuito, los materiales se pueden dividir en conductores o aislantes.

**1.1 Materiales Conductores.** Entre menos electrones existan en la órbita de valencia de un átomo, mejor conductor será, debido a que se requiere menos energía para liberar un electrón de valencia que para liberar un número mayor.



Los materiales conductores tienen uno o dos electrones de valencia, pero entre estos los mejores conductores son los que tienen un electrón de valencia, como el oro, la plata y el cobre. De estos tres, el más empleado en circuitos eléctricos es el cobre.

**1.2 Materiales Aislantes.** Son aquellos cuyos átomos tienen 8 electrones de valencia o más de cuatro. Entre más electrones tengamos en la capa de valencia mejor aislante será el material.



Por otro lado los átomos que tienen menos de 4 electrones de valencia se hacen inestables y por ello es más fácil liberar los electrones de estos átomos que de los

que tienen más de 4 electrones de valencia, que es cuando se hacen más estables. Decimos que un átomo es estable cuando su capa de valencia se encuentra saturada de electrones, estos átomos no se combinan debido a que tienen su capa de valencia llena.

Un átomo con 7 electrones de valencia puede aceptar un electrón, pero un átomo que tiene uno o dos electrones de valencia puede cederlos fácilmente.

Entre los materiales más empleados como aislantes se encuentran el caucho, plásticos, papel, resinas, la cerámica, el vidrio, etc.

**1.3 Materiales Semiconductores.** Existe una clasificación adicional para algunos elementos cuyo comportamiento no es totalmente el de un conductor pero tampoco el de un aislante. Son aquellos materiales cuyos átomos tienen cuatro electrones de valencia, como el germanio y el silicio.



A continuación describiremos algunas características y el comportamiento de estos elementos.

Los materiales semiconductores son aquellos que tienen cuatro electrones de valencia y sus átomos pueden enlazarse entre ellos, compartiendo sus electrones, para formar cristales estables. Esto se conoce como enlace covalente y es muy común en el silicio ( Si ) y el germanio ( Ge )

Los materiales semiconductores puros se denominan intrínsecos y cuando se les agregan impurezas se les denomina extrínsecos.

## 2. SEMICONDUCTORES TIPO N Y TIPO P

A los semiconductores se les puede agregar impurezas para que se hagan mejores conductores, esto se logra de la siguiente manera :

Los semiconductores tipo N se construyen con Si o Ge, pero se les adicionan átomos de impurezas que tienen 5 electrones de valencia, de tal manera que al formarse los enlaces covalentes queda sobrando un electrón. De esta forma

conseguimos materiales semiconductores con exceso de electrones o carga negativa ( tipo N ). Los átomos que se usan como impurezas son los de arsénico, antimonio y fósforo.

Los materiales tipo P son aquellos que se forman agregando al material semiconductor puro impurezas que contienen 3 electrones de valencia, de tal manera que vamos a tener ausencias de electrones o lo que podemos llamar *huecos*. Los huecos que quedan en los enlaces covalentes de este tipo de material permiten que los electrones vecinos los puedan llenar quedando abiertos nuevos huecos para ser cubiertos por otros electrones y producir de esta forma la *corriente en los semiconductores*.

Los elementos que más frecuentemente se usan para producir el material tipo P son el indio, boro y galio.

### **TALLER EXPERIMENTAL. Conservación de la energía cinética.**

### **EVALUACIÓN FINAL**

### **PALABRAS CLAVES PARA BÚSQUEDA EN INTERNET**

A continuación se presenta una serie de palabras útiles para la búsqueda en Internet. Las palabras se han probado en el buscador

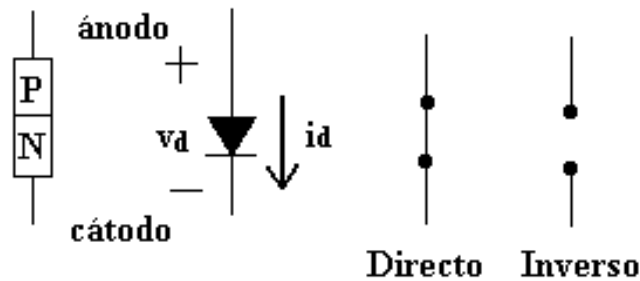
<http://www.google.com>

No tienen ortografía dado que el buscador es universal, y porque en ocasiones va a tener que utilizar teclados que no tienen tildes o eñes.

