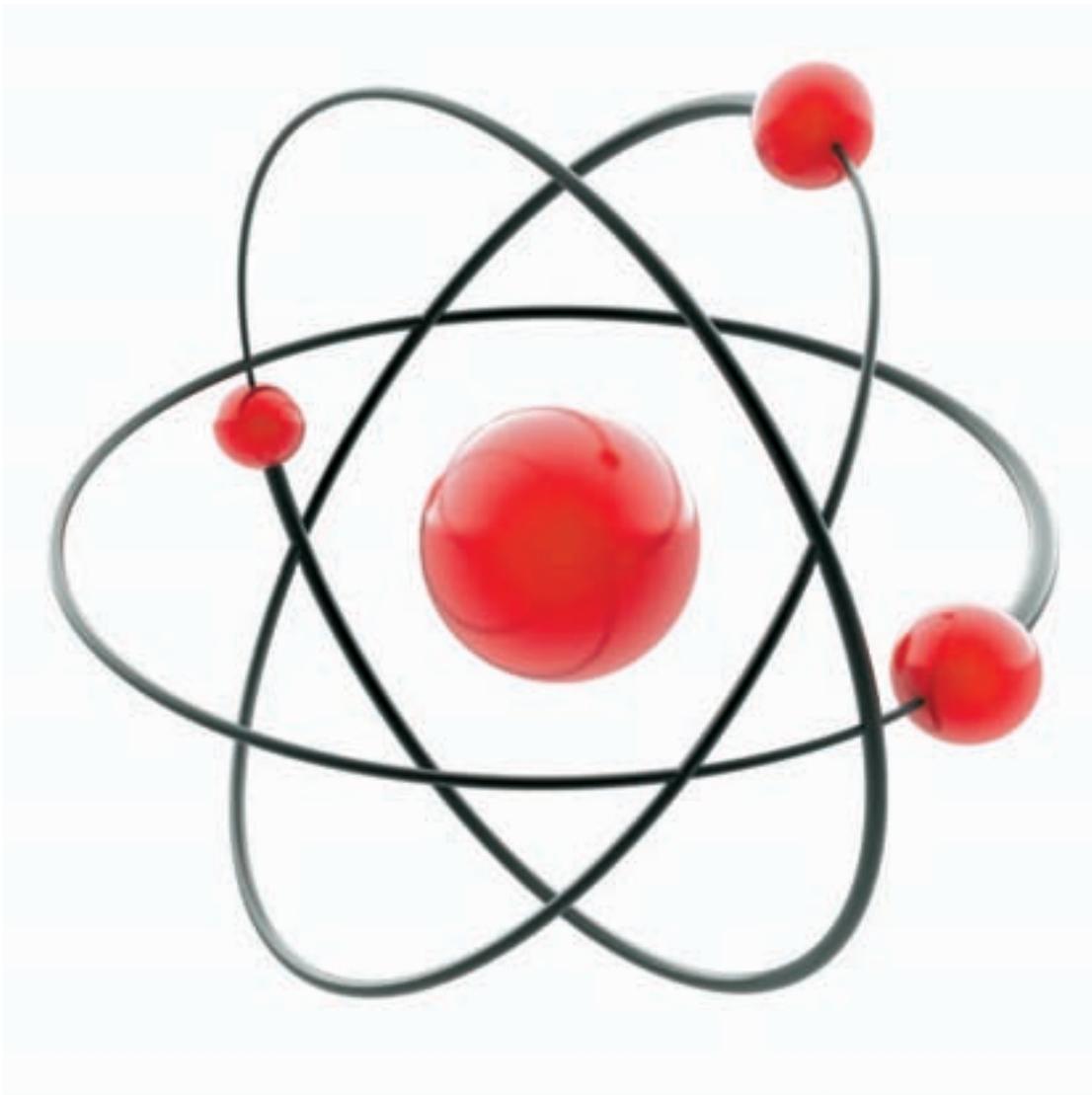


# EL MUNDO DEL AUTOMATISMO ELECTRÓNICO

---

FUNDAMENTOS Y APLICACIONES





## PREÁMBULO



No es necesario ser un experto en electrónica para enfrentarse con un circuito y saber algo de lo que se negocia en él.

Las averías suelen ser recurrentes y pueden resolverse simplemente con sentido común.

Para aclararlo vamos a poner un ejemplo:

Todo circuito electrónico trabaja con corriente continua, por lo tanto lo lógico es pensar que existe siempre una etapa o fuente de alimentación, que proporciona ese tipo de corriente. Es decir, una serie de componentes que, partiendo de la tensión de red, alterna de 230V 50 Hz, proporcionan una tensión continua de 12 V, ó 24 o -5, +5, es decir, los valores que sean necesarios.

Pues bien, con cierta frecuencia, por estar escasamente dimensionada, puede deteriorarse (se repite a menudo) y se manifiesta de forma que no llega tensión a las distintas partes del circuito y como consecuencia éste enmudece.

Lo que nos conduce a analizarla con detenimiento.

Como esta fuente representa una parte importante y delicada del circuito, hemos reducido el problema considerablemente.

Lo que corresponde ahora es examinar los componentes que la integran para sustituir el que falla.

A pesar de todo no siempre es tan fácil resolver el problema...

Hace falta decisión y el convencimiento absoluto de poderlo hacer.

“Por los síntomas lo localizareis”, podría ser el lema para descubrir el componente dañado.

La frase se refiere a que los restos que deja un fogonazo (negro humo), una pista interrumpida, etc., son los síntomas que nos orientan y nos ayudan a averiguar qué ha ocurrido, por qué falla el conjunto.

Pero es necesario saber identificar los componentes y conocer su función, tarea que ahora, juntos, vamos a emprender.

La electrónica es una asignatura pendiente para muchas personas.

Unos empezaron, y al ver tanta fórmula, tanta teoría, aparentemente sin sentido, la abandonaron, aún estando interesados en ella.

Otros siguieron, alejándose de los textos complejos, buscando una explicación más cercana, tocaron componentes, los ensamblaron e hicieron sus pinitos.

Estos han seguido y se dedican a ella.

¿Qué tal si nos situamos en un escalón intermedio para comprender los fenómenos electrónicos, como divertimento, y así eliminar la gran decepción de no saber por donde empezar?

Ese es el propósito de este trabajo.



# ÍNDICE

## ÍNDICE

(( LO RESERVAMOS PARA LA 2ª ENTREGA ))



# ÍNDICE

## ÍNDICE

(( LO RESERVAMOS PARA LA 2ª ENTREGA ))



## INTRODUCCIÓN

Iniciamos en esta ocasión, como parte importante del mundo del automatismo actual, un contacto con la electrónica, materia muy importante donde las haya y que nos va a permitir entender y realizar toda suerte de circuitos, simplemente bastará con hacer un buen planteamiento de lo que deseamos.

La electrónica tiene que ver con muchas ramas de la técnica que se han desarrollado desde principios de 1900 hasta nuestros días.

No es de extrañar que la radio, la televisión, los ordenadores y otros equipos con el mismo o mayor grado de sofisticación, integren componentes electrónicos.

Serán las aplicaciones industriales de la electrónica las que van servirnos como nexo con el mundo del automatismo.

Si en algún momento derivamos nuestra atención hacia aplicaciones más lúdicas, (la radio, por ejemplo), que las propiamente industriales, será para fortalecer la explicación, en aras de hacerla más comprensiva.



Utilizaremos, como apoyo y como es habitual, la imagen chispeante de **KWITO**, el **ANECDOTARIO** y la **VUELTA ATRÁS**.



## PERO ¿QUÉ ES LA ELECTRÓNICA?

Difícilmente se encontrará alguien, más o menos conectado con la técnica, que no haya oído mencionar la palabra Electrónica, pero muy pocos saben en qué consiste.

Decir que "es la rama de la ingeniería eléctrica que trata de los aparatos que operan mediante el flujo de haces de electrones en el vacío, en un gas a baja presión, o en un medio semiconductor" no aclara mucho la importancia extraordinaria de esta rama

joven de la ciencia. Sin embargo, a cada instante se están revelando sus frutos.

Los detectores de presencia, las puertas que abren de forma automática al intentar franquearlas, el telégrafo, el teletipo de las agencias periodísticas, las telefotos, la radio, el radar, la televisión, la telefonía celular, y las computadoras son algunos de los múltiples aparatos o dispositivos que se deben a ella.

Su reinado comenzó a construirse con el descubrimiento, de forma casual, del efecto termiónico en un tubo de vacío, por Thomas Alva Edison.

### Breve, pero exhaustiva, historia de la electrónica

La electrónica empezó con el imperio del tubo. El período de mayor desarrollo empieza en 1928 y aún continúa...

Se inicia con los trabajos de varios destacados físicos, tales como Coulomb, Ampère, Gauss, Faraday, Henry y Maxwell.

Estos trabajos quedaron recogidos, en 1865, en el marco formal de la Teoría del Electromagnetismo, formulada por Maxwell (deducida de las ecuaciones que llevan su nombre); teoría que, sin embargo, debió esperar varios años, concretamente hasta 1888 para su demostración.

Esta demostración la realizó Hertz con la generación, en el laboratorio, de ondas electromagnéticas.

Más tarde, en 1896, Marconi logró transmitir y detectar estas ondas (llamadas hertzianas) y abrió el camino a posteriores avances tan importantes como la televisión y las telecomunicaciones.

El nacimiento de la electrónica, como rama de la ciencia, puede situarse en 1895,



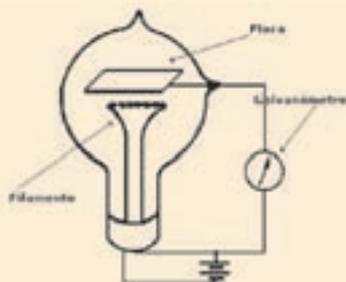
Edison trataba de conseguir un filamento, para su lámpara incandescente, que durase más de 60 horas y para ello, tratando de fortalecerlo, incorporó un soporte metálico que salía al exterior.

Sin saber cómo, haciendo mediciones, observó que se producía una corriente eléctrica entre el casquillo y el extremo que sobresalía.

No le dio importancia pero dejó constancia escrita. Esto ocurría en 1881.

Años más tarde se denominó a este descubrimiento como "efecto termiónico".

Por la figura podemos entender lo explicado sobre la bombilla pero... el dispositivo ha evolucionado y se ha convertido en un diodo termiónico.





año en el que Lorentz postuló la existencia de partículas cargadas llamadas electrones, y que fue demostrado, experimentalmente, por Thomson dos años más tarde.

Braun, en 1897, hizo pública su invención del primer tubo electrónico, rudimentario antecesor de los tubos de rayos catódicos que forman parte de los televisores.

### Las válvulas

La electrónica no asumió las connotaciones tecnológicas que la caracterizan hasta los inicios del siglo XX, con la invención de los primeros componentes y, en particular en 1904, con la creación de la válvula termoiónica o diodo, por parte del físico británico John Ambrose Fleming.

El diodo (ver figura anterior) está compuesto esencialmente por dos electrodos metálicos contenidos en un tubo vacío, uno de los cuales (el cátodo) es calentado por un filamento.

Debido a este calentamiento, el cátodo emite electrones (efecto termoiónico), que son acelerados hacia el otro electrodo (el ánodo) cuando este último se mantiene positivo respecto al cátodo.

De tal forma que, intercalado en un circuito, el diodo muestra la importante propiedad de conducir corriente únicamente cuando la tensión que se le aplica tiene un determinado sentido.

te alterna (la corriente de red es alterna debido a la técnica de su producción).

En muchos casos, la gran mayoría en circuitos electrónicos, es necesario disponer de una corriente continua; es decir, que nunca invierta su sentido de circulación.

Para esto se emplean unos determinados dispositivos que rectifican la corriente, transformándola de alterna a continua.

En 1905, el físico estadounidense Lee De Forest, perfeccionando el invento de Fleming, creó el triodo.

El aporte de Forest consistió en la introducción de un tercer elemento (la rejilla), cerca del cátodo.

La proximidad entre el cátodo y la rejilla hace que, si a esta última se le aplica una pequeña tensión, influya sustancialmente sobre el flujo de electrones en el interior del tubo.

Por tanto, el triodo actúa como amplificador (el nombre de audión, que originalmente dio De Forest a su invento, traduce el intento de aplicar esta característica a las señales de sonido).

El invento de los dispositivos mencionados proporcionó la base tecnológica para el rápido desarrollo de las radiocomunicaciones.

En 1912 en los Estados Unidos se constituyó una asociación de radiotécnicos.

Allí mismo, en 1920 se construyó, la primera emisora de radio comercial.

En las décadas de 1920 y 1930 se introdujeron mejoras a los tubos electrónicos originarios (que culminaron con la introducción del pentodo), aumentando su flexibilidad y su campo de aplicaciones.

Entre otras cosas, se hizo posible la invención de la televisión (1930) y de la radio de modulación de frecuencia, o también conocida como frecuencia modulada, FM (1933).

Los tubos de vacío dieron paso a una importante aplicación, como fue la realización de las primeras calculadoras electrónicas en los años siguientes de la Segunda Guerra Mundial.



Como veremos en el apartado dedicado al diodo semiconductor éste último es la evolución del anterior.

De esta manera, permite la rectificación de una corriente alterna.

La corriente que se obtiene conectando un electrodoméstico a una de las tomas que hay en las paredes de las casas (corriente de red), tiene la característica de invertir continuamente el sentido con que circula por un circuito, y por tanto se llama corrien-

Mientras tanto, físicos como Block, Schottky, Sommerfeld, Winger y otros realizaban excelentes progresos en el estudio de una importante clase de sustancias sólidas: los semiconductores.

En 1945 se creó un grupo de trabajo, compuesto por físicos teóricos y experimentales, un químico y un ingeniero electrónico, en los Bell Telephone Laboratories, para encontrar una alternativa al empleo de los tubos electrónicos en las telecomunicaciones. Ciertamente los tubos presentan inconvenientes, entre los cuales se cuenta una escasa fiabilidad debida a sus elevadas temperaturas de funcionamiento.

En 1947 los físicos John Bardeen, Walter Brattain y William Schockley obtuvieron un efecto de amplificación en un dispositivo compuesto por dos sondas de oro prensadas sobre un cristal de germanio (un semiconductor).

Nació así el transistor, que actualmente es el elemento fundamental de todo dispositivo electrónico (en 1965 estos físicos recibieron el Premio Nobel).

Más tarde, el primer ejemplar fue perfeccionado por Schockley con la introducción del transistor de unión, totalmente de material semiconductor, gracias a los progresos efectuados por los laboratorios Bell en la obtención de materiales de base (germanio y silicio) con un elevado grado de pureza.

La comercialización del transistor en 1951 sentó las bases para el desarrollo cualitativo y cuantitativo de la tecnología electrónica en la segunda mitad del siglo.

El transistor proporcionó las mismas funcionalidades del triodo, siendo más pequeño, eficiente, fiable, económico y duradero.

Esto permitió la existencia de una gama de aplicaciones antes impensables y la reducción de costos y del tamaño de los dispositivos electrónicos de uso común (radio, televisión, etc.), abriéndose así el camino hacia el fenómeno de la electrónica de consumo.

La aparición del transistor también proporcionó un gran impulso al desarrollo de los ordenadores.

En 1959 la IBM presentó el primer ordenador (el 7090) de estado sólido, es decir, con transistores.

En la actualidad, los componentes con semiconductor como el transistor, han sustituido casi por completo a los tubos de vacío.

Estos últimos únicamente se emplean en algunas aplicaciones particulares, como en la generación de microondas, o con tensiones de funcionamiento muy altas.

### Los circuitos integrados

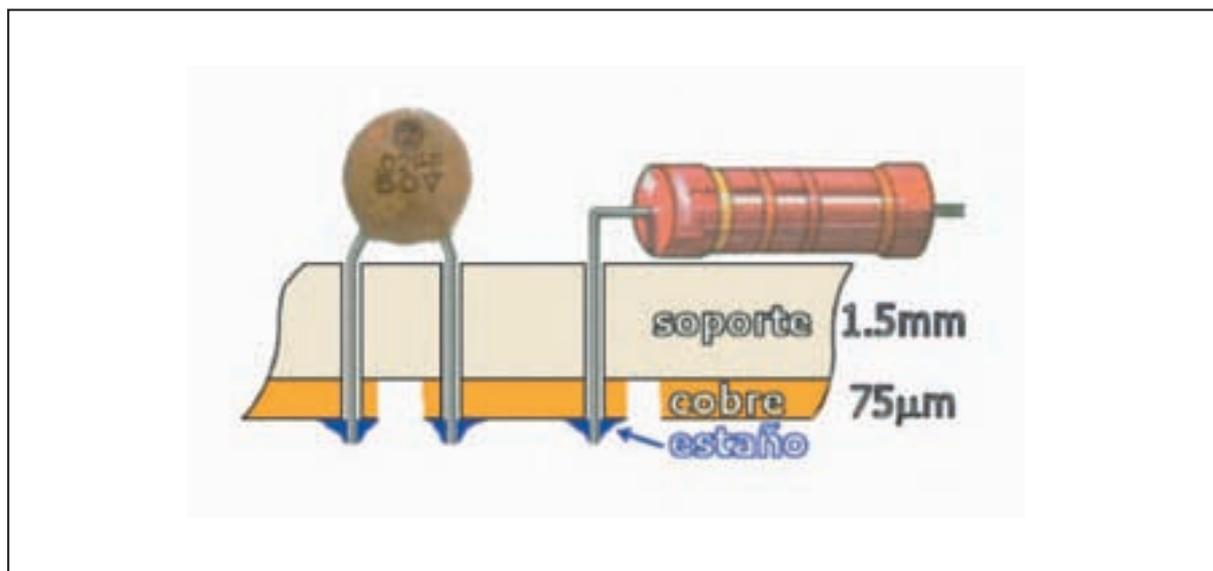
La última parte de la evolución de la electrónica se abrió a finales de los años cincuenta con la introducción del circuito integrado por parte de Kilby, de la Texas Instrument, y de Noyce y Moore, de la Fairchild Semiconductor Company.

La idea fue incluir un circuito completo en una sola pastilla de semiconductor: el Chip, y hacer de las conexiones entre los dispositivos parte integrante de su proceso de producción, reduciendo así las dimensiones, peso y el costo con relación al número de elementos activos.

El desarrollo de la microelectrónica, como se denomina la electrónica de los circuitos integrados es impresionante.

A partir de su comercialización (1961), el número máximo de componentes integrados en un chip se duplicó cada año desde los 100 iniciales.

En la segunda mitad de los años setenta, al introducirse la integración a gran escala (VLSI) y superar los 10.000 componentes, se ingresó en la época actual, en la que es normal encontrar varios millones de componentes integrados en un chip muy pequeño, por ejemplo en los microprocesadores de los ordenadores personales.



## LOS COMPONENTES PASIVOS

Son aquellos que no producen rectificación, amplificación, ni oscilación pero intervienen en esos procesos, colaborando al mejor funcionamiento de los elementos activos (llamados genéricamente semiconductores).

Los componentes pasivos están formados por elementos de diversas clases que tendremos que considerar independientemente, ya que son diferentes sus objetivos, construcción y resultados, de modo que vamos a dividirlos en tres grandes grupos:

1. Resistencias
2. Condensadores
3. Bobinados

### La resistencia

Se denomina resistencia a la mayor o menor dificultad que presentan los materiales para ser recorridos por una corriente eléctrica. Los materiales que menor dificultad presentan se denominan conductores y aquellos que dificultan notablemente el avance de los electrones, se denominan aislantes.

La unidad de resistencia eléctrica es el **Ohmio** cuyo símbolo es la letra griega  $\Omega$  (omega).