## CAPÍTULO 2. DISPOSITIVOS SEMICONDUCTORES

### 1. EL DIODO

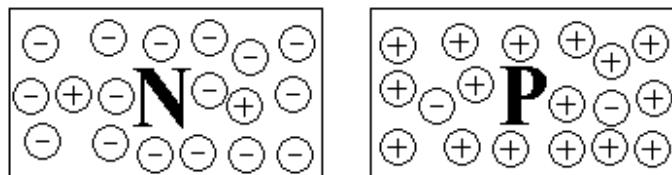
El elemento semiconductor más sencillo y de los más utilizados en la electrónica es el diodo. Está constituido por la unión de un material semiconductor tipo N y otro tipo P. Su representación se muestra en la siguiente figura.



Como se puede ver, el diodo idealmente se comporta como un interruptor, al polarizarlo directamente actúa como un corto ( conductor ) y al polarizarlo de forma inversa actúa como un circuito abierto ( aislante ).

Para explicar este comportamiento especial del diodo, debemos recordar que el material tipo N es el que tiene un exceso de electrones libres y el material tipo P un exceso de huecos, representados por cargas positivas.

Cuando se unen estos dos materiales los electrones libres del material N tratan de mezclarse con los huecos del material P, lo cual generan pares electron-hueco en la superficie de contacto de la unión. Debido a esto aparece una franja muy estrecha conocida como *barrera de potencial* que debe ser superada para que el diodo entre en conducción. La barrera de potencial es de 0.6 voltios aproximadamente para los diodos de silicio y de aproximadamente 0.3 voltios para los diodos de germanio.



Cuando el diodo se polariza en forma directa, es decir con el potencial positivo hacia el ánodo y el potencial negativo hacia el cátodo, con un voltaje mayor al de barrera, dicha barrera se rompe y el diodo empieza a conducir. Pero cuando se le polariza inversamente, se refuerza la barrera de potencial haciendo que el diodo no conduzca comportandose como un circuito abierto.

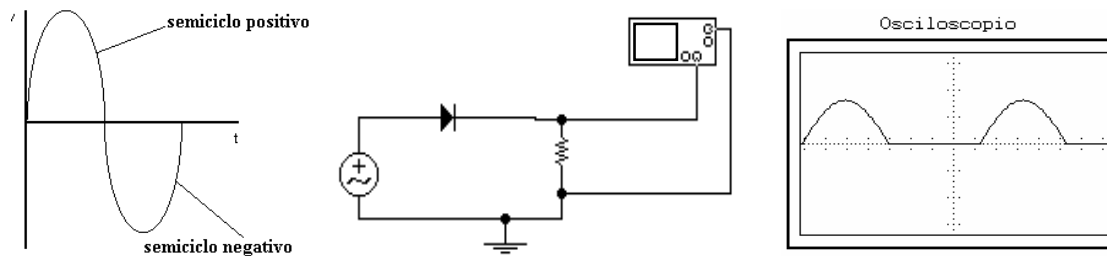
Debido a que los diodos conducen la corriente eléctrica en un sólo sentido, de ánodo a cátodo, se suelen utilizar como rectificadores de señales.

Existen básicamente tres tipos de rectificadores a base de diodos semiconductores :

- Rectificadores de media onda.
- Rectificadores de onda completa
- Rectificador de onda completa con puente de Graetz

**1.1 Rectificador de media onda.** Este sistema de rectificación permite transformar una señal alterna ( compuesta por dos semiciclos, uno positivo y otro negativo ) en una señal con un sólo semiciclo.

En la siguiente figura se presenta la señal de entrada, el circuito rectificador de media onda y la señal resultante.



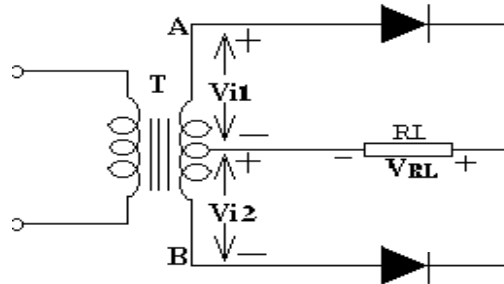
Cuando el semiciclo positivo de la señal de entrada está presente en el diodo, este se polariza directamente y actúa como un circuito cerrado o corto, lo cual permite que el semiciclo positivo de la entrada pase a la resistencia de carga y  $V_o$  será la parte positiva de la señal.

Cuando la parte negativa de la señal de entrada está presente, el diodo actúa como un circuito abierto debido a que queda polarizado inversamente, esto implica que no pasará corriente a la carga y tampoco habrá voltaje sobre ella, luego la salida  $V_o$  será cero en este momento.

**1.2 Rectificador de onda completa.** El sistema de rectificación de onda completa utiliza dos diodos, un transformador con TAP central y dos salidas de

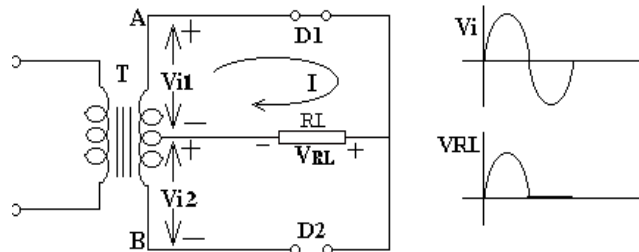
voltaje. De esta manera podemos tener dos alimentaciones independientes y conseguir un efecto mejorado en el proceso.

El circuito que se usa como rectificador de onda completa es el siguiente :



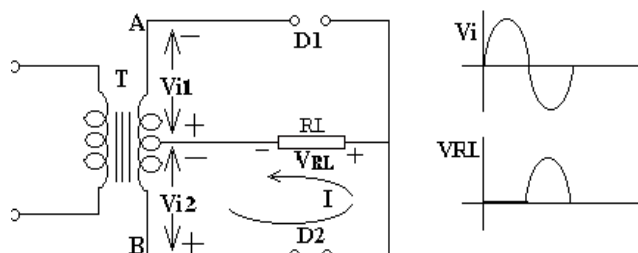
La diferencia con este montaje radica en el aprovechamiento de dos tensiones de entrada  $V_{i1}$  y  $V_{i2}$  que son de igual amplitud pero desfasadas  $180^\circ$ . Ahora consideremos el semiciclo positivo de la señal  $V_{i1}$ , negativo en  $V_{i2}$ , en el secundario del transformador. Durante este semiciclo el D1 queda polarizado directamente y el D2 de forma inversa. Esto se refleja en una corriente de carga y una señal de voltaje  $V_{RL}$  como la de la entrada al diodo D1. Sobre el D2 tendremos un comportamiento de circuito abierto.

A continuación se muestra el circuito equivalente en dicho semiciclo.

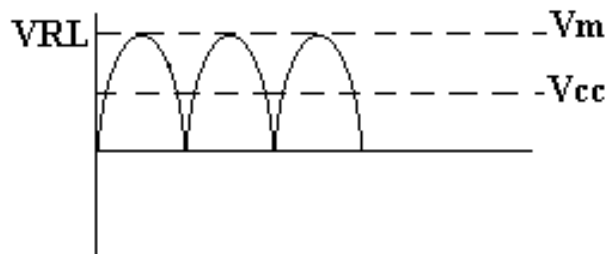


Cuando llega el semiciclo negativo al D1, positivo en el D2, este queda polarizado en forma inversa pero el D2 se polariza directamente, ocasionando nuevamente una corriente de carga y un voltaje  $V_{RL}$  como la señal de entrada a D2.

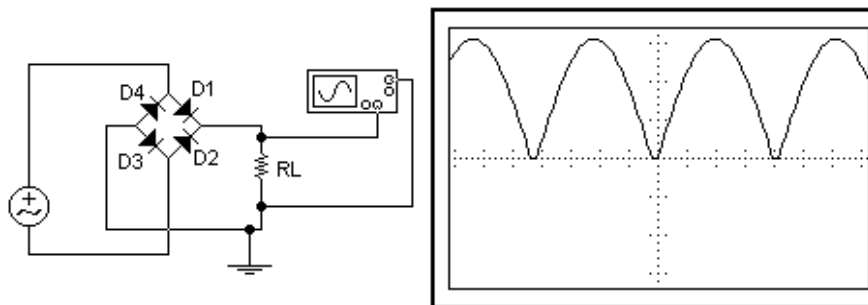
A continuación se muestra el circuito equivalente para este semiciclo.



Podemos concluir que el D1 rectifica la parte positiva de la señal y el D2 la parte negativa. La señal definitiva sobre la carga será la suma de las dos señales.