Por la Ley de Ohm el valor de la resistencia es:

$$R = \frac{V}{I}$$

Se llama **resistividad** o coeficiente de resistividad a la resistencia que presenta, al paso de la corriente eléctrica un conductor, de 1 metro de longitud y un milímetro cuadrado de sección.

La resistencia es proporcional a la longitud e inversa a la sección.

$$R = \frac{\rho \times l}{S}$$

Siendo **l** la longitud en metros, **S** la sección en  $\text{mm}^2$  y  $\rho$  el coeficiente propio de cada material.

La conductividad es la inversa de la resistividad y se representa por la letra **C**:

$$C = \frac{1}{\rho}$$

Materiales	Resistividad ( $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ )
Plata	0,0165
Cobre	0,0175
Hierro	0,13
Estaño	0,12
Aluminio	0,02

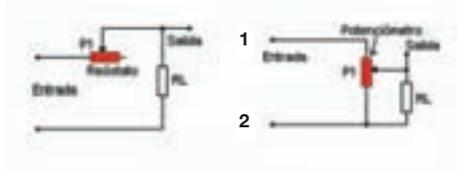
Materiales especialmente aislantes son la parafina, ebonita, porcelana, etc.

La resistencia puede disponerse de forma que toda o una parte esté incorporada en el circuito, o sea, podemos hablar de resistencia fija o variable, llamada también reóstato, formado por un cursor que va deslizándose a lo largo de la materia resistiva, con lo cual conectaremos el extremo y el cursor al circuito donde deseamos hacer que varíe la intensidad.

Existe también otro tipo, de tres ensambladuras, en el que el otro extremo de la resistencia está provisto de un terminal para su conexión al circuito exterior y el cursor, en su recorrido, se desliza de uno a otro de los extremos.

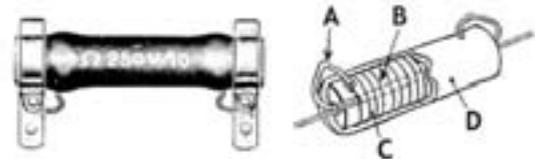
En este caso el reóstato se denomina potenciómetro.

Este último elemento sirve como divisor, o variador, de tensión.



Por lo general, una vez construidas, se recubren de un barniz especial que se somete a un proceso de vitrificación a alta temperatura con el objeto de proteger el hilo y evitar que las diversas espiras hagan contacto entre sí.

Sobre este barniz suelen marcarse con serigrafía los valores en ohmios y en vatios, tal como se observa en la figura:



En la que se contempla una resistencia de  $250 \Omega$ , que puede disipar una potencia máxima de 10 vatios.

Representa el aspecto exterior y la estructura constructiva de las resistencias de alta disipación (gran potencia).

Pueden soportar corrientes relativamente elevadas y están protegidas con una capa de esmalte.

- A:** es el hilo de conexión
- B:** el soporte cerámico
- C:** el arrollamiento
- D:** el recubrimiento de esmalte.

### Las resistencias comerciales

La corriente máxima de una resistencia viene condicionada por la máxima potencia que puede disipar su cuerpo.

Esta potencia se puede identificar visualmente a partir del diámetro sin que sea necesaria otra indicación.

Las resistencias pueden clasificarse en dos grupos, de acuerdo con el material con el que estén constituidas: “resistencias de hilo” solamente para disipaciones de calor superiores a 2W, y “resistencias químicas” para, en general, potencias inferiores a 2W.

Las primeras pueden clasificarse en resistencias fijas o variables (como ya hemos visto).

### Resistencias de hilo o bobinadas

Generalmente están constituidas por un soporte de material aislante y resistente a la temperatura (cerámica, esteatita, mica, etc.) alrededor del cual está la resistencia propiamente dicha, constituida por un hilo cuya sección y resistividad depende de la potencia y de las resistencias deseadas.

En los extremos del soporte hay fijados dos anillos metálicos sujetos con un tornillo o remache cuya misión, además de fijar en él el hilo de resistencia, consiste en permitir su conexión mediante soldadura.

### Resistencias químicas

Las resistencias de hilo de valor óhmico elevado necesitarían una cantidad de hilo tan grande que en la práctica resultarían muy voluminosas.

Las resistencias de este tipo se realizan de forma más sencilla y económica empleando, en lugar de hilo, carbón pulverizado mezclado con sustancias aglomerantes.

La relación entre la cantidad de carbón y la sustancia aglomerante determina la resistividad por centímetro, por lo que es posible fabricar resistencias de diversos valores.

Existen tipos de carbón aglomerado, de película de carbón y de película metálica. Normalmente están constituidas por un soporte cilíndrico aislante (de porcelana u



Conclusión: Los reóstatos se utilizan para variar niveles de corriente y los potenciómetros se utilizan para variar niveles de voltaje.

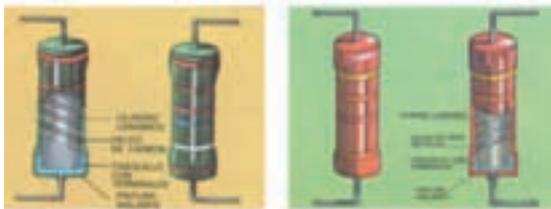
otro material análogo) sobre el cual se deposita una capa de material resistivo.

Los valores más corrientes son 0.25 W, 0.5 W y 1 W.

En las resistencias, además del valor óhmico que se expresa mediante un código de colores, hay una contraseña que determina la precisión de su valor (aproximación), o sea la tolerancia anunciada por el fabricante.

Esta contraseña está constituida por un anillo pintado situado en uno de los extremos del cuerpo.

A continuación se representan unos ejemplos de resistencias de película de carbón y de película metálica, donde se muestra su aspecto constructivo y su aspecto exterior:



### Potenciómetros químicos

Se trata de un divisor resistivo variable ajustable por medio de un cursor.

Es una resistencia formada por una delgada pista de carbón de cuyos extremos salen dos terminales; a dicha pista la recorre un cursor que está vinculado a un tercer terminal.

Si se aplica una tensión entre los terminales 1 y 2, el cursor tendrá una tensión proporcional a la posición de este sobre la pista.

### Construcción

Existen dos tipos de potenciómetros:

Potenciómetros impresos. Realizados con una pista de carbón sobre un soporte duro como papel baquelizado, fibra, alúmina, etc.

La pista tiene sendos contactos en sus extremos y un cursor conectado a un patín que se desliza por la pista resistiva.

Potenciómetros bobinados. Consiste en un arrollamiento toroidal de un hilo resistivo (por ejemplo, constantán) con un cursor que mueve un patín sobre el mismo.

### Tipos



Según su aplicación se distinguen:

- **Potenciómetros de mando.**

Son adecuados para su uso como elemento de control en los aparatos electrónicos. El usuario actúa sobre ellos para variar los parámetros normales de funcionamiento. Por ejemplo, el volumen de una radio.

- **Potenciómetros de ajuste.**

Controlan parámetros preajustados, normalmente en fábrica, que el usuario no suele tener que retocar, por lo que no acostumbra ser accesibles desde el exterior.

Existen tanto encapsulados en plástico como sin cápsula, y se suelen presentar como potenciómetros de ajuste vertical, cuyo eje de giro es vertical, y potenciómetros de ajuste horizontal, con el eje de giro paralelo al circuito impreso.

Según la ley de variación de la resistencia:

- **Potenciómetros lineales.** La resistencia es proporcional al ángulo de giro.

- **Logarítmicos.** La resistencia depende logarítmicamente del ángulo de giro y se construyen de esta forma porque se utilizan en el control de volumen en los

aparatos de audio y deben seguir la misma curva de sensibilidad del oído humano ante las variaciones de la intensidad sonora percibida, que no presenta una variación lineal sino logarítmica.

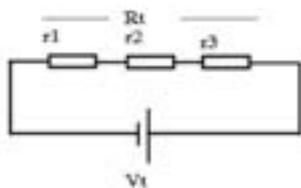
- **Sinusoidales.** La resistencia es proporcional al seno del ángulo de giro. Dos potenciómetros sinusoidales solidarios y girados  $90^\circ$  proporcionan el seno y el coseno del ángulo de giro. Pueden tener topes de fin de carrera o no.
- **Antilogarítmicos.**  
En los potenciómetros impresos la ley de resistencia se consigue variando la anchura de la pista resistiva, mientras que en los bobinados se ajusta la curva a tramos, con hilos de distinto grosor.

### Asociación de resistencias

#### RESISTENCIAS EN SERIE

1. Se dice que dos o más resistencias están conectadas en serie cuando el final de la primera se conecta al principio de la segunda y el final de la segunda con el principio de la tercera.

Es decir final con principio, como muestra la figura siguiente.



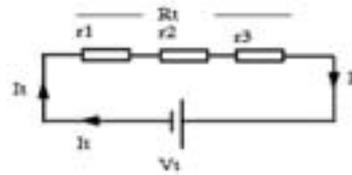
2. La resistencia total del conjunto es la suma de las resistencias parciales, es decir:

$$R_t = r_1 + r_2 + r_3$$

3. La intensidad del conjunto es siempre la misma en un circuito en donde todos los receptores están conectados en serie.

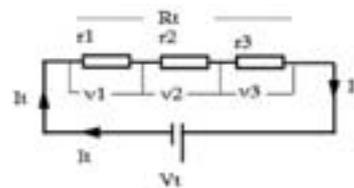
En cualquier punto del circuito podremos medir la misma intensidad.

Es decir, la intensidad que recorre la resistencia 1, la 2 y la 3 es la misma,  $I_t$ .



4. Las tensiones parciales en un conjunto de resistencias conectadas en serie están determinadas por la siguiente fórmula:

$$V_1 = I_t \cdot r_1; V_2 = I_t \cdot r_2; V_3 = I_t \cdot r_3$$

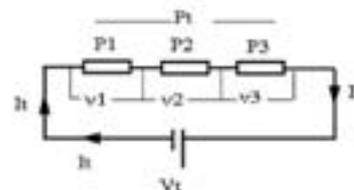


5. La suma de las tensiones parciales es igual a la tensión aplicada o tensión total, es decir:

$$V_t = V_1 + V_2 + V_3; V_t = (I_t \cdot r_1) + (I_t \cdot r_2) + (I_t \cdot r_3)$$

6. La potencia total disipada por el conjunto es la suma de las potencias parciales disipadas por cada una de las resistencias. Se puede calcular usando cualquiera de las tres expresiones siguientes:

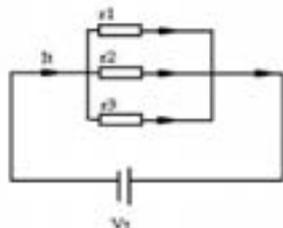
$$P_t = V_t \cdot I_t; P_t = P_1 + P_2 + P_3; P_t = (V_1 \cdot I_t) + (V_2 \cdot I_t) + (V_3 \cdot I_t)$$



#### RESISTENCIAS EN PARALELO

1. Se dice que dos o más resistencias están conectadas en paralelo cuando quedan conectados entre si todos los principios y todos los finales.

Es decir, principios con principios y finales con finales.



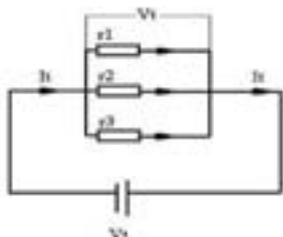
2. La resistencia total de un circuito con resistencias parciales conectadas en paralelo está determinada por la fórmula siguiente:

$$Rt = \frac{1}{\frac{1}{r1} + \frac{1}{r2} + \frac{1}{r3}}$$

3. Al contrario de lo que sucede en los circuitos con resistencias en serie, en un circuito paralelo la tensión a la que queda sometida todas las resistencias es igual a la total aplicada.

Todas las resistencias conectadas en paralelo reciben la tensión total:

$$Vt = V1 = V2 = V3$$



4. La intensidad total en un circuito en paralelo es igual a la suma de las intensidades parciales.

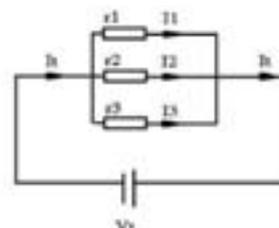
Existirán tantas intensidades parciales como resistencias conectadas en distintos ramales.

Si todas las resistencias fueran iguales todas las intensidades parciales también lo serías entre ellas.

$$It = I1 + I2 + I3 + \dots$$

$$I1 = Vt / r1 \quad I2 = Vt / r2 \quad I3 = Vt / r3$$

$$It = (Vt / r1) + (Vt / r2) + (Vt / r3)$$



5. La potencia total disipada por el conjunto es la suma de las potencias parciales disipadas por cada una de las resistencias.

Se puede calcular usando cualquiera de las tres expresiones siguientes:

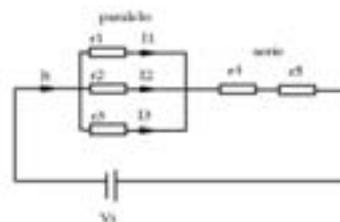
$$P1 = V1 \cdot I1; \quad P2 = V2 \cdot I2; \quad P3 = V3 \cdot I3$$

$$Pt = Vt \cdot It; \quad Pt = P1 + P2 + P3; \quad Pt = (V1 \cdot I1) + (V2 \cdot I2) + (V3 \cdot I3)$$

### ASOCIACIÓN MIXTA

Se trata de una asociación de resistencias en serie junto con otras en paralelo.

Y se calcula, resolviendo primero las distintas asociaciones y reduciéndolas a una total en serie.



### CURIOSIDADES

La resistencia total en paralelo siempre será menor que la más pequeña de las resistencias parciales.

La resistencia total de un circuito en serie será siempre mayor que cualquiera de las parciales.



La intensidad total en un circuito paralelo será siempre mayor que cualquiera de las intensidades parciales.

La intensidad en un circuito serie será la misma en cualquier punto en donde mida.

Las guirnaldas navideñas son un circuito en serie de un conjunto de lámparas. La guirnalda está calculada para que cada una de las lámparas reciba sólo la tensión para la que ha sido diseñada. Si una de las lámparas se funde la guirnalda deja de funcionar.

La intensidad parcial en un circuito paralelo será siempre menor a la total.

La resistencia que ofrece un adulto de complejidad media al paso de la electricidad y en condiciones normales está entre 400 y 500 K $\Omega$

La resistencia de los materiales conductores aumenta con el calor.

El camino que recorre una corriente eléctrica depende siempre de la resistencia, cuanto menor sea ésta, mayor será la cantidad de electricidad que pasa por el conductor y viceversa. Por ello, por ejemplo interesa que un pararrayos tenga la menor resistencia posible.

### Código de colores

Las resistencias de potencia pequeña, empleadas en circuitos electrónicos, van marcadas con un código de franjas de colores.

Los datos se indican con un conjunto de rayas de colores sobre el cuerpo del elemento.

Son tres, cuatro o cinco rayas; dejando la raya de tolerancia (normalmente plateada o dorada) a la derecha, se leen de izquierda a derecha.

La última raya indica la tolerancia (precisión).

De las restantes, la última es el multiplicador y las otras las cifras.



Para caracterizar una resistencia hacen falta tres valores: resistencia eléctrica, disipación máxima y precisión o tolerancia.

Color de la banda	Valor de la cifra significativa	Multiplicador	Tolerancia	Coefficiente de temperatura
Negro	0	1		
Marrón	1	10	1%	100ppm/ $^{\circ}$ C
Rojo	2	100	2%	50ppm/ $^{\circ}$ C
Naranja	3	1 000		15ppm/ $^{\circ}$ C
Amarillo	4	10 000		25ppm/ $^{\circ}$ C
Verde	5	100 000	0,5%	
Azul	6	1 000 000	0,25%	10ppm/ $^{\circ}$ C
Violeta	7	10 000 000	0,1%	5ppm/ $^{\circ}$ C
Gris	8	100 000 000		
Blanco	9	1 000 000 000		1ppm/ $^{\circ}$ C
Dorado		0.1	5%	
Plateado		0.01	10%	
Ninguno			20%	

El valor se obtiene leyendo las cifras como un número de una, dos o tres cifras; se multiplica por el multiplicador y se obtiene el resultado en Ohmios ( $\Omega$ ).

El coeficiente de temperatura únicamente se aplica en resistencias de alta precisión (<1%).



### Un poco de su biografía

Físico alemán nacido en Königsberg (actualmente Kaliningrado, Rusia). Hizo contribuciones importantes al análisis espectral, a la teoría de los circuitos eléctricos y a la física teórica. Al lado de Bunsen trabajó en la aplicación de espectroscopia a la identificación de los elementos y, en particular, al análisis químico de las estrellas. Identificó numerosas líneas de hierro en el espectro solar y, junto con Bunsen, descubrió espectroscópicamente los elementos cesio y bario. Explicó, además, las líneas de Fraunhofer (rayas negras del espectro). El principal aporte de Kirchhoff a la electricidad es el enunciado de las leyes que llevan su nombre. Fue uno de los primeros científicos de su siglo que adoptaron el positivismo.

### Identificación

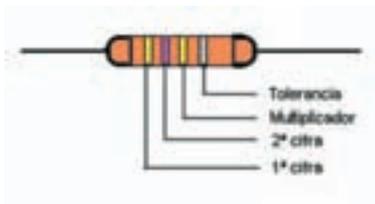
Ejemplo: La caracterización de una resistencia de  $470.000 \Omega$  ( $470 \text{ k} \Omega$ ), con una tolerancia del 10%, sería la representada en la figura siguiente:

**1ª cifra:** Amarillo (4)

**2ª cifra:** Violeta (7)

**Multiplicador:** Amarillo (10000)

**Tolerancia:** Plateado (+/-10%)

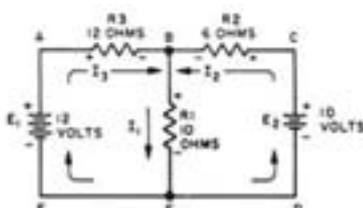


### Leyes de Kirchhoff

Hemos visto la asociación de resistencias sin, aparentemente, ningún problema a la vista sobre su comprensión.

Sin embargo en electrónica no todo es tan sencillo.

Hay circuitos que pueden ser un pequeño galimatías como por ejemplo el que aparece a continuación:



¿Cómo resolverlo de forma sencilla?

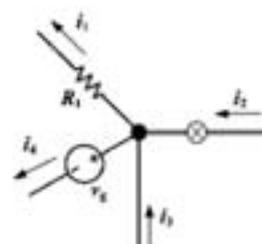
Recurriendo a la **Leyes de Kirchhoff**

¿Kirchhoff?

### Definiciones

Para su enunciado es necesario previamente definir los conceptos de:

- *Nudo* o *nodo* es el punto donde concurren varias ramas de un circuito. El sentido de las corrientes es arbitrario y debe asignarse al azar.
- *Rama* es el fragmento de circuito eléctrico comprendido entre dos nodos.
- *Lazo* es el circuito que resulta de recorrer el esquema eléctrico en un mismo sentido regresando al punto de partida, pero sin pasar dos veces por la misma rama.
- *Red plana* es aquella dentro de la cual se puede dibujar una superficie cerrada sin que se corte con ninguna rama.
- *Malla* es un lazo que cumple la condición de red plana, es decir, un lazo que no tiene otros lazos en su interior.



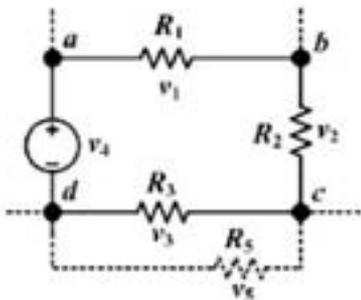
### 1ª Ley de circuito de Kirchoff, o de las intensidades.

En todo nudo, donde la densidad de la carga no varíe en un instante de tiempo, la suma de corrientes entrantes es igual a la suma de corrientes salientes.

Dicho de otra forma:

En todo nudo la suma algebraica de corrientes debe ser 0.

$$\sum_{k=1}^n I_k = I_1 + I_2 + \dots + I_n = 0$$



### 2ª Ley de circuito de Kirchoff, o de las tensiones.

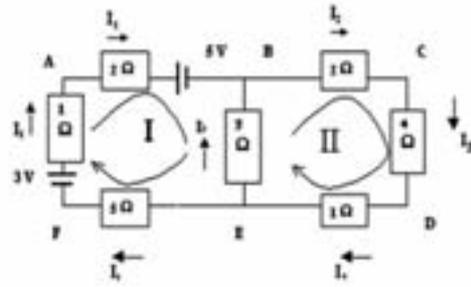
En toda malla la suma de todas las caídas de tensión es igual a la suma de todas las fuerzas electromotrices.

Un enunciado alternativo es:

$$\sum_{k=1}^n V_k = 0$$

En toda malla la suma algebraica de las diferencias de potencial eléctrico debe ser cero.

Veamos unos ejemplos:



En el ejemplo de la figura hay tres **mallas**:

ABEF

BCDE

ABCDEF

El contorno de la malla está formado por **ramas**.

Hay tres ramas:

EFAB

BE

BCDE

En el ejemplo de la figura hay dos **nudos**: los puntos B y E.

Se fijan en cada malla un sentido de referencia arbitrario, que no tiene por qué ser el mismo en todas las mallas.

En el ejemplo se ha escogido el sentido de las agujas del reloj para ambas.

Basta con tomar las mallas que sean independientes.

La ABCDEF no es independiente, porque está formada por las otras dos.

Se conviene en asignarle a los generadores signo positivo cuando tienden a producir corriente en el mismo sentido que el de referencia, y negativo en caso contrario.

Obsérvese que esta ley no es sino la ley de Ohm generalizada.

Como aplicación, se resolverá el ejemplo propuesto: (ver Figura)

Aplicamos la 1ª ley de Kirchoff al nudo B.

Recordemos:

En un nudo, la suma de las corrientes que entran es igual a las de que salen.

O bien, la suma algebraica de corrientes en un nudo es nula.

$$I_1 + I_3 = I_2 \text{ (I)}$$

Aplicamos la 2ª ley de Kirchoff a la malla I.

Recordemos:

A lo largo de una malla, la suma de fuerzas electromotrices es igual a la suma de las diferencias de potencial producidas en las resistencias.

Otra manera de expresar esto es: la suma algebraica de las tensiones a lo largo de una malla es cero.

$$-3 \text{ V} + 5 \text{ V} = I_1 \times 1 + I_1 \times 2 + I_1 \times 5 - I_3 \times 3$$

$$2 \text{ V} = I_1 \times 8 - I_3 \times 3 \text{ (II)}$$

Aplicamos la 2ª ley de Kirchoff a la malla II:

$$0 \text{ V} = I_2 \times 2 + I_2 \times 4 + I_2 \times 1 + I_3 \times 3$$

$$0 \text{ V} = I_2 \times 7 + I_3 \times 3 \text{ (III)}$$

Resolviendo el sistema de ecuaciones (I)  
(II) (III)

$$I_1 = 20 / 101 = 0,198 \text{ A}$$

$$I_2 = 6 / 101 = 0,0594 \text{ A}$$

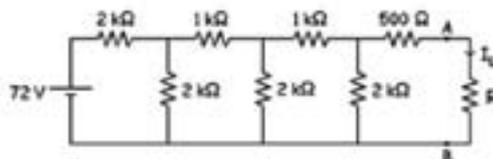
$$I_3 = -14 / 101 = -0,138 \text{ A}$$

El signo negativo de  $I_3$  quiere decir que, en realidad, dicha corriente tiene sentido contrario al que hemos supuesto y dibujado en nuestra figura.

## Teorema de Thévenin y Norton

Vamos a explicar dos teoremas (Thévenin y Norton) que nos van a permitir simplificar y hacer más fácil la resolución de los circuitos.

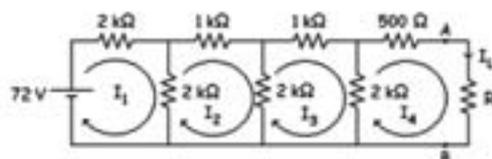
Sea el circuito que aparece a continuación:



Se nos solicita:

- Calcular la  $I_L$  cuando  $R_L = 1,5 \text{ kW}$ .
- Calcular la  $I_L$  cuando  $R_L = 3 \text{ kW}$ .
- Calcular la  $I_L$  cuando  $R_L = 4,5 \text{ kW}$ .

## Ley de Kirchoff de tensiones



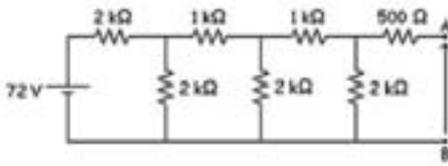
$$\begin{cases} \text{a) } -72 + 2I_1 + 2(I_1 - I_2) = 0 \\ 2(I_2 - I_1) + 1I_2 + 2(I_2 - I_3) = 0 \\ 2(I_2 - I_3) + 1I_3 + 2(I_3 - I_4) = 0 \\ 2(I_4 - I_3) + 0,5I_4 + 1,5I_4 = 0 \end{cases} \begin{matrix} I_1 = \\ I_2 = \\ I_3 = \\ I_4 = I_L \end{matrix}$$

$$\begin{cases} \text{b) } -72 + 2I_1 + 2(I_1 - I_2) = 0 \\ 2(I_2 - I_1) + 1I_2 + 2(I_2 - I_3) = 0 \\ 2(I_2 - I_3) + 1I_3 + 2(I_3 - I_4) = 0 \\ 2(I_4 - I_3) + 0,5I_4 + 3I_4 = 0 \end{cases} \begin{matrix} I_1 = \\ I_2 = \\ I_3 = \\ I_4 = I_L \end{matrix}$$

$$\begin{cases} \text{c) } -72 + 2I_1 + 2(I_1 - I_2) = 0 \\ 2(I_2 - I_1) + 1I_2 + 2(I_2 - I_3) = 0 \\ 2(I_2 - I_3) + 1I_3 + 2(I_3 - I_4) = 0 \\ 2(I_4 - I_3) + 0,5I_4 + 4,5I_4 = 0 \end{cases} \begin{matrix} I_1 = \\ I_2 = \\ I_3 = \\ I_4 = I_L \end{matrix}$$

### Thévenin

Quitar la carga  $R_L$ .



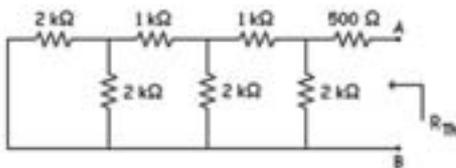
$$V_{Th} = \begin{cases} \text{Tensión Thévenin} \\ \delta \\ \text{Tensión en circuito abierto} \end{cases}$$

Creamos mallas y calculamos  $V_{Th}$ :

$$\begin{cases} -72 + 2I_1 + 2I_2 = 0 \\ 2I_2 - 2I_1 + I_2 + 2I_2 - 2I_3 = 0 \\ 2I_3 - 2I_2 + I_3 + 2I_3 = 0 \end{cases} \begin{cases} I_1 = \\ I_2 = \\ I_3 = \end{cases}$$

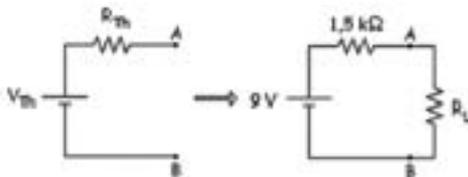
$$V_{Th} = 2I_3$$

Cortocircuitar las fuentes de tensión independientes y abrir las fuentes de corriente independientes.



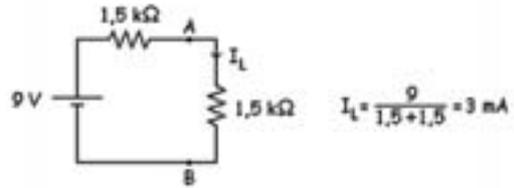
$$R_{Th} = [(2 // 2) - 1 // 1] // 2 + 0,5 = 1,5 \text{ k}\Omega$$

Unir la carga al circuito equivalente conseguido.

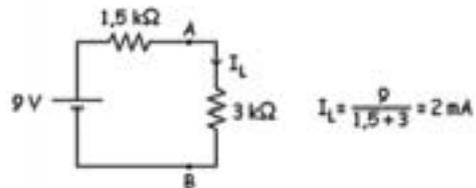


Ahora aplicando Thévenin es mucho más fácil resolver el problema que teníamos.

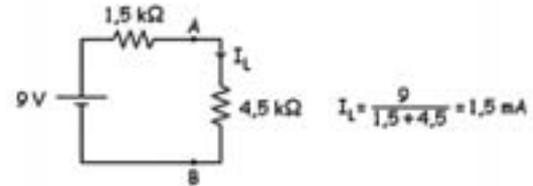
a)



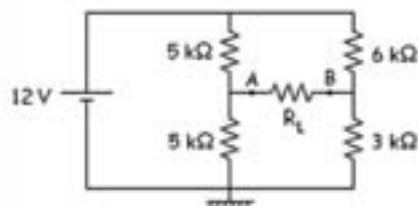
b)



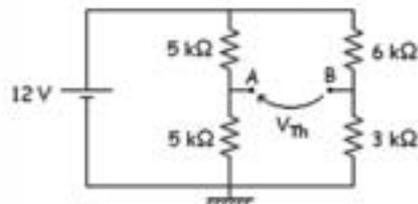
c)



**Ejemplo:** Calcular el equivalente de Thévenin del siguiente circuito:



1.



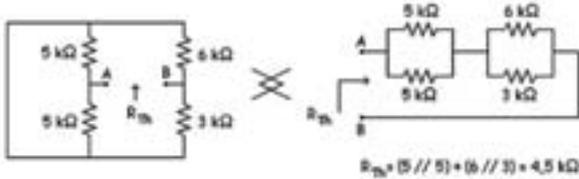
2.

$$V_A = I_A R \Rightarrow V_A = \frac{12}{5+5} \cdot 5 = 6 \text{ V}$$

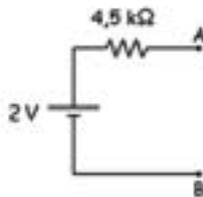
$$V_B = I_B R \Rightarrow V_B = \frac{12}{6+3} \cdot 3 = 4 \text{ V}$$

$$V_{Th} = V_{AB} = V_A - V_B = 6 + 4 = 2 \text{ V}$$

3.

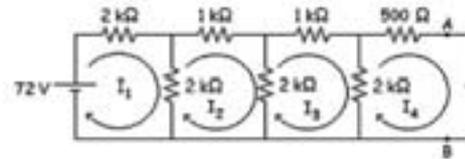


4.



### Norton

Quitar la carga RL y poner un cortocircuito (RL = 0).



$$I_N = \begin{cases} \text{Corriente Norton} \\ 6 \\ \text{Corriente en cortocircuito} \end{cases}$$

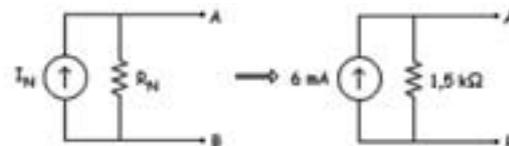
Hacemos mallas y calculamos VTh:

$$\begin{cases} -72 + 2I_1 + 2(I_1 - I_2) = 0 \\ 2(I_2 - I_1) + 1I_2 + 2(I_2 - I_3) = 0 \\ 2(I_2 - I_3) + 1I_3 + 2(I_3 - I_4) = 0 \\ 2(I_4 - I_3) + 0.5I_4 + 1.5I_4 = 0 \end{cases} \begin{cases} I_1 = \\ I_2 = \\ I_3 = \\ I_4 = I_N = 6 \text{ mA} \end{cases}$$

Cortocircuitar las fuentes de tensión independientes y abrir las fuentes de corriente independientes.

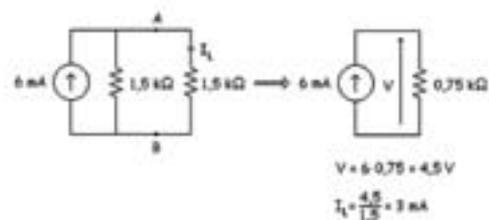
$$R_N = R_{Th} = 1.5 \text{ k}\Omega$$

Unir la carga al circuito equivalente conseguido.



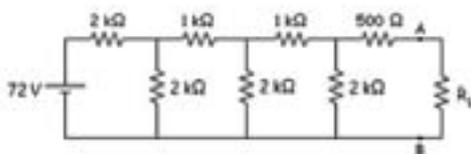
Ahora aplicando Thévenin es mucho más fácil resolver el problema que teníamos.

a)



### Teorema de Norton

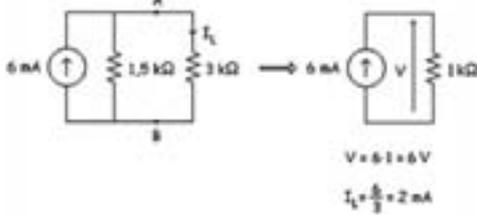
Este teorema está muy relacionado con el Teorema de Thévenin. Resolveremos el problema anterior usando el teorema de Norton.



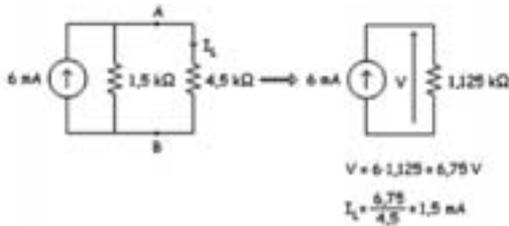
- a) Calcular la  $I_L$  cuando  $R_L = 1.5 \text{ kW}$ .
- b) Calcular la  $I_L$  cuando  $R_L = 3 \text{ kW}$ .
- c) Calcular la  $I_L$  cuando  $R_L = 4.5 \text{ kW}$ .



b)



c)

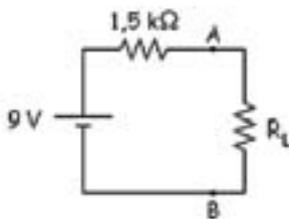


Paso de circuito Thévenin a circuito Norton y de circuito Norton a circuito Thévenin

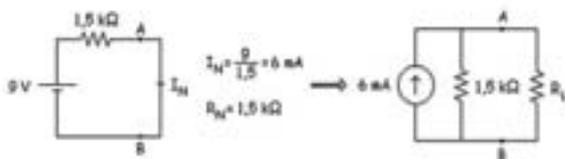
Los teoremas de Thévenin y Norton están relacionados, así se puede pasar de uno a otro.

### Paso de circuito Thévenin a circuito Norton

Tenemos el circuito siguiente:

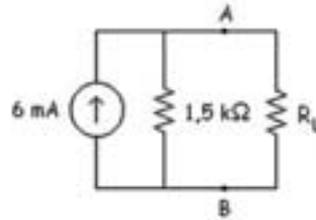


Cortocircuitamos la carga ( $R_L$ ) y obtenemos el valor de la intensidad Norton, la  $R_N$  es la misma que la  $R_{Th}$ .

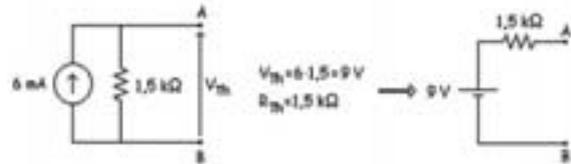


### Paso de circuito Norton a circuito Thévenin

Tenemos este circuito:



Abrimos la carga ( $R_L$ ) y calculamos la  $V_{Th}$ , la  $R_{Th}$  es la misma que la  $R_N$ .



Efectivamente, son métodos que nos facilitan el cálculo.

### Resistencias no lineales

Existen una serie de resistencias que no se comportan de la misma forma que las que hemos estudiado hasta ahora:

Se trata de las resistencias no lineales, de gran utilidad y ampliamente explotadas.

#### 1. LDR

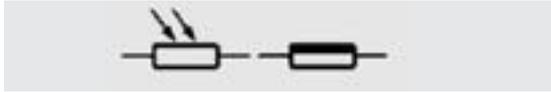
La resistencia de este tipo de componentes varía en función de la luz que recibe en su superficie.

Así, cuando están en oscuridad su resistencia es alta y cuando reciben luz su resistencia disminuye considerablemente.

Los materiales que intervienen en su construcción son sulfuro de cadmio, utilizado como elemento sensible a las radiaciones visibles y sulfuro de plomo se emplean en las LDR que trabajan en el margen de las radiaciones infrarrojas.

Estos materiales se colocan en encapsulados de vidrio o resina.

Su uso más común se encuentra en apertura y cierre de puertas, movimiento y paro de cintas transportadoras, ascensores, contadores, alarmas, control de iluminación...

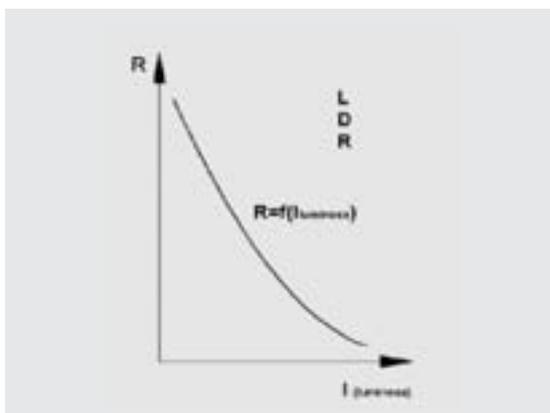


Símbolo de la LDR.



Aspecto físico.

Las características técnicas se estudian teniendo en cuenta la variación de su resistencia en función de la luz que reciben en su superficie en lux.

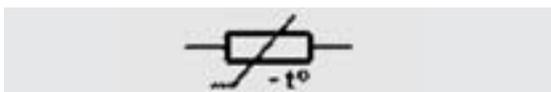


Curva característica de la LDR.

## 2. NTC

Es un componente, al igual que la PTC, que varía su resistencia en función de la temperatura.

Así, cuando reciben una temperatura mayor que la de ambiente disminuye su valor óhmico y cuando es baja o de ambiente aumenta.



Símbolo de la NTC.



Aspecto físico.

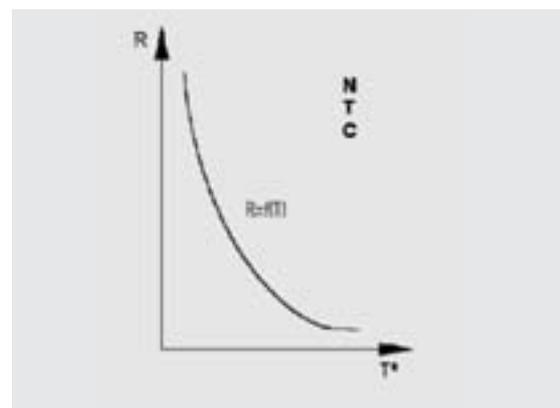
Suelen construirse con óxido de hierro, de cromo, de manganeso, de cobalto o de níquel.

El encapsulado de este tipo de resistencia dependerá de la aplicación que se le vaya a dar.

Por ello nos encontramos NTC de disco, de varilla, moldeado, lenteja, con rosca para chasis...

Los fabricantes identifican los valores de las NTC mediante dos procedimientos: serigrafiado directo en el cuerpo de la resistencia, y mediante bandas de colores, semejante a las resistencias y siguiendo su mismo código, teniendo en cuenta que el primer color es el que está más cercano a las patillas del componente según se observa en la figura.

Su curva característica se realiza entre dos parámetros, la resistencia y la temperatura.



Curva característica de la NTC.

Sus aplicaciones más importantes están: medidas, regulación y alarmas de temperatura, regulación de la temperatura en procesos de elaboración, termostatos, compensación de parámetros de funcionamiento en aparatos electrónicos (radio, TV...).