**1.3 Rectificador de onda completa con puente de Greatz.** La ventaja de este montaje es que no requiere de transformador con TAP central pero requiere de cuatro diodos que se pueden montar por separado o encapsulados en un solo puente rectificador. El circuito a implementar y la señal de salida son las siguientes:



Es importante observar con gran cuidado las rutas de conducción y no-conducción durante cada semiciclo de la señal de entrada.

Durante el semiciclo positivo de la señal de entrada tenemos que los diodos D1 y D3 quedan polarizados en forma directa entrando en conducción y los diodos D2 y D4 quedan polarizados inversamente ocasionando que el  $V_m$  quede sobre la resistencia de carga.

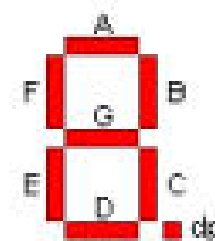
Durante el semiciclo negativo los diodos D2 y D4 quedarán polarizados directamente, mientras que los diodos D1 y D3 estarán en forma inversa, pero de todas maneras el voltaje sobre la carga será  $V_m$ .

Este es el tipo de rectificación más utilizado en fuentes de alimentación de voltaje continuo.

## 2. OTROS TIPOS DE DIODOS

Los diodos rectificadores y los diodos de señales pequeñas son ideales para el proceso de rectificación, aunque no es la única función que puede hacer un diodo. A continuación se estudiarán diodos para otras aplicaciones.

**2.1 Diodo Emisor de Luz ( LED )** En un diodo polarizado directamente, los electrones libres cruzan la unión y se combinan con los huecos. Como estos electrones pasan de un nivel alto de energía a uno bajo, irradian o emiten energía. En los diodos comunes y corrientes esta energía se disipa en forma de calor. Pero en los diodos emisores de luz ( LED ), esta energía se irradia en forma de luz.



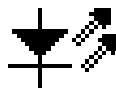
Los LEDs reemplazan a las lámparas incandescentes en muchas aplicaciones por sus bajos voltajes, su vida más prolongada y su rápida conmutación de encendido y apagado.

Los diodos normales están hechos de silicio o germanio, los cuales impiden el paso de la luz. Los LEDs utilizan elementos como el galio, arsénico y fósforo, para que puedan irradiar luz roja, verde, amarilla, azul, naranja, o infrarroja (invisible).

Los LEDs que pueden producir radiación visible son muy útiles en instrumentos, calculadoras, etc. Los LED infrarrojos, tienen aplicación en los sistemas de alarma contra robo y otras áreas que requieren este tipo de radiaciones.

A continuación se presenta el símbolo esquemático del diodo LED:

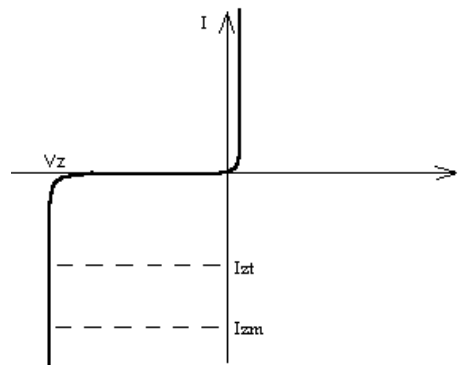
Anodo



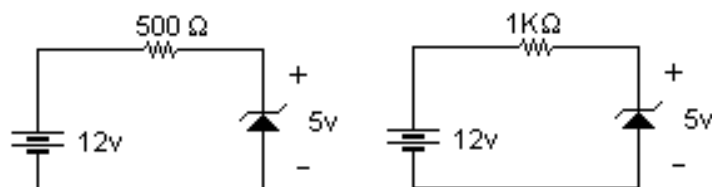
Catodo

**2.2 El Diodo Zéner.** Todo diodo que se ha polarizado en forma inversa tiene una región de voltaje zéner que una vez superada hace que el diodo entre en conducción. En los diodos comunes el voltaje zéner ( $V_z$ ) es muy alto y por esta razón no entran en conducción fácilmente. El diodo zéner está construido de tal manera que el voltaje en inverso sea de valores relativamente pequeños para poderlo utilizar.

Se muestra a continuación una gráfica de voltaje contra corriente en un diodo zéner:



La característica más importante que se puede ver en la gráfica anterior es que una vez alcanzado el voltaje zéner, este se mantiene muy constante a pesar que la corriente siga aumentando, es decir, que puede funcionar como un sistema de regulación o fijación de voltaje



Es notable que en la gráfica anterior la resistencia cambia de valor y se esperaría que la caída de voltaje sobre ella también cambiara. El zéner logra mantener aproximadamente constante el voltaje en sus extremos. Es importante mencionar que el zéner necesita una corriente mínima para entrar en avalancha y producir el voltaje zéner.