### 3. PTC

En este componente un aumento de temperatura se corresponde con un aumento de resistencia. Se fabrican con titanato de bario.

Sus aplicaciones más importantes son: en motores para evitar que se quemen sus bobinas, en alarmas, en TV y en automóviles (temperatura del agua).

El concepto de los encapsulados de las PTC se rige por los mismos criterios que una NTC, siendo sus aspectos muy parecidos a los mismos.

Su curva característica se realiza entre dos parámetros, la resistencia y la temperatura.

La identificación de los valores de estos dispositivos se realiza mediante franjas de colores en el cuerpo de los mismos que hacen referencia a un determinado tipo. Para deducir sus características se recurre a los catálogos de los fabricantes.

Los márgenes de utilización de las NTC y PTC están limitados a valores de temperatura que no sobrepasan los 400 ° C.



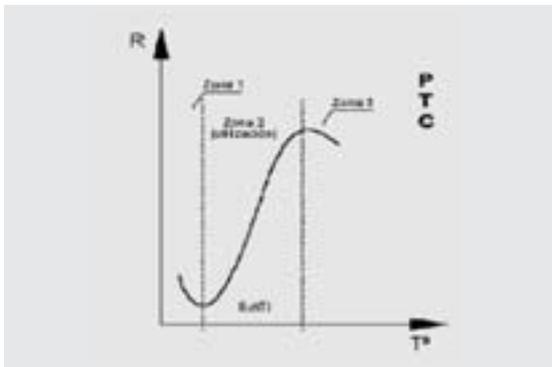
Símbolo de la PTC.



Identificación por banda de colores.



Aspecto físico real de una PTC.



Curva característica de la PTC.

### 4. VDR

La propiedad que caracteriza esta resistencia consiste en que disminuye su valor óhmico cuando aumenta bruscamente la tensión.

De esta forma bajo impulsos de tensión se comporta casi como un cortocircuito y cuando cesa el impulso posee una alta resistividad.

Sus aplicaciones aprovechan esta propiedad y se usan básicamente para proteger contactos móviles de contactores, relés, interruptores..., ya que la sobre intensidad que se produce en los accionamientos disipa su energía en el varistor que se encuentra en paralelo con ellos, evitando así el deterioro de los mismos, además, como protección contra sobre tensiones y estabilización de tensiones, adaptación a aparatos de medida...

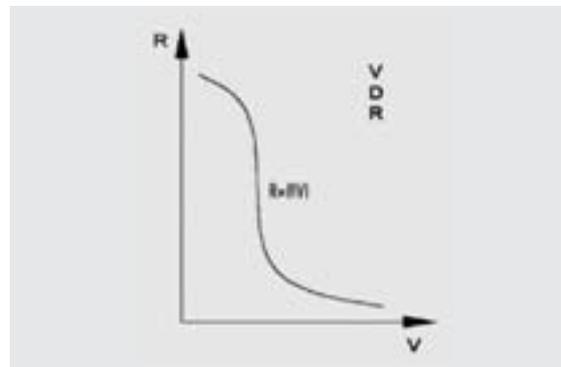


Símbolo de la VDR.

Se utilizan en su construcción carburo de silicio, óxido de zinc, y óxido de titanio.



Aspecto físico real de una VDR.



Curva característica de la VDR.

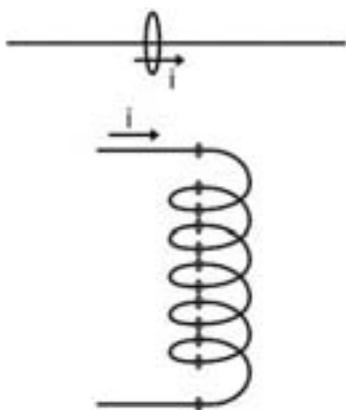
## BOBINAS E INDUCTANCIAS

La inductancia es otro de los tres parámetros familiares de la teoría de circuitos que se definirá en términos más generales.

La resistencia fue definida como la razón de la diferencia de potencial entre dos superficies equipotenciales de un material conductor, y la corriente total a través de una u otra superficie equipotencial.

La resistencia es solamente función de la geometría y la conductividad.

Debido a que el campo magnético alrededor de un conductor es muy débil, para aprovechar la energía de dicho campo magnético se arrolla al alambre conductor y de esta forma se obtiene lo que se conoce como inductancia o bobina.



El flujo magnético  $\phi$  es comparable a la corriente en la ley de Ohm y se trata del número de líneas de fuerza de flujo presente en el circuito magnético.

La unidad es el weber.

Un weber (Wb) es el flujo magnético que, al atravesar un circuito de una sola espira produce en la misma una fuerza electromotriz de 1 voltio si se anula dicho flujo en un segundo por decaimiento uniforme.

La reluctancia (R) equiparable a la resistencia de la ley de Ohm es la oposición ofrecida al flujo por el circuito magnético.

$$R = \frac{L}{\mu s}$$

Donde L es la longitud en centímetros del circuito magnético,  $\mu$  la permeabilidad del material y s la sección en centímetros cuadrados.

La reluctancia de una sustancia magnética varía en proporción directa con la longitud del circuito magnético e inversamente respecto a la sección transversal y a la permeabilidad de la sustancia.

La permeabilidad del material  $\mu$  es la aptitud de una sustancia para albergar las líneas de fuerza, tomando como referencia la aptitud del aire.

La unidad de reluctancia no está expresada oficialmente.

Hay quien la considera como “relío” y otros oersted.

Otra unidad de fuerza que se emplea es el **gilbertio** que es aquella capaz de crear



La ley que gobierna la determinación del flujo magnético en los circuitos magnéticos es análoga a la que rige el paso de la corriente en los circuitos eléctricos. Para caracterizar una resistencia hacen falta tres valores: resistencia eléctrica, disipación máxima y precisión o tolerancia.

una línea de fuerza de un weber en un circuito magnético que tenga la unidad de reluctancia, o sea un relío (o un Oersted).

Y está relacionada con los ampervueltas:

$$F = 1,257 I \cdot N$$

Donde F es la fuerza en gilbertios, I la intensidad en amperios y N el número de espiras arrolladas al núcleo.

Y se relaciona con la inductancia:

$$H = \frac{1,257 \times I \times N}{L}$$

Un **henry** (H) es la inductancia eléctrica de un circuito cerrado en el que se produce una fuerza electromotriz de 1 voltio, cuando la corriente eléctrica que recorre el circuito varía uniformemente a razón de un amperio por segundo.

Finalmente:

Un **tesla** (T) es la inducción magnética (B) uniforme que, repartida normalmente sobre una superficie de 1 metro cuadrado, produce a través de esta superficie un flujo magnético total de 1 weber.

$$B = \frac{\phi}{S}$$

### Cálculos de inductancia

La inductancia aproximada de una bobina de una sola capa bobinada al aire puede ser calculada con la fórmula simplificada:

$$L (\mu H) = 0,394 (d^2 \cdot n^2 / 18d + 40 l)$$

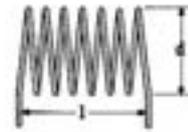
Donde:

**L** = inductancia en microhenrios

**d** = diámetro de la bobina en centímetros

**l** = longitud de la bobina en centímetros

**n** = número de espiras



Esta fórmula es una buena aproximación para bobinas que tengan una longitud igual o mayor que 0,4 d.

### Permeabilidad de bobinas con núcleo de hierro

Supóngase que la bobina de la figura se enrolla en un núcleo de hierro que tenga una sección de 12 centímetros cuadrados.



Cuando se envía una cierta corriente a través de la bobina, se descubre que hay 80.000 líneas de fuerza en el núcleo.

Puesto que el área es de 12 centímetros cuadrados, la densidad de flujo magnético es de 6.666 líneas por centímetro cuadrado.

Ahora supóngase que se retira el núcleo y se mantiene la misma corriente en la bobina. También supóngase que la densidad de flujo sin núcleo es de 10 líneas por centímetro cuadrado.

La relación entre estas dos densidades de flujo, hierro a aire, es 6.666/10 = 666.

Esto se llama permeabilidad del núcleo.

La inductancia de la bobina ha aumentado 666 veces al insertar el núcleo de hierro, ya que la inductancia será proporcional al flujo magnético a través de las bobinas, si los otros parámetros se mantienen igual.

La permeabilidad de un material magnético varía con la densidad de flujo.

Para bajas densidades de flujo (o con núcleo de aire), el aumento de corriente a través de la bobina producirá un aumento proporcional del flujo.

Pero con densidades de flujo muy altas, incrementar la corriente no causará un cambio apreciable en el flujo.

Cuando esto es así, se dice que el hierro está saturado.

La saturación causa un rápido descenso de la permeabilidad puesto que desciende la relación de líneas de flujo con respecto a la misma corriente y núcleo de aire. Obviamente, la inductancia de una bobina con núcleo de hierro es, en gran medida, dependiente de la corriente que fluye en la bobina.

En una bobina con núcleo de aire, la inductancia es independiente de la corriente porque el aire no se satura.

Las bobinas con núcleo de hierro como la mostrada en la figura se usan principalmente en fuentes de alimentación.

### Corrientes de Foucault e histéresis

Cuando circula corriente alterna a través de una bobina arrollada sobre un núcleo de hierro, se inducirá una FEM como se indicó anteriormente.

Y, puesto que el hierro es un conductor, circulará una corriente en el núcleo.

Dichas corrientes se llaman corrientes de Foucault y representan una pérdida de potencia puesto que circulan a través de la resistencia del hierro y, por tanto, producen calentamiento.

Dichas pérdidas pueden reducirse laminando el núcleo (cortándolo en delgadas tiras). Estas tiras o láminas deben aislarse unas de otras pintándolas con algún material aislante como barniz o goma laca.

Hay otro tipo de pérdida de energía en los inductores.

El hierro tiende a oponerse a cualquier cambio en su estado magnético, por tanto una corriente que cambie rápidamente, como lo es la CA, debe suministrar continuamente energía al hierro para vencer esa "inercia".

Las pérdidas de este tipo se llaman pérdidas por histéresis.

Las pérdidas por corrientes de Foucault e histéresis aumentan rápidamente a medida que la frecuencia de la corriente alterna.

Por esta razón los núcleos de hierro normales sólo se pueden usar en las frecuencias de la línea de baja tensión doméstica y en audiofrecuencias (hasta unos 15.000 Hz).

A pesar de todo, se precisa hierro o acero de muy buena calidad si el núcleo debe trabajar eficazmente en las audiofrecuencias más altas.

Los núcleos de hierro de este tipo son totalmente inútiles en radiofrecuencia.

Para radiofrecuencia, las pérdidas en los núcleos de hierro pueden ser reducidas a valores aceptables pulverizando el hierro y mezclando el polvo con un "aglutinante" de material aislante de tal forma que las partículas de hierro estén aisladas unas de otras.

Por este sistema, se pueden construir núcleos que funcionarán satisfactoriamente incluso en el margen de VHF.

Puesto que una gran parte del recorrido magnético se produce a través de material no magnético (el aglutinante), la permeabilidad del hierro es baja comparada con los valores que se obtienen a las frecuencias de las fuentes de alimentación.

El núcleo tiene generalmente la forma de una barra o cilindro que se coloca en el interior de la forma aislante sobre la que está bobinada la bobina.

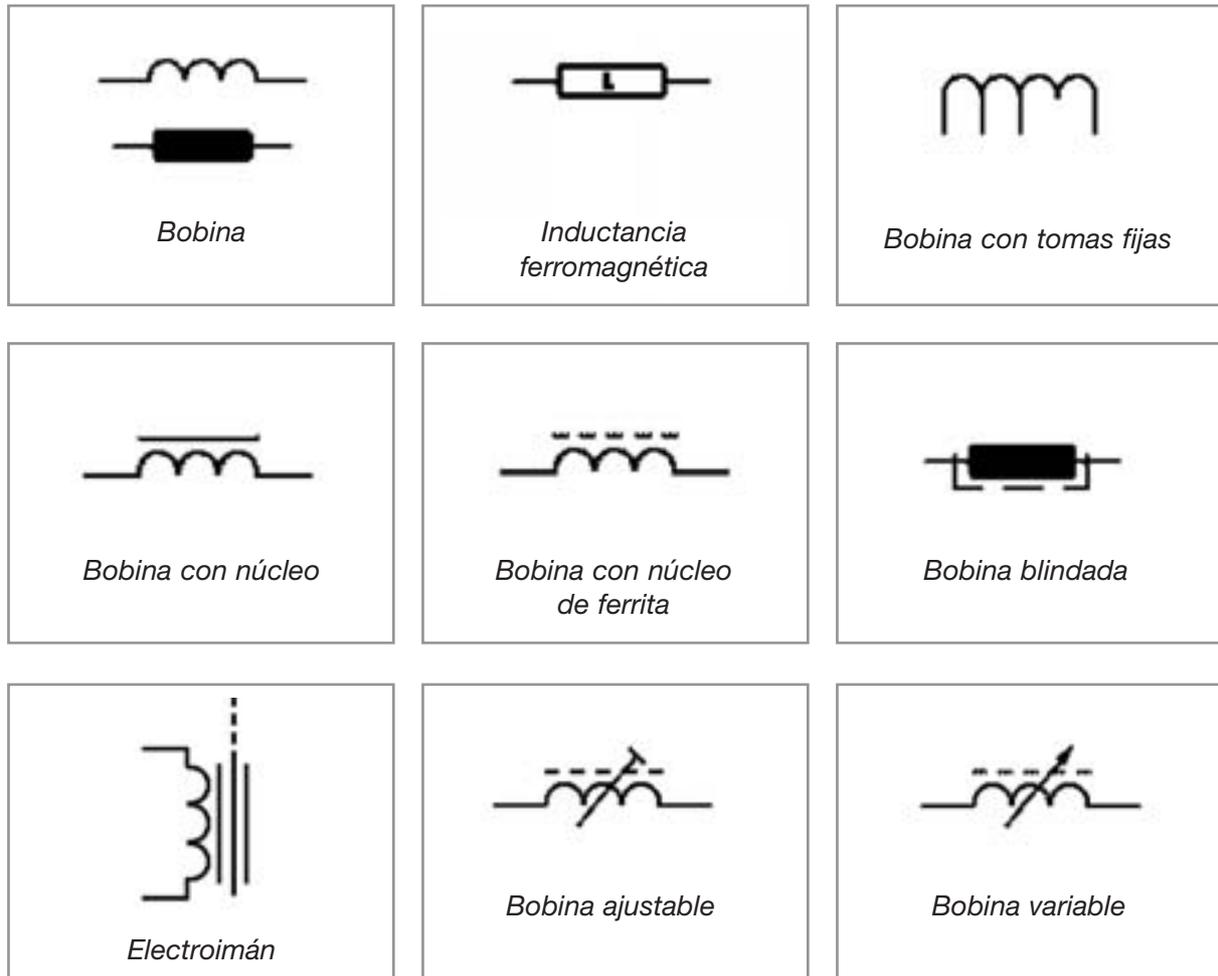
A pesar de que con esta construcción, la mayor parte del recorrido magnético del flujo es por el aire, la barra es bastante eficaz para aumentar la inductancia de la bobina.

Empujando la barra hacia dentro y hacia fuera de la bobina, se puede variar la inductancia sobre un margen considerable.

### Bobinas en Serie y en Paralelo

Por tanto, la inductancia equivalente de  $N$  inductores en serie es simplemente la suma de las inductancias individuales. Además es evidente que una corriente inicial es igual a la que fluye por la conexión en serie. Por lo tanto, la Ley de Ohm rige este circuito.

### Cómo se representan:



## Tipos de bobinas

### 1. Fijas

#### Con núcleo de aire

El conductor se arrolla sobre un soporte hueco y posteriormente se retira este quedando con un aspecto parecido al de un muelle.

Se utiliza en frecuencias elevadas.



Una variante de la bobina anterior se denomina solenoide y difiere en el aisla-

miento de las espiras y la presencia de un soporte que no necesariamente tiene que ser cilíndrico. Se utiliza cuando se precisan muchas espiras.

Estas bobinas pueden tener tomas intermedias, en este caso se pueden considerar como 2 o más bobinas arrolladas sobre un mismo soporte y conectadas en serie. Igualmente se utilizan para frecuencias elevadas.

#### Con núcleo sólido

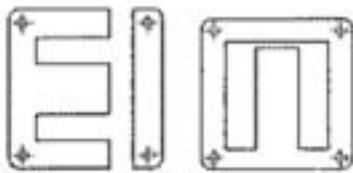
Poseen valores de inductancia más altos que los anteriores debido a su nivel elevado de permeabilidad magnética.

El núcleo suele ser de un material ferromagnético.

Los más usados son la ferrita y el ferrocube.

Cuando se manejan potencias considerables y las frecuencias que se desean eliminar son bajas se utilizan núcleos parecidos a los de los transformadores (en fuentes de alimentación sobre todo).

Así nos encontraremos con las configuraciones propias de estos últimos. Las secciones de los núcleos pueden tener forma de EI, M, UI y L.



*De ferrita*

*Con núcleo toroidal*



*De nido de abeja*



*De ferrita para SMD.*

Las bobinas de nido de abeja se utilizan en los circuitos sintonizadores de aparatos de radio en las gamas de onda media y larga.

Gracias a la forma del bobinado se consiguen altos valores inductivos en un volumen mínimo.

Las bobinas de núcleo toroidal se caracterizan por que el flujo generado no se dispersa hacia el exterior ya que por su forma se crea un flujo magnético cerrado, dotándolas de un gran rendimiento y precisión.

Las bobinas de ferrita arrolladas sobre núcleo de ferrita, normalmente cilíndricos, con aplicaciones en radio es muy interesante desde el punto de vista práctico ya que, permite emplear el conjunto como antena colocándola directamente en el receptor.



Las bobinas grabadas sobre el cobre, en un circuito impreso, tienen la ventaja de su mínimo coste pero son difícilmente ajustables mediante núcleo.

## 2. Variables

También se fabrican bobinas ajustables.

Normalmente la variación de inductancia se produce por desplazamiento del núcleo.

Las bobinas blindadas pueden ser variables o fijas, consisten en encerrar la bobina dentro de una cubierta metálica cilíndrica o cuadrada, cuya misión es limitar el flujo electromagnético creado por la propia bobina y que puede afectar negativamente a los componentes cercanos a la misma.



## CONDENSADORES

¿Quién no ha oído hablar del condensador eléctrico?

Su antecedente es la botella de Leyden que fue descubierta accidentalmente en 1746 por Pieter van Musschenbroek y Ewald Georg von Kleist casi simultáneamente.

Este aparato sirve para almacenar electricidad estática y es el prototipo más antiguo del condensador que actualmente se utiliza en aparatos electrónicos.

Está constituida por un frasco de vidrio delgado (dieléctrico) forrado exteriormente por una hoja metálica de estaño (armadura exterior) a excepción de la parte superior de la botella. El interior está relleno de laminillas de latón (armadura interior), desde donde sale una varilla metálica que atraviesa el tapón de corcho que cierra el recipiente.

Para evitar la comunicación entre las armaduras, el cuello de la botella está barnizado de goma laca.

Para cargarla, se conecta la varilla a la máquina eléctrica\* mientras la armadura exterior se pone en contacto con el suelo a través de una cadena.



Una vez cargada, si se ponen las dos armaduras en contacto, mediante un conductor, se descargará con una chispa y una pequeña explosión.

Si se la deja durante un algún tiempo se podrán obtener nuevas descargas secundarias de menor intensidad que la primera hasta que se descargue por completo.

\* Nos referimos a una parecida a la fotografía que sigue:



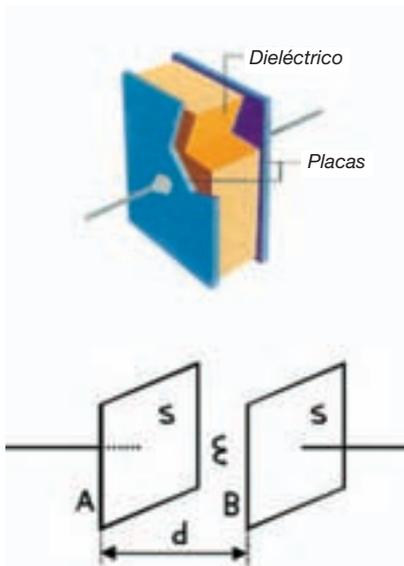
Se trata del generador de Wimshurt y es un dispositivo cuyo funcionamiento se basa en la electrización por frotamiento, contacto e inducción.

Pero ¿Qué es realmente un condensador ¿ y ¿Para qué sirve?



Fig. 1: Diversos tipos de condensadores.

En electricidad y electrónica, un condensador, es un dispositivo formado por dos armaduras, generalmente en forma de placas o láminas separadas por un material dieléctrico (aire, mica, plásticos, cerámica, etc.) que, sometidos a una diferencia de potencial (d.d.p.) adquieren una determinada carga eléctrica.



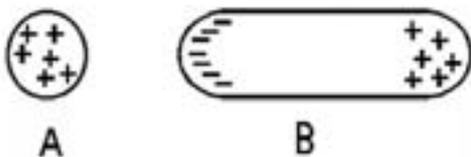
Y aquí conviene hablar de cargas eléctricas:

### Electrostática

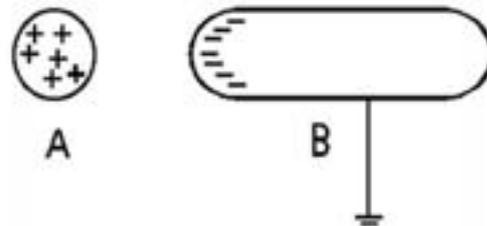
Se sabe que existen en la Naturaleza dos tipos de cargas, **positiva** y **negativa**, y que la cantidad más pequeña de carga es el electrón (misma carga que el protón, pero de signo contrario).

Cargas del mismo signo se repelen, y de signo contrario se atraen.

Debido a ello, un conductor puede cargarse por influencia de otro, como indica la figura:



Aproximando al conductor A, (previamente cargado con carga positiva), el conductor B (descargado, es decir que sus cargas negativas son las mismas que las positivas), las cargas negativas de éste se ven atraídas por el potencial positivo del A, concentrándose éstas en el extremo izquierdo. Esta "fuga" de cargas negativas hacia el lado izquierdo deja el extremo derecho cargado positivamente.



Si el conductor B, en vez de estar aislado, como en la figura 1, estuviera conectado a tierra, como en la figura 2, la carga positiva del extremo derecho se descargaría a tierra (es decir, fluirían electrones de tierra al conductor B, neutralizando su carga positiva, con lo que dicho conductor B quedaría cargado negativamente).

Este es el principio del **condensador**: dos conductores próximos, llamados **armaduras**, separados por un **dieléctrico** (aislante).

La unidad natural de carga eléctrica es el **electrón**, que es: **la menor cantidad de carga eléctrica que puede existir**.

Como esta unidad es extremadamente pequeña para aplicaciones prácticas y para evitar el tener que hablar de cargas del orden de billones o trillones de unidades de carga, se ha definido en el Sistema Internacional de Unidades el culombio:

Un **culombio** es la cantidad de carga que a la distancia de 1 metro ejerce sobre otra cantidad de carga igual, la fuerza de  $9 \times 10^9 \text{ Nw}^*$ .

Volvamos a las singularidades del condensador.

A su propiedad de almacenamiento de carga se le denomina capacidad.

En el Sistema internacional de unidades se mide en **faradios (F)**, siendo 1 faradio la capacidad de un condensador en el que, sometidas sus armaduras a una d.d.p. de 1 voltio, estas adquieren una carga eléctrica de 1 culombio.

Un faradio es una capacidad extremadamente grande y es difícil de encontrar un condensador con ese valor.

Lo más lógico es que nos encontremos, en electrónica, con valores más pequeños, por lo que en la práctica se suele indicar la capacidad en microfaradios:  $\mu F = 10^{-6}$  faradios, nanofaradios:  $F = 10^{-9}$  faradios, o picofaradios:  $F = 10^{-12}$  faradios.

Los supercondensadores (EDLC) son la excepción.

Están hechos de carbón activado para conseguir una gran área relativa y tienen una separación molecular entre las "placas".

Así se consiguen capacidades del orden de cientos o miles de faradios.

Uno de estos condensadores se incorpora en el reloj Kinetic de Seiko —con una capacidad de 1/3 de Faradio—, haciendo innecesaria la pila.

También se está utilizando en los prototipos de automóviles eléctricos.

Seiko cinético es un reloj que **produce energía eléctrica** con el movimiento natural del brazo.

¿Cómo lo hace?

Lleva un volante cuyo movimiento unido a un imán, genera electricidad en una bobina, que la almacena en un condensador minúsculo o una batería recargable.

Un indicador de la reserva de la energía demuestra exactamente cuánta energía se ha creado.

El valor de la capacidad viene definido por la fórmula siguiente:

$$C = \frac{Q}{V}$$

**C:** Capacidad. **Q:** Carga eléctrica.  
**V:** Diferencia de potencial.



**Tensión de trabajo:** Es la máxima tensión que puede aguantar un condensador, que depende del tipo y grosor del dieléctrico con que esté fabricado. Si se supera dicha tensión, el condensador puede perforarse (quedar cortocircuitado) y/o explotar. En este sentido hay que tener cuidado al elegir un condensador, de forma que nunca trabaje a una tensión superior a la máxima.

### Energía almacenada

El condensador almacena energía eléctrica en forma de campo eléctrico cuando aumenta la diferencia de potencial en sus terminales, devolviéndola cuando ésta disminuye.

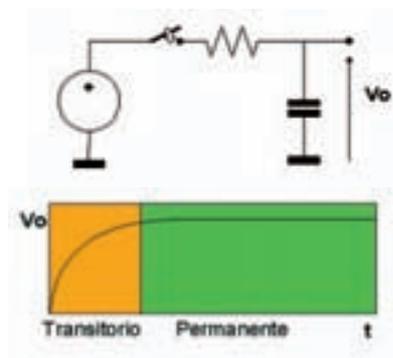
La energía, **E**, almacenada por un condensador con capacidad **C**, que es conectado a una d.d.p. **V**, viene dada por:

$$E = \frac{1}{2} CV^2$$

Este hecho es aprovechado para la fabricación de memorias, en las que se utiliza el condensador que aparece entre la puerta y el canal de los transistores MOS para ahorrar componentes.

Conviene hablar ahora de los dos regímenes de comportamiento de un circuito, el transitorio y el permanente.

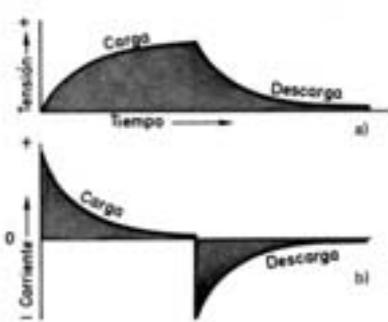
Se llama **régimen transitorio**, o solamente "**transitorio**", a aquella respuesta de un circuito eléctrico que se extingue en el tiempo, en contraposición al régimen permanente, que es la respuesta que permanece constante hasta que se varía bien el circuito o bien la excitación del mismo. Ver figura:





### Comportamiento en corriente continúa

Un condensador real en CC se comporta prácticamente como uno ideal, esto es, como un circuito abierto. Esto es así en régimen permanente ya que en régimen transitorio, esto es, al conectar o desconectar un circuito con condensador, suceden fenómenos eléctricos transitorios que inciden sobre la d.d.p. en sus bornes.



Al igual que la resistencias, los condensadores pueden asociarse en serie (figura A), paralelo (figura B) o de forma mixta. En estos casos, la capacidad equivalente resulta ser para la asociación en **serie**:

$$1/C_{total} = 1/C_1 + 1/C_2 + 1/C_3 + 1/C_4 + \dots + 1/C_n$$

En la asociación en serie la capacidad total es inferior a cualquiera de las que integran la serie.



La explicación:

Al asociarlos de esta forma entre la primera placa y la última se ha intercalado un gran espacio (el integrado por los condensadores intercalados).

### Comportamiento en corriente alterna

En CA, un condensador ideal ofrece una resistencia al paso de la corriente que recibe el nombre de reactancia capacitiva,  $X_C$ , cuyo valor viene dado por la inversa del producto de la pulsación ( $\omega = 2\pi f$ ) por la capacidad,  $C$ :

$$X_c = \frac{1}{\omega C}$$

La pulsación es  $2\pi f$ , donde  $f$  es la frecuencia en Hz y la capacidad en faradios (F) la reactancia resultará en ohmios.

Para la asociación en **paralelo**:

$$C_{total} = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + \dots + C_n$$

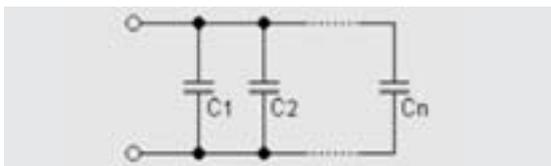
En la asociación en paralelo la capacidad total es superior a cualquiera de las se asocian.

Para la asociación mixta se procederá de forma análoga que con las resistencias.

### Asociación de condensadores



A. Asociación serie general.



B. Asociación paralelo general.



En este caso se crea un condensador de gran superficie (la de todos los integrantes de la asociación) y hemos visto que la capacidad es proporcional a la superficie de las placas.

### Aplicaciones típicas

Los condensadores suelen usarse para:

- Como acumuladores, por su cualidad de almacenar energía.
- Como memorias, por la misma singularidad.

- Para la adaptación de impedancias, haciéndoles resonar a una frecuencia dada con otros componentes.
- Demodular AM, junto con un diodo, en este caso actúa como diodo detector y aquí nos permitimos un esquema de una radio muy sencilla de fabricar:
- Como Filtro, un condensador de gran valor se utiliza para eliminar el "rizado" que se genera en el proceso de conversión de *corriente alterna en corriente continua*, que después veremos.
- Para aislar etapas o áreas de un circuito (se conoce esta facultad como desacople y la inversa es acople):

Para aplicaciones de descarga rápida, como un flash, en donde el condensador se tiene que descargar a gran velocidad para generar la luz necesaria (algo que hace muy fácilmente cuando se le conecta en paralelo un medio de baja resistencia).

Un condensador se comporta (idealmente) como un cortocircuito para la señal alterna y como un circuito abierto para señales de corriente continua, etc.

### Condensadores variables

Un condensador variable es aquel en el cual se pueda cambiar el valor de su capacidad. En el caso de un condensador plano, la capacidad puede expresarse por la siguiente ecuación:

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{d}$$

$\epsilon_0$ : Constante dieléctrica del vacío.

$\epsilon_r$ : Constante dieléctrica o permitividad relativa del material dieléctrico entre las placas.

**A**: El área efectiva de las placas.

**d**: Distancia entre las placas o espesor del dieléctrico.

Para conseguir un condensador variable hay que hacer que por lo menos una de las tres últimas expresiones cambie de valor.

De este modo, se puede tener un condensador en el que una de las placas sea móvil, por lo tanto varía  $d$  y la capacidad dependerá de ese desplazamiento, lo cual podría ser utilizado, por ejemplo, como sensor de desplazamiento.

Otro tipo de condensador variable se presenta en los diodos varicap, que los comentaremos en el capítulo dedicado a los diodos.



Condensadores electrolíticos axiales.



Condensadores electrolíticos de tantalio.



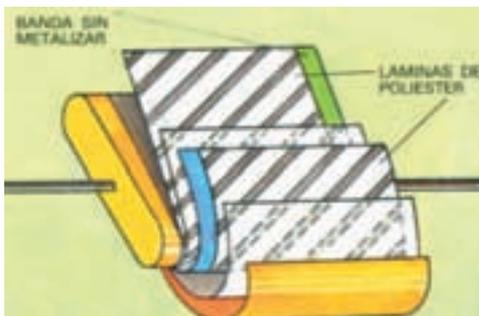
Condensadores de poliéster.



Condensadores cerámicos, "chip" y de "disco".

### Tipos de condensador

- **Condensador de aire.** Se trata de condensadores, normalmente de placas paralelas, con dieléctrico de aire y encapsulados en vidrio. Como la permeabilidad eléctrica es la unidad, sólo permite valores de capacidad muy pequeños. Se utilizaron en radio y radar, pues carecen de pérdidas y polarización en el dieléctrico, funcionando bien a frecuencias elevadas.
- **Condensador de mica.** La mica posee varias propiedades que la hacen adecuada para dieléctrico de condensadores: Bajas pérdidas, exfoliación en láminas finas, soporta altas temperaturas y no se degrada por oxidación o con la humedad. Sobre una cara de la lámina de mica se deposita aluminio, que forma una armadura. Se apilan varias de estas láminas, soldando los extremos alternativamente a cada uno de los terminales. Estos condensadores funcionan bien en altas frecuencias y soportan tensiones elevadas, pero son caros y se ven gradualmente sustituidos por otros tipos.
- **Condensadores de papel.** El dieléctrico es papel parafinado, baquelizado o sometido a algún otro tratamiento que reduce su higroscopía aumenta el aislamiento. Se apilan dos cintas de papel, una de aluminio, otras dos de papel y otra de aluminio y se enrollan en espiral. Las cintas de aluminio constituyen las dos armaduras, que se conectan a sendos terminales. Se suelen utilizar dos cintas de papel para evitar los poros que pueden presentar.
- **Condensadores autoregenerables.** Los condensadores de papel tienen aplicaciones en ambientes industriales. Los condensadores autoregenerables son condensadores de papel, pero la armadura se realiza depositando aluminio sobre el papel. Ante una situación de sobrecarga que supere la rigidez dieléctrica del dieléctrico, el papel se rompe en algún punto, produciéndose un cortocircuito entre las armaduras, pero este corto provoca una alta densidad de corriente por las armaduras en la zona de la rotura. Esta corriente funde la fina capa de aluminio que rodea al cortocircuito, restableciendo el aislamiento entre las armaduras.
- **Condensador electrolítico.** El dieléctrico es una disolución electrolítica que ocupa una cuba electrolítica. Con la tensión adecuada, el electrolito deposita una capa aislante muy fina sobre la cuba, que actúa como una armadura y el electrolito como la otra. Consigue capacidades muy elevadas, pero tienen una polaridad determinada, por lo que no son adecuados para funcionar con corriente alterna. La polarización inversa destruye el óxido, produciendo una corriente en el electrolito que aumenta la temperatura, pudiendo hacer arder o estallar el condensador. Existen de varios tipos:
  - **Condensador de tantalio (tántalos).** Es otro condensador electrolítico, pero emplea tantalio en lugar de aluminio. Consigue corrientes de pérdidas bajas, mucho menores que en los condensadores de aluminio. Suelen tener mejor relación capacidad/volumen, pero arden en caso de que se polaricen inversamente.
  - **Condensador de poliéster.** Está formado por láminas delgadas de poliéster sobre las que se deposita aluminio, que forma las armaduras. Se apilan estas láminas y se conectan por los extremos. Del mismo modo, también se encuentran condensadores de policarbonato y polipropileno.



- **Condensador Styroflex.** Otro tipo de condensadores de plástico, muy utilizado en radio, por responder bien en altas frecuencias y ser uno de los primeros tipos de condensador de plástico. Suelen llegar hasta 1000 pF, con un 5% de tolerancia.
- **Condensador cerámico.** Utiliza cerámicas de varios tipos para formar el dieléctrico. Existen tipos formados por una sola lámina de dieléctrico, pero también los hay formados por láminas apiladas. Dependiendo del tipo, funcionan a distintas frecuencias, llegando hasta las microondas.
- **Condensador variable.** Este tipo de condensador tiene una armadura móvil que gira en torno a un eje, permitiendo que se introduzca más o menos dentro de la otra. El perfil de la armadura suele ser tal que la variación de capacidad es proporcional al logaritmo del ángulo que gira el eje.
- **Condensador de ajuste.** Son tipos especiales de condensadores variables. Las armaduras son semicirculares, pudiendo girar una de ellas en torno al centro, variando así la capacidad. Otro tipo se basa en acercar las armaduras, mediante un tornillo que las aprieta.

### Código de colores de los condensadores

Hemos visto que algunos tipos de condensadores llevan sus datos impresos codificados con unas bandas de color. Esta forma de codificación es muy similar a la empleada en las resistencias, en este caso sabiendo que el valor queda expresado en picofaradios (pF). Las bandas de color son como se observa en esta figura:



En el condensador de la izquierda aparecen los siguientes datos:

Verde-azul-naranja = 56000 pF = 56 nF (recordemos que el "56000" está expresado en pF).

El color negro indica una tolerancia del 20%, tal como veremos en la tabla de abajo y el color rojo indica una tensión máxima de trabajo de 250v.

En el de la derecha vemos:

Amarillo-violeta-rojo = 4700 pF = 4.7 nF. En los de este tipo no suele aparecer información acerca de la tensión ni la tolerancia.

### Código de colores en los condensadores

COLORES	Banda 1	Banda 2	Multiplicador	Tensión
Negro	--	0	x 1	
Marrón	1	1	x 10	100 V.
Rojo	2	2	x 100	250 V.
Naranja	3	3	x 1000	
Amarillo	4	4	x 104	400 V.
Verde	5	5	x 105	
Azul	6	6	x 106	630 V.
Violeta	7	7		
Gris	8	8		
Blanco	9	9		



### Código de colores en los condensadores

COLORES	Tolerancia (C > 10 pF)	Tolerancia (C < 10 pF)
Negro	+/- 20%	+/- 1 pF
Blanco	+/- 10%	+/- 1 pF
Verde	+/- 5%	+/- 0.5 pF
Rojo	+/- 2%	+/- 0.25 pF
Marrón	+/- 1%	+/- 0.1 pF

### Codificación mediante letras

Este es otro sistema de inscripción del valor de los condensadores sobre su cuerpo. En lugar de pintar unas bandas de color se recurre también a la escritura de diferentes códigos mediante letras impresas.

A veces aparece impresa en los condensadores la letra "K" a continuación de las letras; en este caso no se traduce por "kilo", o sea, 1000 sino que significa cerámico si se halla en un condensador de tubo o disco.

Si el componente es un condensador de dieléctrico plástico (en forma de paralelepípedo), "K" significa tolerancia del 10% sobre el valor de la capacidad, en tanto que "M" corresponde a tolerancia del 20% y "J", tolerancia del 5%.



LETRA	Tolerancia
"M"	+/- 20%
"K"	+/- 10%
"J"	+/- 5%

Detrás de estas letras figura la tensión de trabajo y delante de las mismas el valor de la capacidad indicado con cifras. Para expresar este valor se puede recurrir a la colocación de un punto entre las cifras (con valor cero), refiriéndose en este caso a la unidad microfaradio ( $\mu\text{F}$ ) o bien al empleo del prefijo "n" (nanofaradio = 1000 pF).



*Ejemplo: un condensador marcado con 0,047 J 630 tiene un valor de 47000 pF = 47 nF, tolerancia del 5% sobre dicho valor y tensión máxima de trabajo de 630 v. También se podría haber marcado de las siguientes maneras: 4,7n J 630, o 4n7 J 630.*

### Código "101" de los condensadores

Por último, vamos a mencionar el código 101 utilizado en los condensadores cerámicos como alternativa al código de colores. De acuerdo con este sistema se imprimen 3 cifras, dos de ellas son las significativas y la última de ellas indica el número de ceros que se deben añadir a las precedentes. El resultado debe expresarse siempre en picofaradios pF.