**2.3 El Fotodiodo.** Cuando incide energía luminosa en una unión P-N también se desalojan electrones de valencia, es decir, la cantidad de luz que llega a la unión puede controlar la corriente inversa de un diodo. Un fotodiodo es aquel que ha sido optimizado para mayor sensibilidad a la luz. En este diodo, una ventanilla permite el paso de la luz hasta la unión y dicha luz produce electrones libres y

huecos. Cuanto mayor sea la cantidad de luz, mayor será el número de portadores minoritarios y mayor será la corriente inversa.

A continuación se muestra el símbolo esquemático del fotodiodo. Las flechas hacia adentro representan la luz incidente.



El Fotodiodo es un ejemplo de un fotodetector, es decir, aquel dispositivo optoelectrónico que puede convertir la luz incidente en una magnitud eléctrica.

Un optoacoplador combina en un sólo dispositivo un LED y un fotodetector. La principal ventaja de este optoacoplador es el aislamiento eléctrico entre los circuitos de entrada y salida. Con un optoacoplador el único contacto entre la entrada y la salida es un rayo de luz. Debido a esto, es posible obtener una resistencia de aislamiento entre los dos circuitos de varios miles de megaohmios, muy útil en el manejo de grandes voltajes.

Existen muchos más tipos de diodos, que se dejan como consulta adicional por parte del estudiante.

### 3. EL TRANSISTOR

Antes de 1950 todo equipo electrónico utilizaba válvulas al vacío para su funcionamiento. El calefactor de una válvula normalmente consumía un par de vatios, por lo que el equipo requería una fuente de alimentación voluminosa que generaba una cantidad considerable de calor, lo cual preocupaba de sobremanera a los diseñadores. El resultado de todo esto era un equipo anticuado y pesado que en aquellos tiempos estaba ampliamente en uso.



En 1951 Shockley inventó el primer transistor de unión, que fue todo un acontecimiento porque significó un gran cambio. Todo el mundo se entusiasmó y se predijeron grandes cosas. El tiempo ha demostrado que esas predicciones quedaron cortas, en comparación con el desarrollo alcanzado por el transistor.

El impacto del transistor en la electrónica ha sido enorme, pues además de iniciar la industria multimillonaria de los semiconductores, ha sido el precursor de otros inventos como son los circuitos integrados, los dispositivos optoelectrónicos y los microprocesadores. Actualmente, podemos decir que todo equipo electrónico utiliza dispositivos semiconductores.

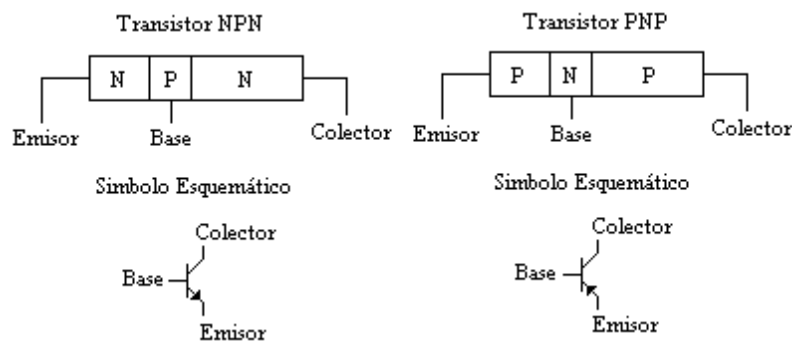
Los cambios han sido más notables en la industria de las computadoras. El transistor no se hizo para mejorar esta industria, él la creó. Antes de 1950, una computadora ocupaba todo un salón y costaba millones de dólares; hoy, una computadora de las más perfeccionadas puede colocarse sobre un escritorio y cuestan unos cuantos miles de dólares.

El transistor es un dispositivo semiconductor de tres capas, dos de material P y una de material N o dos de material N y una de material P. Para cualquiera de los casos el transistor tiene tres pines denominados emisor, base y colector.