Así, 561 significa 560 pF, 564 significa 560000 pF = 560 nF, y en el ejemplo de la figura de la derecha, 403 significa 40000 pF = 40 nF.



VEAMOS ALGUNOS EJEMPLOS DE IDENTIFICACIÓN DE CONDENSADORES.

**Identificación de condensadores.**

	<b>0,047 J 630</b> C=47 nF 5% V=630		<b>403</b> C=40 nF
	<b>0,068 J 250</b> C =68 nF 5% V =250 V. V.		<b>47p</b> C =47 pF
	<b>22J</b> C =22 pF 5%		<b>2200</b> C =2.2 nF
	<b>10K +/-10% 400 V</b> C =10 nF 10% V =400 V		<b>3300/10 400 V</b> C =3.3 nF 10% V =400 V.
	<b>amarillo-violeta-naranja-negro</b> C =47 nF 20%		<b>330K 250V</b> C =0.33 μF V =250 V.
	<b>n47 J</b> C =470 pF 5%		<b>0,1 J 250</b> C =0.1 μF 5% V =250 V.
	<b>verde-azul-naranja-negro-rojo</b> C =56 nF 20% V =250 V.		<b>μ1 250</b> C =0.1 μF V =250 V.
	<b>22K 250 V</b> C=22 nF V=250 V.		<b>n15 K</b> C =150 pF 10%
	<b>azul-gris-rojo y marrón-negro-naranja</b> C1=8.2 nF C2=10 nF		<b>amarillo-violeta-rojo</b> C =4.7 nF
	<b>0.2 μF 50V</b> C =20 nF V =50 V.		<b>amarillo-violeta-marrón rojo-negro-marrón y amarillo-violeta-marrón</b> C1=4.7 nF C2=200 pF C3=470 pF

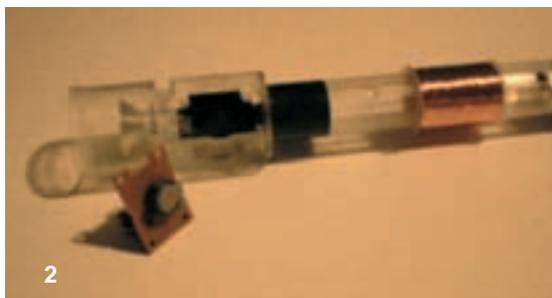
## VAMOS A HABLAR DE LINTERNAS

No por capricho, sino porque nos servirá para fijar todo lo comentado hasta aquí.

Describiremos una, recientemente aparecida en el mercado, y que se vende en casi todas las gasolineras, por lo menos en las situadas en Aragón y Navarra.

Tiene el aspecto que aparece en la fotografía y se carga...¡agitándola!

30 segundos de movimiento alternativo nos proporcionarán varios minutos de una luminosidad curiosa porque no parece muy intensa a la luz del sol, pero no nos engañemos, porque de noche puede verse a un kilómetro.



## ¿Cómo funciona?

En su cuerpo transparente se aprecia una bobina, destacándose el color característico del cobre del bobinado (Fig. 1).

A la izquierda se observa un cilindro un poco más oscuro que es un potente imán, que es el se desplaza al agitarla y, al pasar alternativamente de un lado a otro (lleva unos topes de goma, para que no se dañe) a través de la bobina, genera en esta una tensión alterna, que no sabemos qué aspecto tiene pero imaginamos que puede ser sinusoidal.

Lo más sorprendente es que el dispositivo que se carga es un condensador que tiene un valor de:

**0,33 F**  
**5,5 V**

¡Curioso!

Porque hablamos ahora de faradios.

En la foto 2 se aprecia cómo es.

La fuente de luz es un potente Led.

Cómo sabremos (en las páginas dedicadas a este semiconductor) el diodo Led está polarizado, por lo tanto debe existir un rectificador.

En la foto 3 se aprecia un puente rectificador (que más adelante se describe) para este menester.



## ESTRUCTURA DE LA MATERIA Y EL DIODO SEMICONDUCTOR

Los componentes activos que se estudiarán en los siguientes apartados son el diodo de unión PN, el transistor bipolar, y el transistor MOS, entre otros.

Todos ellos se fabrican con **materiales semiconductores**, por lo que es imprescindible iniciar su estudio con una breve descripción de las principales características de la conducción eléctrica en dichos materiales.

Sabemos que en la naturaleza existen materiales conductores y aislantes, debido a que la estructura de los mismos difiere notablemente de unos a otros, porque no todos los cuerpos permiten el paso de la corriente eléctrica con la misma facilidad.

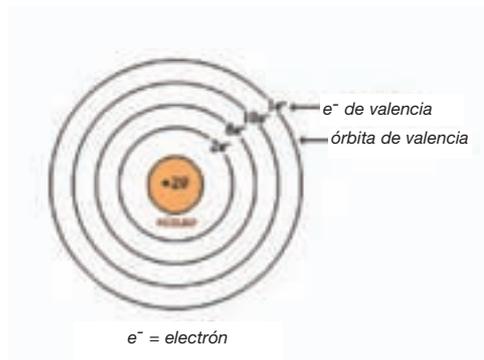
A los que menor oposición presentan se les denomina **materiales conductores**.

Entre ellos, destacan el oro y la plata, pero su elevado precio hace que sólo se empleen en aparatos electrónicos de precisión.

Los materiales comúnmente empleados son el cobre y el aluminio.

Son peores conductores pero muchísimo más económicos.

Un buen conductor tiene una estructura atómica del estilo de la siguiente, perteneciente al cobre:



### ¿Cómo es la materia?

Actualmente sabemos que la materia se encuentra compuesta de átomos.

Estos átomos poseen una determinada estructura, como se puede observar en la imagen.



En el núcleo se encuentran los protones y neutrones.

Los protones poseen carga eléctrica positiva, mientras que los neutrones no tienen carga.

De estos últimos no vamos a hablar, porque no es la intención de este trabajo.

En la corteza se encuentran los electrones, orbitando en torno al núcleo y poseen carga eléctrica igual a la de los protones pero de signo negativo.

Es destacable la capa de valencia que determina las propiedades químicas de un cuerpo.

Los átomos de los distintos elementos se diferencian en el número de las partículas que contienen, y por ello se utiliza para describir su estructura el concepto de:

### Nº Atómico y Nº Másico

El nº atómico es el nº de protones que hay en el núcleo de dicho átomo.

El nº másico es la suma de protones y neutrones que contiene el núcleo del átomo.



Debido a la neutralidad eléctrica del átomo, el nº atómico también nos indicará el nº de electrones que se encuentran en la corteza.

Por último, un átomo puede perder o ganar electrones, transformándose en un ión (especie química con carga eléctrica).

Si el átomo pierde electrones se convierte en un ión positivo: catión.

Si el átomo gana electrones se convierte en un ión negativo: anión.

### Niveles de energía

En un átomo, los electrones están girando alrededor del núcleo formando capas.

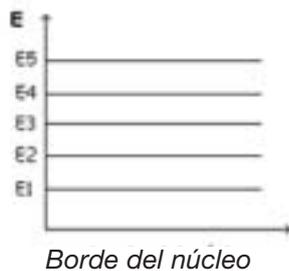
En cada una de ellas, la energía que posee el electrón es distinta.

En efecto, ya que en las capas muy próximas al núcleo la fuerza de atracción entre éste y los electrones es muy fuerte, por lo que estarán fuertemente ligados.

Ocurre lo contrario en las capas alejadas, en las que los electrones se encuentran débilmente ligados, por lo que resultará más fácil realizar intercambios electrónicos en las últimas capas.

El hecho claro, de que los electrones de un átomo tengan diferentes niveles de energía, nos lleva a clasificarlos por el nivel energético (o banda energética) en el que se encuentra cada uno de ellos.

Las energías las representaremos gráficamente de esta manera:



Los niveles que nos interesan a nosotros para entender mejor el comportamiento del átomo son los que demarcan:

La Banda de Valencia y la Banda de Conducción.

a) La **Banda de Valencia** es un nivel de energía en el que se realizan las combinaciones químicas.

Los electrones situados en ella pueden transferirse de un átomo a otro, formando iones que se atraerán debido a su diferente carga, o serán compartidos por varios átomos, formando moléculas.

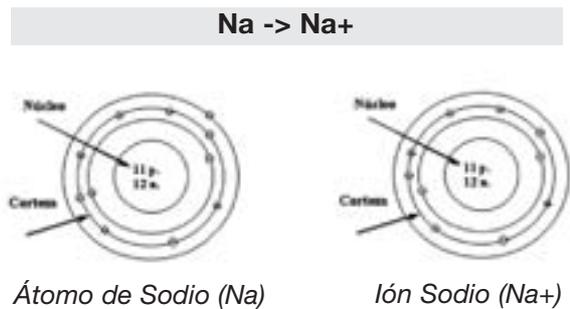
Ponemos un ejemplo de dos elementos químicos muy conocidos por todos:

El átomo de Sodio (Na) tiene 11 electrones, 2 en la primera capa, 8 en la segunda y 1 en la tercera, y el Cloro (Cl) tiene 17 electrones, 2 en la primera, 8 en la segunda y 7 en la tercera.

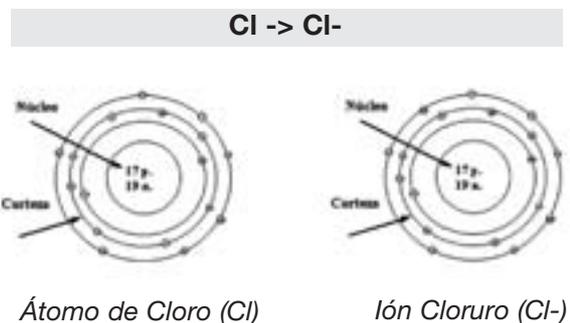
Debido a que todos los átomos tienden a tener 8 electrones en la última capa (regla del octeto):

El Sodio cederá 1 electrón al Cloro con lo que el primero se quedará con 8 electrones en su ahora última capa, en cambio el Cloro aceptará ese electrón pasando su última capa de tener 7 electrones a 8.

Por lo tanto el átomo de Sodio que ha perdido un electrón se ha transformado en un ión positivo:



Y el Cloro que lo ha ganado se transforma en un ión negativo:



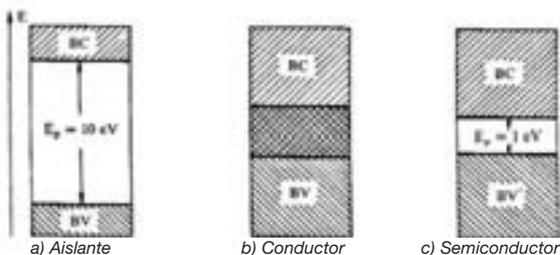
Ambos se atraerán y formarán la molécula de Cloruro Sódico o Sal común (Cl Na).

**b) La Banda de Conducción** es un nivel de energía en el cual los electrones están aún más desligados del núcleo, de tal forma que, en cierto modo, todos los electrones (pertenecientes a esa banda) están compartidos por todos los átomos del sólido, y pueden desplazarse por este formando una nube electrónica.

Cuando un electrón situado en la banda de valencia se le comunica exteriormente energía, bien sea eléctricamente, por temperatura, luz, etc. puede (al ganar energía) saltar a la banda de conducción, quedando en situación de poder desplazarse por el sólido.

### Teoría de las bandas de energía

En un átomo aislado los electrones pueden ocupar determinados niveles energéticos pero cuando los átomos se unen para formar un cristal, las interacciones entre ellos modifican su energía, de tal manera que cada nivel inicial se desdobra en numerosos niveles, que constituyen una banda, existiendo entre ellas espacios, llamados bandas energéticas prohibidas, que sólo pueden salvar los electrones en caso de que se les comunique la energía suficiente. (Ver figura).



En los aislantes la banda inferior, menos energética (banda de valencia) está completa con los e- más internos de los átomos, pero la superior (banda de conducción) está vacía y separada por una banda prohibida muy ancha (~ 10 eV), imposible de atravesar por un e-. En el caso de los

conductores las bandas de conducción y de valencia se encuentran superpuestas, por lo que cualquier aporte de energía es suficiente para producir un desplazamiento de los electrones.

Entre ambos casos se encuentran los semiconductores, cuya estructura de bandas es muy semejante a los aislantes, pero con la diferencia de que la anchura de la banda prohibida es bastante pequeña.

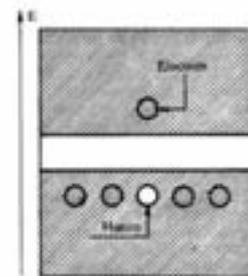
Los semiconductores son, por lo tanto, aislantes en condiciones normales, pero una elevación de temperatura proporciona la suficiente energía a los electrones para que, saltando la banda prohibida, pasen a la de conducción, dejando en la banda de valencia el hueco correspondiente. (Ver figura).

¿Qué es un electrón voltio (eV)?

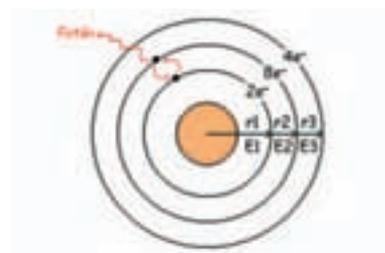
El electrón-voltio (eV) es la energía adquirida por una unidad de carga (electrónica) al ser acelerada a través de un potencial de un voltio y es igual a:

$$1 \text{ eV} = 1.602 \times 10^{-12} \text{ ergios}$$

El electrón-voltio se usa para expresar la energía atómica y nuclear.



En el caso de los diodos Led los electrones consiguen saltar fuera de la estructura en forma de radiación que percibimos como luz (fotones) (ver figura).



1 átomo de Silicio.

## Estructura cristalina de los conductores

Los semiconductores son materiales que ocupan una posición intermedia entre los aislantes y los conductores.

Los primeros poseen muy pocos electrones móviles y, en consecuencia, presentan una resistencia muy alta al paso de la corriente (idealmente una resistencia infinita).

La resistencia eléctrica que presentan los segundos es muy baja (idealmente cero) debido a su riqueza en dichas cargas.

Los semiconductores suelen ser aislantes a cero grados Kelvin, y permiten el paso de corriente a la temperatura ambiente.

Esta capacidad de conducir corriente puede ser controlada mediante la introducción en el material de átomos diferentes al del semiconductor, **denominados impurezas**.

Cuando un semiconductor posee impurezas se dice que **está dopado**.

El material semiconductor más utilizado en la tecnología actual es el silicio (Si).

El germanio también se utiliza para aplicaciones muy concretas como puede ser en los hornos microondas.

También se utilizan para aplicaciones especiales (optoelectrónica, conmutación a muy alta velocidad,...) otros semiconductores, denominados binarios, por estar constituidos por dos cuerpos simples, como el arseniuro de galio (AsGa), y otros, como antimonio de indio y fosforo de indio.

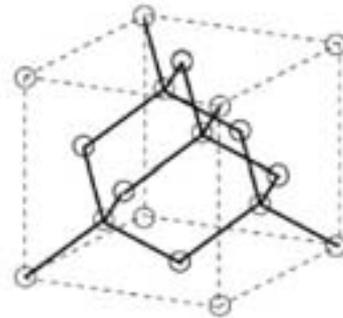
## Teoría y tecnología de dispositivos semiconductores

Debido a la utilización destacada del silicio, lo consideraremos a partir de ahora como el semiconductor de referencia.

Según el grado de ordenación de sus átomos, los sólidos se clasifican en:

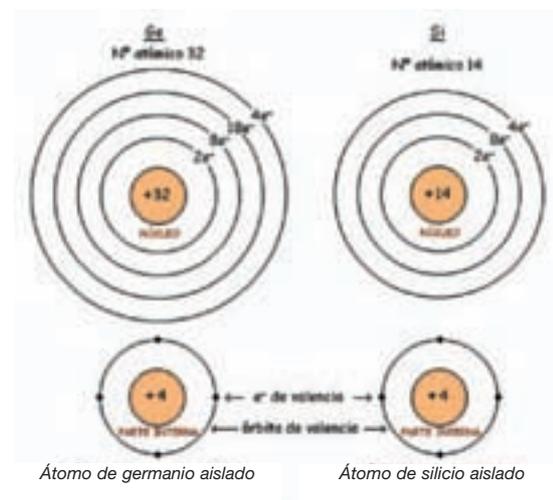
- Amorfos: cuando no hay ninguna ordenación.
- Monocristalinos: si todos sus átomos están perfectamente ordenados.
- Policristalinos: cuando el sólido está formado por una agrupación de monocristales.

Los dispositivos electrónicos que estudiaremos en este capítulo se fabrican normalmente en un semiconductor monocristalino.



## Estructura cristalina del silicio

El átomo de silicio posee catorce electrones:



De éstos, los cuatro más alejados del núcleo son los electrones de valencia que participan en los enlaces con otros átomos y son los que determinan las propiedades químicas de un cuerpo.

El silicio presenta, por tanto, un átomo tetravalente.

El silicio que se utiliza para fabricar dispositivos electrónicos es un monocristal cuya estructura cristalina se denomina cúbica (ver figura).

Cada átomo de silicio está unido a otros cuatro mediante enlaces covalentes.

Un enlace covalente se forma entre dos átomos que comparten dos electrones.

Cada uno de los electrones del enlace es aportado por un átomo diferente.

Tal como se indica en la figura, la célula básica del cristal es un cubo de 5,43 Ångstrom de arista.

Ångstrom: Unidad de medida equivalente a la diez mil millonésima parte del metro, 0.000, 000, 000,1 metros, cuyo símbolo es Å, utilizada principalmente para indicar las longitudes de onda de la luz visible.

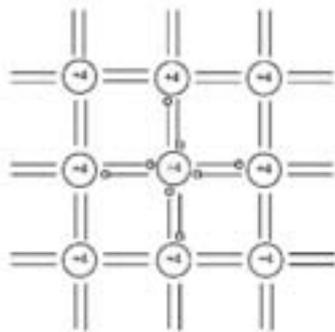
En un centímetro caben 10 millones de ångstrom:

**1 Ångstrom = 1 Å = 10<sup>-10</sup> m**

Resulta muy engorroso trabajar con la representación cristalina tridimensional que se ha descrito.

Por ello suele recurrirse a un esquema bidimensional, denominado modelo de enlaces, en el que se representa la característica esencial de la estructura cristalina: cada átomo está unido a cuatro átomos vecinos mediante enlaces covalentes.

En este modelo cada átomo dedica sus cuatro electrones de valencia a constituir cuatro enlaces covalentes.



*Modelo bidimensional de enlaces para el silicio.*

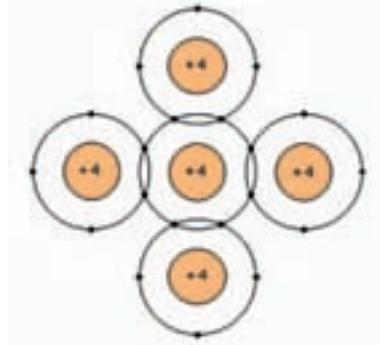
Los círculos grandes representan el núcleo y los electrones internos.

Nótese que la carga total de cada átomo es nula, ya que la carga "+4" es neutralizada por los cuatro electrones de valencia que completan la envoltura electrónica.

El enlace entre dos átomos está constituido por un enlace covalente, formado por dos electrones de valencia que son compartidos por los dos átomos.

Cada electrón del enlace es aportado por uno de los átomos

Otra forma de representar lo comentado es la siguiente:



**Realmente los átomos externos serían así:**

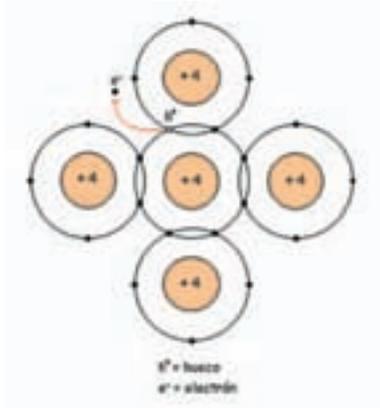
Cada átomo de silicio comparte sus 4 electrones de valencia con los átomos vecinos, de manera que tiene 8 electrones en la órbita de valencia, como se ve en la figura.