Este dispositivo se puede emplear para muchas aplicaciones, pero se destacan las siguientes :

- Como amplificador.
- Como conmutador.
- En sistemas digitales.
- Como adaptador de impedancias

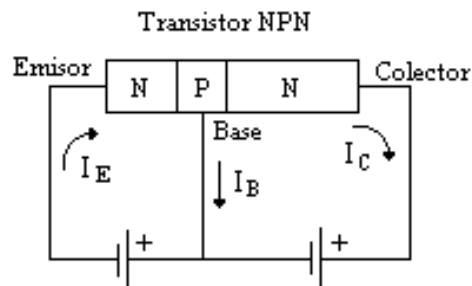
Existen dos tipos de transistores bipolares, los PNP y los NPN. Su nombre proviene de acuerdo al tipo de materiales que los componen.



En la figura se muestran las dos posibilidades para un transistor bipolar. El transistor PNP es el complemento del transistor NPN. Su comportamiento es muy similar y lo explicaremos en un transistor NPN.

En principio, el emisor se encarga de emitir electrones, el colector los recolecta y la base es la unión de las otras dos capas y el terminal por donde entra la señal que se quiere amplificar.

Todo transistor requiere de una correcta polarización de corriente continua y así establecer una región de operación adecuada para la amplificación de señales. Lo anterior requiere de algunos voltajes con la siguiente polaridad



Analicemos este circuito como si se tratara de dos diodos que forman un transistor. Al polarizar directamente al diodo emisor-base y en forma inversa al diodo base-colector, se obtiene un resultado inesperado. En la figura se espera una corriente grande de emisor, porque el diodo emisor-base está polarizado directamente. Pero no se espera una corriente grande del colector porque el diodo base-colector está polarizado inversamente. Sin embargo, la corriente del colector es tan grande como la corriente del emisor ( $I_C \approx I_E$ )

He aquí una breve explicación del porqué existe una corriente alta circulando por el colector. En el momento en que se aplica la polarización directa al diodo emisor-base, los electrones del emisor no han entrado aún en la región de la base. Sólo hasta que el  $V_{EB}$  sea mayor que el potencial de barrera, puede decirse que electrones han pasado del emisor a la base.

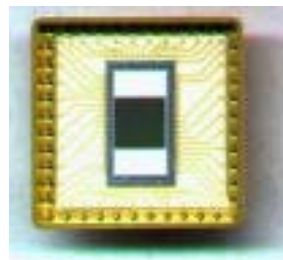
Una vez los electrones se encuentran en la base, delgada y poco contaminada, se les concede un tiempo suficiente para que alcancen la capa de agotamiento del colector. El campo de la capa de agotamiento empuja a éstos en una corriente constante de electrones hacia la región del colector. Estos abandonan el colector y entran en los contactos externos de éste y fluyen atraídos hacia el terminal positivo de la fuente de voltaje.

En la mayor parte de los transistores, más del 95% de los electrones inyectados en por emisor circulan hacia el colector, es decir que menos del 5% caen en los huecos de la base y fluyen hacia fuera por los contactos externos de la base.

Ahora, no podemos pensar en conectar dos diodos discretos ánodo con ánodo, con el fin de obtener un transistor. Cada diodo tiene dos regiones contaminadas, por lo que el circuito completo tendrá cuatro regiones contaminadas. Esto no funcionaría ya que la región de la base no es la misma que en un transistor. La clave para el funcionamiento de un transistor es la base ligeramente contaminada

entre el emisor contaminado intensamente y la contaminación intermedia del colector.

#### 4. LOS CIRCUITOS INTEGRADOS



Los circuitos integrados contienen muchos componentes ( resistencias, condensadores, diodos, transistores, etc ) colocados dentro de un paquete muy pequeño llamado *chip*.

Cada clase de circuito integrado efectúa una función distinta de acuerdo a los componentes que posee y a la forma como estén interconectados con otros componentes.

Dentro de las principales aplicaciones se encuentran C. I. para : amplificación, audio, video, compuertas lógicas, operaciones aritméticas y booleanas, operacionales, memorias, microprocesadores, etc.

#### TALLER EXPERIMENTAL. El péndulo físico.

#### EVALUACIÓN FINAL

#### PALABRAS CLAVES PARA BÚSQUEDA EN INTERNET

A continuación se presenta una serie de palabras útiles para la búsqueda en Internet. Las palabras se han probado en el buscador

<http://www.google.com>

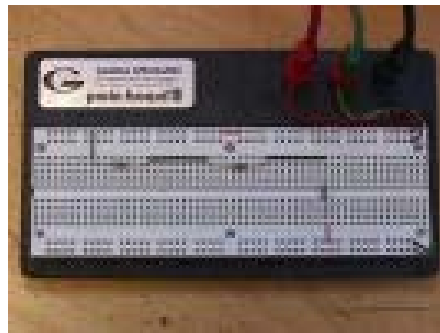
No tienen ortografía dado que el buscador es universal, y porque en ocasiones va a tener que utilizar teclados que no tienen tildes o eñes.