La fuerza del enlace covalente es tan grande porque son 8 los electrones que quedan (aunque sean compartidos) con cada átomo, gracias a esta característica los enlaces covalentes son de una gran solidez.

Los 8 electrones de valencia se llaman electrones ligados por estar fuertemente unidos en los átomos.

El aumento de la temperatura hace que los átomos en un cristal de silicio vibren dentro de él, a mayor temperatura mayor será la vibración.

Con lo que un electrón se puede liberar de su órbita, lo que deja un hueco, que a su vez atraerá otro electrón, etc.



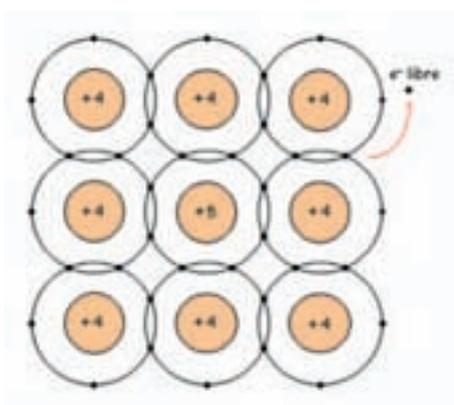
### Dopado de un semiconductor

Para aumentar la conductividad, se suele dopar o añadir átomos de impurezas a un semiconductor intrínseco, por lo que se convierte en un semiconductor extrínseco.

#### a) 1ª posibilidad:

Incorporamos impurezas de valencia 5 (Arsénico, Antimonio, Fósforo).

Obtenemos un cristal de Silicio dopado con átomos de valencia 5.



Los átomos de valencia 5 tienen un electrón de más, así con una temperatura no muy elevada (a temperatura ambiente por ejemplo), el 5º electrón se vuelve electrón libre.



Sólo puede haber 8 electrones en la órbita de valencia por eso, el átomo pentavalente suelta un electrón que estará libre.

Siguen dándose las reacciones anteriores.

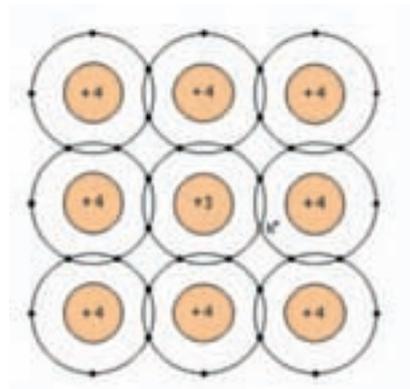
Si introducimos 1000 átomos de impurezas tendremos 1000 electrones más los que se hagan libres por generación térmica (muy pocos).

A estas impurezas se les llama "Impurezas Donadoras". El número de electrones libres se llama  $n$  (electrones libres/m<sup>3</sup>).

#### b) 2ª posibilidad:

Incorporamos impurezas de valencia 3 (Aluminio, Boro, Galio).

Conseguimos un cristal de Silicio dopado con átomos de valencia 3.



Los átomos de valencia 3 tienen un electrón de menos y al faltarnos un electrón se forma un hueco (una ausencia).

Observemos cómo ese átomo trivalente tiene 7 electrones en la órbita de valencia.

Al átomo de valencia 3 se le llama "átomo trivalente" o "Aceptor".

A estas impurezas se les llama "Impurezas Aceptoras".

Hay tantos huecos como impurezas de valencia 3 y sigue habiendo huecos de generación térmica (muy pocos).

El número de huecos se llama  $p$  (huecos/m<sup>3</sup>).



## RESUMEN

### Semiconductores extrínsecos:

Son los semiconductores que están dopados, esto es, que tienen impurezas. Hay dos tipos dependiendo de que tipo de impurezas tengan:

### Semiconductor tipo n

Es el que está impurificado con impurezas "Donadoras", que son impurezas pentavalentes.

Como los electrones superan a los huecos en un semiconductor tipo n, reciben el nombre de "**portadores mayoritarios**", mientras que a los huecos se les denomina "**portadores minoritarios**".

### Semiconductor tipo p:

Es el que está impurificado con impurezas "Aceptoras", que son impurezas tri-valentes.

Como el número de huecos supera el número de electrones libres, los huecos son los portadores mayoritarios y los electrones libres son los minoritarios.



### PROCEDIMIENTO PARA OBTENER SILICIO MONOCRISTALINO

- Se coloca el Si policristalino en el crisol y el horno se calienta hasta fundirlo.
- Se añaden impurezas del tipo necesario para formar un semiconductor tipo N (Fósforo, Arsénico, Antimonio) o P (Boro, Aluminio, Galio) con el dopado deseado.
- Se introduce la semilla en el fundido (muestra pequeña del cristal que se quiere crecer).
- Se levanta lentamente la semilla (se gira la semilla en un sentido y el crisol en el contrario).
- El progresivo enfriamiento en la interface sólido-líquido proporciona un Si monocristalino con la misma orientación cristalina que la semilla pero de mayor diámetro.



## LOS DIODOS

Vamos a estudiar en esta ocasión un dispositivo muy utilizado y a la vez poco conocido. Se trata del diodo semiconductor.

Su antepasado es la válvula de dos electrodos, que como ya dijimos debe su nacimiento a Edison.

No vamos a insistir en ella porque pertenece al pasado.

En este momento podemos dar con ella en un museo.

El diodo es el dispositivo semiconductor más sencillo.

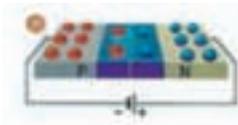


Si unimos un semiconductor tipo "P" con uno tipo "N", obtendremos un "DIODO".

### Polarización directa y polarización inversa de un diodo rectificador



**A. Polarización directa.** El positivo de la batería va al ánodo y el negativo al cátodo. El diodo conduce manteniendo en sus extremos una caída de tensión de 0.7 voltios.



**B. Polarización inversa.** El positivo de la batería va al cátodo y el negativo al ánodo. El diodo no conduce. Toda la tensión cae en él.

Puede existir una pequeña corriente de fuga del orden de microamperios.

Existen los siguientes tipos de Diodos.

### Diodo rectificador

Estos diodos tienen su principal aplicación en la conversión de corriente alterna AC, en corriente continua DC.



*Símbolo*



*Aspecto físico*

A significa Ánodo (+) y la K significa Cátodo (-). En la imagen de su aspecto físico observamos una franja blanca, esta representa al cátodo.

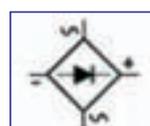
### Puente rectificador

Debido al gran consumo a nivel mundial de diodos que más tarde son empleados en montajes puente, los fabricantes decidieron, en un determinado momento, realizar ellos mismos esta disposición, uniéndolos en fábrica los cuatro diodos y cubriéndolos con un encapsulado común.

Esto dio lugar a la aparición de diversos modelos de puentes de diodos con diferentes intensidades máximas de corriente y, por lo tanto, con disipaciones de potencia más o menos elevadas, en la misma forma que los diodos simples.

En los tipos de mayor disipación, la cápsula del puente es metálica y está preparada para ser montada sobre un radiador.

Se conoce también con el nombre de PUENTE DE GRAETZ.



*Símbolo*



*Aspecto físico*

Observamos en el símbolo dos terminales de entrada de corriente alterna y dos de salida de corriente continua.

Los terminales del puente rectificador pueden cambiar, dependiendo del fabricante. Vemos que pueden tener distintos aspectos, que dependen sobre todo de la potencia que sea necesaria en el circuito al que van destinados.

### Aplicaciones

Se utilizan en fuentes de alimentación conectados a la salida de un transformador para poder obtener en su salida, indicada por las patillas + y -, una corriente continua.

### Diodo de Germanio

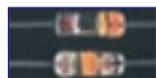
Este tipo de diodo se utiliza para la detección de pequeñas señales, o señales débiles, por lo que trabaja con pequeñas corrientes.

La tensión Umbral, o tensión a partir de la cual el diodo, polarizado directamente, comienza a conducir, suele ser inferior a la del diodo rectificador.

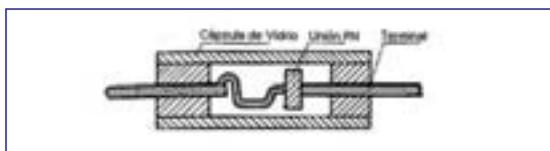
O sea, la tensión umbral es aproximadamente 0,3 voltios.



Símbolo



Aspecto físico



El material semiconductor suele ser el Germanio.

### Aplicaciones

Se emplean, sobre todo en la detección de señales de Radio Frecuencia (RF).

Se utilizan en etapas moduladoras, demoduladoras, mezcla y limitación de señales.

Este diodo tiene aplicaciones en circuitos donde utilizan frecuencias muy altas como VHF, UHF y circuitos de microondas.

### Diodo PIN

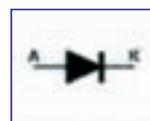
El diodo PIN es un diodo que presenta una región P fuertemente dopada y otra región N también fuertemente dopada, separadas por una región de material que es casi intrínseco.

Este tipo de diodos se utiliza en frecuencias de microondas, es decir, frecuencias que exceden de 1 GHz, puesto que incluso en estas frecuencias el diodo tiene una impedancia muy alta cuando está inversamente polarizado y muy baja cuando está polarizado en sentido directo.

Además, las tensiones de ruptura están comprendidas en el margen de 100 a 1000 V.

En virtud de las características del diodo PIN se le puede utilizar como interruptor o como modulador de amplitud en frecuencias de microondas ya que para todos los propósitos se le puede presentar como un cortocircuito en sentido directo y como un circuito abierto en sentido inverso.

También se le puede utilizar para conmutar corrientes muy intensas y/o tensiones muy grandes.



Símbolo



Aspecto físico

### Diodo Schottky

El diodo Schottky es un tipo de diodo cuya construcción se basa en la unión metal conductor.

Fue desarrollado por la Hewlett-Packard en USA, a principios de la década de los 70.

La conexión se establece entre un metal y un material semiconductor con gran concentración de impurezas, de forma que solo existirá un movimiento de electrones, ya

que son los únicos portadores mayoritarios en ambos materiales.

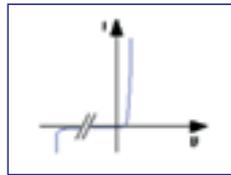
Al igual que el de germanio, y por la misma razón, la tensión de umbral cuando alcanza la conducción es de 0,2 a 0,3V.

Igualmente tienen una respuesta notable a altas frecuencias, encontrando en este campo sus aplicaciones más frecuentes.

Un inconveniente de esto tipo de diodos se refiere a la poca intensidad que es capaz de soportar entre sus extremos.



*Símbolo*



*Curva característica*

### Diodo Túnel

En 1958, el físico japonés Esaki, descubrió que los diodos semiconductores obtenidos con un grado de contaminación del material básico mucho más elevado que lo habitual exhiben una característica tensión-corriente muy particular.

La corriente comienza por aumentar de modo casi proporcional a la tensión aplicada hasta alcanzar un valor máximo, denominado corriente de cresta.

A partir de este punto, si se sigue aumentando la tensión aplicada, la corriente comienza a disminuir y lo sigue haciendo hasta alcanzar un mínimo, llamado corriente de valle, desde el cual de nuevo aumenta.

Pero el nuevo crecimiento de la corriente es al principio lento, y luego se hace cada vez más rápido hasta llegar a destruir el diodo si no se lo limita de alguna manera.

Este comportamiento particular de los diodos muy contaminados se debe a lo que los físicos denominan efecto túnel.

Para las aplicaciones prácticas del diodo túnel, la parte más interesante de su curva característica es la comprendida entre la cresta y el valle.

En esta parte de la curva a un aumento de la tensión aplicada corresponde una disminución de la corriente.

En otros términos, la relación entre un incremento de la tensión y el incremento resultante de la corriente es negativa y se dice entonces que esta parte de la curva representa una "resistencia incremental negativa".

Una resistencia negativa puede compensar total o parcialmente una resistencia positiva. Así, por ejemplo, las pérdidas que se producen en un circuito resonante a causa de la presencia siempre inevitable de cierta resistencia en él se compensa asociando al circuito una resistencia negativa de valor numérico conveniente y realizada, por ejemplo, mediante un diodo túnel.

En tal caso el circuito oscilante se transforma en un oscilador.

Un símil mecánico puede ayudarnos a comprender lo expuesto.

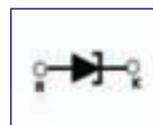
Imaginemos un pulsador que enciende la luz mientras está pulsado y la apaga cuando está suelto.

Al principio se empieza a hacer presión en el pulsador y éste se va desplazando lentamente, sin que se encienda la luz, hasta que llega un momento en que su mecanismo se dispara, y avanza repentinamente sin esfuerzo (zona de resistencia negativa del diodo túnel) y la luz se enciende.

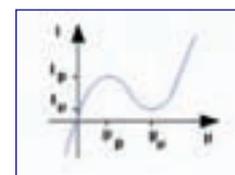
Si soltamos lentamente, al principio la luz sigue encendida hasta que llega un momento en que cambia de estado y se apaga.

La gracia del diodo túnel es que esa conmutación entre los dos estados se produce rapidísimamente y por eso una onda senoidal se convierte en una onda cuadrada muy abrupta.

Un diodo túnel corriente conmuta en 600ps mientras que un túnel rápido lo hace en menos de 20 ps.



*Símbolo*



*Curva característica*



## Diodo Zener

El diodo Zener sirve para regular o estabilizar el voltaje en un circuito.

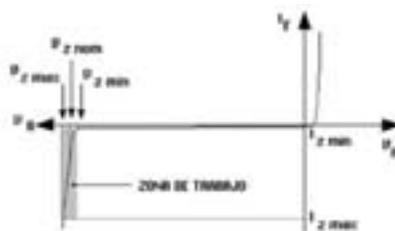
Esto quiere decir que tiene la propiedad de mantener en sus extremos una tensión constante gracias a que aumenta la corriente que circula por el.



**Símbolo**



**Aspecto físico**



**Curva característica de un Diodo Zener**

El funcionamiento de este diodo, a grandes rasgos es la siguiente:

En la zona directa lo podemos considerar como un generador de tensión continua (tensión de codo).

En la *zona de ruptura*, entre la tensión de codo y la tensión Zener ( $V_{z\ nom}$ ) lo podemos considerar un circuito abierto.

Cuando trabaja en la *zona de ruptura* se puede considerar como un generador de tensión de valor  $V_f = -V_z$ .

El Zener se usa principalmente en la estabilidad de tensión trabajando en la *zona de ruptura*.

Podemos distinguir:

1.  $V_{z\ nom}$ : Tensión nominal del Zener (tensión en cuyo entorno trabaja adecuadamente el Zener).
2.  $I_{z\ min}$ : Mínima corriente inversa que tiene que atravesar al diodo a partir de la cual se garantiza el adecuado funcionamiento en la zona de disrupción ( $V_{z\ min}$ ).
3.  $I_{z\ max}$ : Máxima corriente inversa que puede atravesar el diodo a partir de la cual el dispositivo se destruye ( $V_{z\ max}$ ).

4.  $P_z$ : Potencia nominal que no debe sobrepasar el componente.

Aproximadamente se corresponde con el producto de  $V_{z\ nom}$  y  $I_{z\ max}$ .

Cuando usamos un diodo Zener en un circuito se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones (a partir de las hojas de características suministradas por el fabricante):

1. Para un correcto funcionamiento, por el Zener debe circular una corriente inversa mayor o igual a  $I_{z\ min}$ .
2. La corriente máxima en sentido inverso ha de ser siempre menor que  $I_{z\ max}$ .
3. La potencia nominal  $P_z$  que puede disipar el Zener ha de ser mayor (del orden del doble) que la máxima que este va a soportar en el circuito.

En el cuerpo del diodo suele venir indicada la tensión a la que estabiliza, ejemplos:

**5V1**

Diodo Zener que estabiliza a 5,1 voltios.

**6V2**

Diodo Zener que estabiliza a 6,2 voltios.

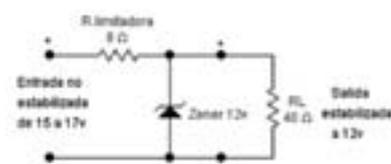
Según el código de identificación europeo será:

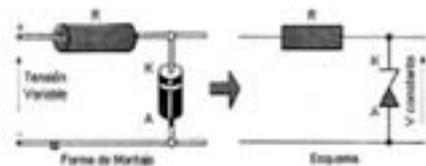
Ejemplo: **B Z Y 79 - C 15**

- BZY79: Indica el tipo de diodo Zener.
- C: Indica la tolerancia, A = 1%, B = 2%, C = 5%, D = 10%, E = 15%
- 15: Indica que el Zener estabiliza a 15 voltios

**Circuito ejemplo:**

El diodo Zener se utiliza en los circuitos, con polarización inversa, es decir positivo en el cátodo y negativo en el ánodo.





### Diodo Varicap

Este dispositivo se fabrica con la finalidad de obtener un condensador electrónico compuesto a base de semiconductores.

Se construyen buscando acentuar al máximo la propiedad que presente la unión P-N de comportarse de una forma análoga a un condensador, cuando se la polariza inversamente.

La capacidad resultante es, además, variable con la tensión aplicada; lo cual permite disponer de una forma muy simple de condensadores variables, controlados por una diferencia de potencial.



Símbolo

Se utiliza con polarización inversa.

Al aplicarle una tensión en sus extremos se almacena una carga eléctrica como en un condensador.

Cuanto mayor sea el voltaje aplicado, menor será la capacidad.

### Aplicaciones

La aplicación mas importante es en los sintonizadores de canales, utilizados tanto en videos, como en los televisores actuales.

Las bandas que se pueden sintonizar son:

- BANDA I o VL. Canales bajos de VHF DE 47 A 68 MHZ
- BANDA III o VHF. Canales altos de VHF DE 174 A 230 MHZ
- BANDA V o UHF. Canales altos DE 470 A 854 MHZ

### Fotodiodo

Es un dispositivo que tiene la propiedad de que estando polarizado directamente, conduce cuando recibe luz.



Símbolo

### Aplicaciones

Se utiliza en televisores, videos, y equipos de música como sensor de los mandos a distancia que utilizan diodos emisores de rayos infrarrojos.

### Diodo Led

Es un diodo que realiza la función contraria al fotodiodo.

Cuando se le aplica tensión, polarizado directamente, emite luz.

Se fabrica con un compuesto formado por Galio, Arsénico y Fósforo.



Símbolo



Aspecto físico

El diodo LED presenta un comportamiento análogo al diodo rectificador (diodo semiconductor p-n), sin embargo, su tensión de codo tiene un valor mayor, normalmente entre 1.2-1.5 V.

Según el material y la tecnología de fabricación estos diodos pueden emitir en el infrarrojo (diodos IRED), rojo, azul, amarillo y verde, dependiendo de cual sea la longitud de onda en torno a la cual emita el LED.

La zona plana, donde comienza una de las patillas, indica el cátodo y además una de las patillas es más larga que la otra.



Inexplicablemente:

Resulta difícil distinguir, por pura inspección visual, el modelo del LED así como el fabricante.

Tampoco se detallan los valores máximos de tensión y corriente que puede soportar.

Por esto, cuando se utilice un diodo LED en un circuito, se recomienda que la intensidad que lo atraviese no supere los 20 mA, precaución de carácter general que resulta muy válida.