## APÉNDICE A. EQUIPO BÁSICO DEL LABORATORIO



En este apartado se describirán algunos aspectos básicos de tres de los principales equipos empleados en laboratorios de electrónica. En las prácticas de laboratorio del curso se desarrollarán las destrezas necesarias para el buen manejo de cada uno ellos.

### 1. El Protoboard



Es un dispositivo que permite ensamblar circuitos electrónicos sin uso de soldadura. Hace una conexión rápida y fácil y es ideal para trabajar circuitos pequeños o de prueba.

En cada orificio se puede alojar el terminal de un componente o un cable. Pero antes de trabajar con él, se deben conocer cuáles orificios están interconectados.

Generalmente las conexiones son por columnas y en las secciones laterales por filas. Con ayuda del docente vamos a reconocer estas conexiones internas.

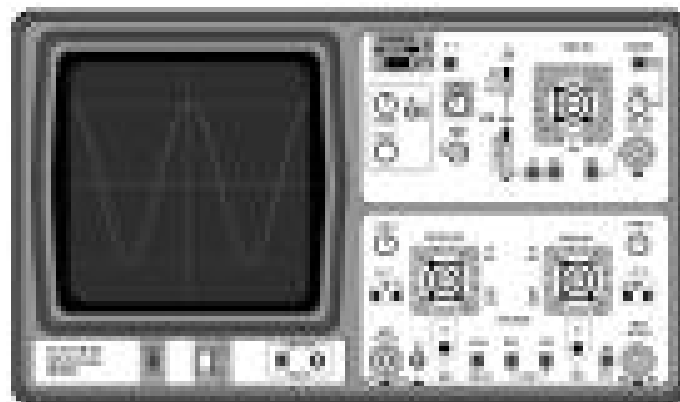
## 2. El Multímetro



Es un instrumento muy útil en el laboratorio. Permite realizar mediciones de varias magnitudes de interés, como voltaje, resistencia, corriente, capacitancia, frecuencia, etc tanto en señales continuas como alternas.

## 3. El Osciloscopio

Es un instrumento que sirve para medir las variaciones en una señal eléctrica y las presenta gráficamente a lo largo del tiempo. El osciloscopio entonces nos permite tomar la información de un fenómeno y mostrarla en una pantalla o tubo de rayos catódicos para analizarla a lo largo del tiempo.



Todos los osciloscopios constan en su parte fundamental de :

- Tubo de rayos catódicos: sirve para representar en forma visual la imagen del fenómeno eléctrico que queremos estudiar. Su pantalla viene en cuadrícula para facilitar las mediciones.
- Sección vertical: se usa para controlar la amplitud de la señal en la pantalla del osciloscopio. También se usa para determinar la escala en voltios, representada por cada división vertical de la pantalla.
- Base de tiempo ( TIME ): sirve para determinar la escala en segundos o fracción de cada división horizontal del tubo de rayos catódicos, se usa para tomar la información de tiempo de la señal.
- El selector de señal de entrada: AC ( señal alterna ), GND ( tierra ), DC ( señal de corriente directa ). En cada sección me representa la señal correcta en la pantalla.
- La entrada: es donde se coloca la sonda del osciloscopio que hace de transductor para tomar la señal.

## APÉNDICE B. NOTACIÓN CIENTÍFICA

En ingeniería es normal el tratar con números que son bastante grandes o pequeños para ser escritos en un papel. Es por ello que se ha ideado una manera de escribir este tipo de cifras de una manera cómoda y accesible, esta notación se denomina **notación científica**.

Esta notación científica consiste en escribir el número como una cifra comprendida entre 1 y 10, y luego multiplicarla por la potencia de 10 más adecuada.

Para comprender un poco mejor esto veamos los siguientes ejemplos:

Cantidad	Notación corriente	Notación científica
Longitud de onda de la luz de sodio	0.0000005893 metros	$5.893 \times 10^{-7}$ m.
Distancia aproximada del sol a la tierra.	149500000000 metros	$1.495 \times 10^{11}$ m.

**Ejemplo.** Utilice la notación científica para calcular:

a)  $\frac{0,0015}{3000000}$

b)  $6000 \times 0,000012$

Solución:

a)  $0,0015 / 3000000 = 1,5 \times 10^{-3} / 3 \times 10^6 = 0,5 \times 10^{-9} = 5 \times 10^{-10}$

b)  $6000 \times 0,000012 = 6 \times 10^3 \times 1,2 \times 10^{-5} = 7,2 \times 10^{-2} = 0,072$

A partir del anterior ejemplo ¿ podría usted deducir una regla general para la multiplicación y la división utilizando la notación científica ?

## APÉNDICE C. UNIDADES Y PREFIJOS

El Sistema Métrico Internacional de Unidades, comúnmente llamado SI, es el que más se emplea en electricidad. Sus unidades básicas son :

<b>UNIDADES BÁSICAS DEL SISTEMA INTERNACIONAL</b>		
<b>Magnitud Física</b>	<b>Unidad</b>	<b>Símbolo</b>
Longitud	metro	m
Masa	kilogramo	Kg
Tiempo	segundo	s
Corriente eléctrica	amperio	A
Temperatura	Kelvin	K
Intensidad luminosa	candela	cd
Cantidad de sustancia	mol	mol

De las unidades básicas se obtienen otras unidades muy usadas e importantes para el desarrollo del curso, las cuales se presentan a continuación :

<b>Magnitud</b>	<b>Unidad</b>	<b>Símbolo</b>
Fuerza	newton	N
Trabajo, Energía	joule	J
Potencia	vatio	W
Carga eléctrica	coulomb	C
Tensión eléctrica	voltio	V

Resistencia eléctrica	ohmio	$\Omega$
Conductancia eléctrica	siemens	S
Capacidad eléctrica	faradio	F
Flujo magnético	weber	Wb
Inductancia eléctrica	henrio	H
Inducción magnética	tesla	T
Frecuencia	hertz	Hz

En el estudio de la electricidad, algunas unidades resultan demasiado grandes o demasiado pequeñas para que su uso sea conveniente. Es por eso que se emplean algunos prefijos para referirnos a ellas con mayor propiedad. Los más empleados se presentan en la siguiente tabla :

FACTOR	PREFIJO	SÍMBOLO
$10^6$	mega	M
$10^3$	kilo	K
$10^{-3}$	mili	m
$10^{-6}$	micro	$\mu$
$10^{-9}$	nano	n
$10^{-12}$	pico	p

## INFORMACIÓN DE RETORNO

A continuación encontrará las respuestas a las preguntas y ejercicios planteados en la **Evaluación Final** de cada capítulo. Las respuestas pueden ser ampliadas por usted y la solución a los ejercicios no es única. Se espera que complemente las respuestas y encuentre otros métodos de solución para los ejercicios.

## BIBLIOGRAFÍA

[1] MÓDULO DE ESTUDIO: “Física Electrónica” – UNAD.

GUSSOW, Milton. “Fundamentos de Electricidad”. Editorial Mc Graw Hill

HALLIDAY, D.; RESNICK, R. y WALKER, J. “Fundamentos de Física” (6ª edición, 2 volúmenes). Editorial CECSA. México, 2003.

SEARS, F.W.; ZEMANSKY, M.W. y YOUNG, H.D. “Física Universitaria” (6ª edición). Addison-Wesley. 1988.

SERWAY, R.A. y JEWETT, J.W. “Física” (3ª edición, 2 volúmenes). Editorial Thomson-Paraninfo. Madrid, 2003.

TIPLER, P. A. “Física” (2 volúmenes). Editorial Reverté (Barcelona). 1999.

TOCCI, Ronald. “Sistemas Digitales: Principios y Aplicaciones” ( 6ª edición ). Editorial Prentice-Hall. México, 1996.

WILSON, J.D.: Física (2ª edición). Editorial Prentice-Hall. México, 1996.

## DIRECCIONES DE SITIOS WEB

<http://www.unicrom.com/tutoriales.asp>

<http://perso.wanadoo.es/chyryes/tutoriales.htm>

<http://www.virtual.unal.edu.co/areas/cursos/facultades/ingenieria.html>

<http://www.abcdatos.com/tutoriales/electronicayelectricidad/electronica>

<http://www.eureka.ya.com/elektron/electronica.htm>