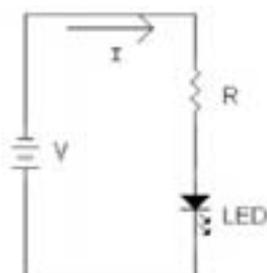
### Aplicaciones

Se emplean, en aparatos electrónicos como indicadores luminosos, por ejemplo: televisores, videos, mandos, etc.

Los diferentes colores dependen del material con que hayan sido fabricados, teniendo cada uno de ellos las siguientes características:

LONGITUD DE ONDA en mm		VOLTAJE en voltios
565	VERDE	2,2 - 3,0
590	AMARILLO	2,2 - 3,0
615	NARANJA	1,8 - 2,7
640	ROJO	1,6 - 2,0
690	ROJO	2,2 - 3,0
880	INFRARROJO	2,0 - 2,5
900	INFRARROJO	1,2 - 1,6
940	INFRARROJO	1,3 - 1,7

A los diodos hay que conectarles una resistencia para limitar la intensidad y evitar su destrucción.



La resistencia de limitación de la figura puede calcularse a partir de la fórmula:

$$R = \frac{V - V_{led}}{I}$$

Si expresamos V en voltios e I en miliamperios el valor de la resistencia vendrá directamente expresado en KΩ.

También hay que tener en cuenta el calor disipado por en la resistencia, se calcula por la Ley de Joule.

### Ejemplo

Supongamos que la tensión de alimentación es de 12 voltios y vamos a utilizar un diodo Led de 1,3 voltios por el que circulará una corriente de 5 mA.

La resistencia limitadora será:

$$R = \frac{12 - 1,3}{5} = 2,14 \text{ K}\Omega$$

Utilizaremos un resistencia normalizada (ver lista normalizada) de valor 2K2, con esta resistencia la intensidad real que circulará es de 4,86 mA. Valor lo más próximo al teórico.

El cálculo de la potencia lo vamos a realizar con la Ley de joule con lo que resultado queda  $P = 0.055 \text{ W}$ , es decir, 55 mW; por tanto, basta con utilizar una resistencia de 1/4 de vatio (250 mW) de 2K2 en serie con el diodo Led.

### ¿Cómo podemos conectar un diodo Led en corriente alterna?

Si queremos conectar un Led a un circuito en alterna tendremos que tener en cuenta que en la corriente alterna existen tensiones positivas y negativas que se van alternado en una duración que será la mitad de la frecuencia, este punto es importante debido a que los diodos tienen una tensión de funcionamiento en polarización directa y otra en la

inversa y no debemos sobrepasarla para no destruir la unión semiconductor.

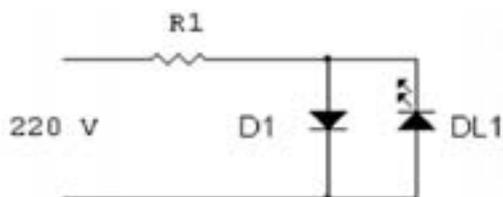
Para ello tenemos dos opciones:

### 1ª Solución

Consiste en colocar un diodo en oposición al Led, de forma que cuando no conduzca el Led conduzca el diodo, y a la inversa, lo que supone una caída de tensión de 0,7 voltios en el diodo, no superando los 3 voltios de ruptura del Led.

Con esto evitamos la destrucción cuando está polarizado inversamente pero tendremos que limitar la tensión y eso lo podremos conseguir con una resistencia en serie que calcularemos con la fórmula que utilizamos en el apartado circuito básico en continua.

La potencia podremos calcularla con la Ley de Joule.



Vamos a realizar un pequeño ejemplo práctico:

Sea un diodo Led con una caída de tensión de 1,2 voltios y una intensidad máxima de 10 mA, que se desea conectar a una tensión alterna de 230 voltios.

$$R = \frac{230 - V_{d1}}{I_{d1}}$$

$$R = \frac{230 - 1,2}{10} \approx 22 \text{ K}\Omega$$

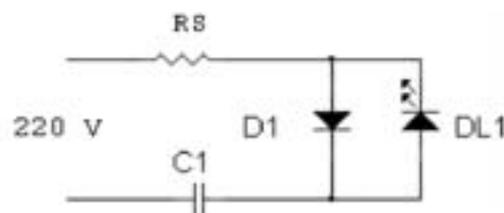
La potencia de

$$P1 = V_{R1} \times I_{I1} = (230 - 1,2) \times 10 \approx 3W$$

Un inconveniente de esta solución es que la resistencia será muy voluminosa al tener una potencia considerable.

### 2ª Solución

Para evitar poner una resistencia de 3W podremos colocar un condensador que se comportará como una resistencia al estar frente a una tensión alterna.



Al igual que en el circuito anterior tendremos que limitar la intensidad del circuito, como ejemplo vamos a utilizar los datos anteriores.

En este caso Rs nos sirve para limitar la intensidad cuando el condensador está descargado ya que se produciría un pico considerable que no soportaría el Led, como valor máximo de pico que puede soportar el Led tenemos:

$$I_{\text{pico}} = 230 / 1 \approx 230 \text{ mA}$$

Por tanto el valor de la resistencia será:

$$RS = \frac{230}{230 \text{ mA}} = 1 \text{ K}\Omega$$

$$VRS = 1K \times 10 \text{ mA} = 10V$$

$$RS = 1K\Omega - 1/4 \text{ W}$$

Para calcular el valor del condensador se tendrá en cuenta que la tensión en el condensador está desfasada 90° con respecto a la tensión en la resistencia y en el diodo así que aplicando el Teorema de Pitágoras tendremos que:

$$V_C = \sqrt{230^2 - (V_R + V_{LED})^2} = \sqrt{230^2 - (11,2)^2} \approx 229,72 \text{ V}$$

Siendo la intensidad del condensador: Ic = 10 mA.



La resistencia capacitiva será:

$$X_c = \frac{229,7 \text{ V}}{10 \text{ mA}} = 22,97 \text{ K}\Omega$$

Tomando un valor normalizado:  
 $X_c = 22 \text{ K}\Omega$

La capacidad del condensador será:

$$C = \frac{1}{2\pi f \times X_c} = \frac{1}{100\pi \times 22 \cdot 10^3} = 150 \text{ nF}$$

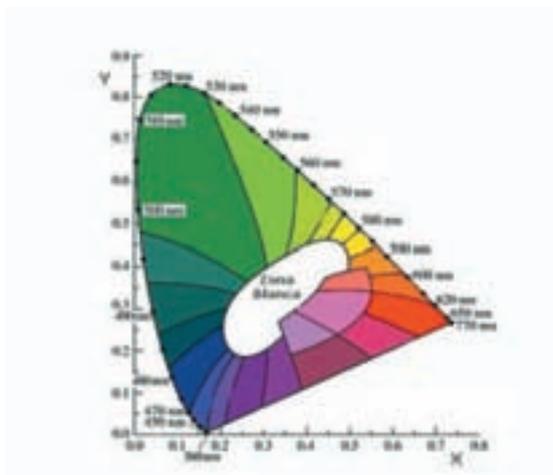
Podemos ver que con esta solución reducimos el valor de la resistencia sustituyéndola por un condensador de 150 nF que tenga una tensión de trabajo de 400V al ser los 230 eficaces.

Como ventaja tenemos que no es tan voluminoso y al haber sustituido la resistencia de 3W no tendremos una disipación de calor tan grande.

¿Se pueden utilizar los diodos para iluminar en serio?

Los diodos de color blanco están revolucionando la iluminación; realmente lo están haciendo también los azules, rojos y azules.

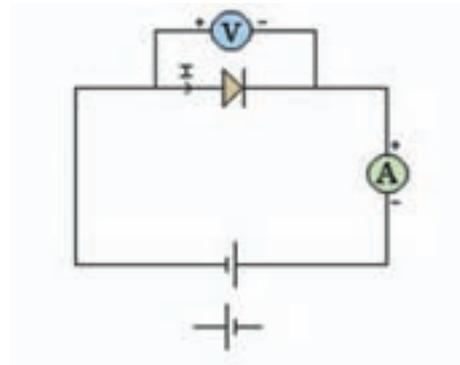
Se están consiguiendo unos niveles de eficacia luminosa muy altos lo que permitirá su utilización a gran escala, por rendimiento, y duración.



### Características técnicas del diodo

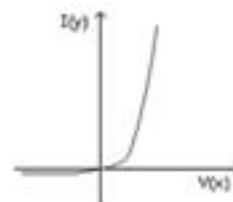
#### Curva característica del diodo

Imaginemos el circuito de la figura:



Si se van dando distintos valores a la pila y se miden las tensiones y corrientes por el diodo, tanto en directa como en inversa (variando la polarización de la pila)...

Obtenemos una tabla que al ponerla de forma gráfica sale algo así:



Pero veamos qué ocurre a la izquierda, en la zona que el diodo aparentemente no conduce...

El funcionamiento de este diodo, a grandes rasgos es la siguiente:

En la zona directa se puede considerar como un generador de tensión continua, tensión de codo (0.5-0.7 V para el silicio y 0.2-0.4 V para el germanio).

Cuando se polariza en inversa se puede considerar como un circuito abierto.

Cuando se alcanza la *tensión inversa de ruptura* (zona inversa) se produce un aumento drástico de la corriente que puede llegar a destruir al dispositivo.

Y la figura anterior se ha completado con todo lo que ocurre.



Curva característica típica de un diodo.

Como todos los componentes electrónicos, los diodos poseen propiedades que les diferencia de los demás semiconductores.

Es necesario conocer estas, pues los libros de características y las necesidades de diseño así lo requieren.

A continuación vamos a ir viendo las características más importantes del diodo, que podemos agrupar de la siguiente forma:

**1. Características estáticas:**

*Parámetros en bloqueo (polarización inversa).*

*Parámetros en conducción.*

*Modelo estático.*

**2. Características dinámicas:**

*Tiempo de recuperación inverso (trr).*

*Influencia del trr en la conmutación.*

*Tiempo de recuperación directo.*

**3. Potencias:**

*Potencia máxima disipable.*

*Potencia media disipada.*

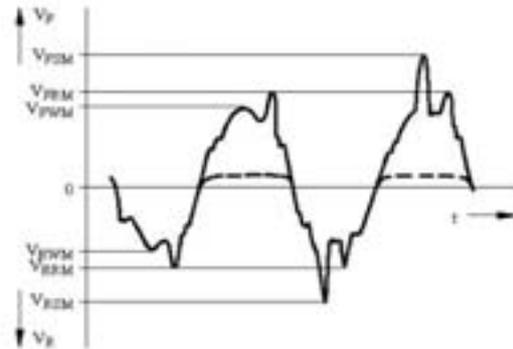
*Potencia inversa de pico repetitivo.*

*Potencia inversa de pico no repetitivo.*

**4. Características térmicas.**

**5. Protección contra sobreintensidades.**

**1. CARACTERÍSTICAS ESTÁTICAS**



**Parámetros en bloqueo**

- Tensión inversa de pico de trabajo (VRWM): es la que puede ser soportada por el dispositivo de forma continuada, sin peligro de entrar en ruptura por avalancha.
- Tensión inversa de pico repetitivo (VRRM): es la que puede ser soportada en picos de 1 ms, repetidos cada 10 ms de forma continuada.
- Tensión inversa de pico no repetitiva (VRSM): es aquella que puede ser soportada una sola vez durante 10ms cada 10 minutos o más.
- Tensión de ruptura (VBR): si se alcanza, aunque sea una sola vez, durante 10 ms el diodo puede destruirse o degradar las características del mismo.
- Tensión inversa continua (VR): es la tensión continua que soporta el diodo en estado de bloqueo.

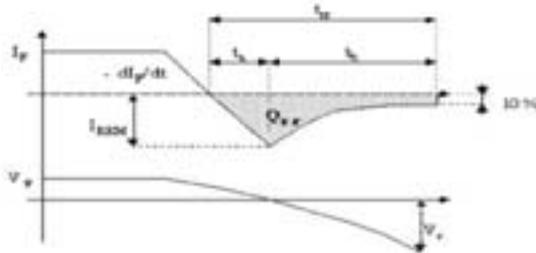
**Parámetros en conducción**

- Intensidad media nominal (AV): es el valor medio de la máxima intensidad de impulsos sinusoidales de 180° que el diodo puede soportar.
- Intensidad de pico repetitivo (IFRM): es aquella que puede ser soportada cada 20 ms, con una duración de pico a 1 ms, a una determinada temperatura de la cápsula (normalmente 25°).
- Intensidad directa de pico no repetitiva (IFSM): es el máximo pico de intensidad aplicable, una vez cada 10 minutos, con una duración de 10 ms.



- Intensidad directa (IF): es la corriente que circula por el diodo cuando se encuentra en el estado de conducción.

**Modelos estáticos del diodo**



Recuperación inversa del diodo.

Los distintos modelos del diodo en su región directa (modelos estáticos) se representan en la figura superior.

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

**2. CARACTERÍSTICAS DINÁMICAS**

**Tiempo de recuperación inverso**

El paso del estado de conducción al de bloqueo en el diodo no se efectúa instantáneamente.

Si un diodo se encuentra conduciendo una intensidad IF, la zona central de la unión P-N está saturada de portadores mayoritarios con tanta mayor densidad de éstos cuanto mayor sea IF.

Si mediante la aplicación de una tensión inversa forzamos la anulación de la corriente con cierta velocidad di/dt, resultará que después del paso por cero de la corriente existe cierta cantidad de portadores que cambian su sentido de movimiento y permiten que el diodo conduzca en sentido contrario durante un instante.

La tensión inversa entre ánodo y cátodo no se establece hasta después del tiempo ta llamado tiempo de almacenamiento, en el que los portadores empiezan a escasear y aparece en la unión la zona de carga espacial.

La intensidad todavía tarda un tiempo tb (llamado tiempo de caída) en pasar de un

valor de pico negativo (IRRM) a un valor despreciable mientras van desapareciendo el exceso de portadores.

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

$$t_{rr} = t_a + t_b$$

- Qrr: se define como la carga eléctrica desplazada, y representa el área negativa de la característica de recuperación inversa del diodo.
- di/dt: es el pico negativo de la intensidad.
- Irr: es el pico negativo de la intensidad.

La relación entre tb/ta es conocida como factor de suavizado "SF".

Si observamos la gráfica podemos considerar Qrr por el área de un triángulo:

$$Q_{rr} = \frac{1}{2} t_{rr} \times I_{RRM}$$

De donde:

$$I_{RRM} = \left[ \frac{dI_F}{dt} \right] \times t_a$$

**Influencia del trr en la conmutación**

Si el tiempo que tarda el diodo en conmutar no es despreciable:

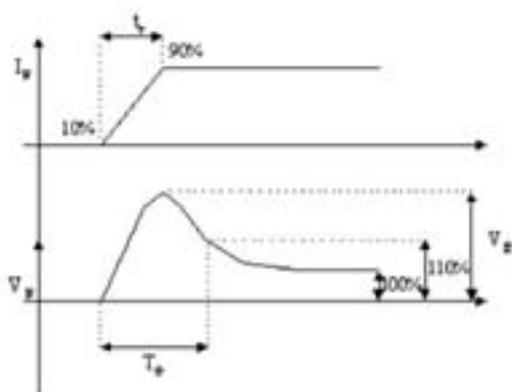
- Se limita la frecuencia de funcionamiento.
- Existe una disipación de potencia durante el tiempo de recuperación inversa.

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

Factores de los que depende  $t_{rr}$ :

- A mayor IRRM menor  $t_{rr}$ .
- Cuanta mayor sea la intensidad principal que atraviesa el diodo mayor será la capacidad almacenada, y por tanto mayor será  $t_{rr}$ .

### Tiempo de recuperación directo



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

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

### 3. DISIPACIÓN DE POTENCIA

#### Potencia máxima disipable: ( $P_{m\acute{a}x}$ )

Es un valor de potencia que el dispositivo puede disipar, pero no debemos confundirlo con la potencia que disipa el diodo durante el funcionamiento, llamada ésta potencia de trabajo.

#### Potencia media disipada: ( $PAV$ )

Es la disipación de potencia resultante cuando el dispositivo se encuentra en estado de conducción, si se desprecia la potencia disipada debida a la corriente de fugas.

Generalmente el fabricante integra en las hojas de características tablas que indican

la potencia disipada por el elemento para una intensidad conocida.

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

#### Potencia inversa de pico repetitiva: ( $PRRM$ )

Es la máxima potencia que puede disipar el dispositivo en estado de bloqueo.

#### Potencia inversa de pico no repetitiva: ( $PRSM$ )

Similar a la anterior, pero dada para un pulso único.

### 4. CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS

#### Temperatura de la unión ( $T_{j\acute{m}\acute{a}x}$ )

Es el límite superior de temperatura que nunca debemos hacer sobrepasar a la unión del dispositivo si queremos evitar su inmediata destrucción.

En ocasiones, en lugar de la temperatura de la unión se nos da la "operating temperature range" (margen de temperatura de funcionamiento), que significa que el dispositivo se ha fabricado para funcionar en un intervalo de temperaturas comprendidas entre dos valores, uno mínimo y otro máximo.

#### Temperatura de almacenamiento ( $T_{stg}$ )

Es la temperatura a la que se encuentra el dispositivo cuando no se le aplica ninguna potencia. El fabricante suele dar un margen de valores para esta temperatura.

#### Resistencia térmica unión-contenedor (caja) ( $R_{jc}$ )

Es la resistencia entre la unión del semiconductor y el encapsulado del dispositivo. En caso de no dar este dato el fabricante se puede calcular mediante la fórmula:

$$R_{jc} = (T_{j\acute{m}\acute{a}x} - T_c) / P_{m\acute{a}x}$$

Siendo  $T_c$  la temperatura del contenedor (caja) y  $P_{m\acute{a}x}$  la potencia máxima disipable.



### **Resistencia térmica contenedor-disipador ( $R_{cd}$ )**

Es la resistencia existente entre el contenedor del dispositivo y el disipador (aleta refrigeradora). Se supone que la propagación se efectúa directamente sin pasar por otro medio (como mica aislante, etc).



## **5. PROTECCIÓN CONTRA SOBREEN-TENSIDADES**

### **Principales causas de sobreintensidades**

La causa principal de sobreintensidad es, naturalmente, la presencia de un cortocircuito en la carga, debido a cualquier causa.

De todos modos, pueden aparecer picos de corriente en el caso de alimentación de motores, carga de condensadores, utilización en régimen de soldadura, etc.

Estas sobrecargas se traducen en una elevación de temperatura enorme en la unión, que es incapaz de evacuar las calorías generadas, pasando de forma casi instantánea al estado de cortocircuito (avalancha térmica).

### **Órganos de protección**

Los dispositivos de protección que aseguran una eficacia elevada o total son poco numerosos y por eso los más empleados actualmente siguen siendo los fusibles, del tipo "ultrarrápidos" en la mayoría de los casos y también se conocen como silized (compañeros de los diazed y neozed).

Los fusibles, como su nombre indica, actúan por la fusión del metal de que están compuestos y tienen sus características indicadas en función de la potencia que pueden manejar; por esto el calibre de un fusible no se da sólo con su valor eficaz de corriente, sino incluso con su  $I^2t$  y su tensión.

### **Parámetro $I^2t$**

La  $I^2t$  de un fusible es la característica de fusión del cartucho; el intervalo de tiempo  $t$  se indica en segundos y la corriente  $I$  en amperios.

Debemos escoger un fusible de valor  $I^2t$  inferior al del diodo, ya que así será el fusible el que se destruya y no el diodo.

Estas características deberán ser tenidas en cuenta en el momento de la elección del modelo más adecuado para cada aplicación, procurando no ajustarse demasiado a los valores límites, ya que ello acortaría excesivamente la duración del componente.

Vamos a analizar las características de un diodo muy utilizado.

Estudiaremos la hoja de características del diodo 1N4001, un diodo rectificador empleado en fuentes de alimentación (circuitos que convierten una tensión alterna en una tensión continua).

### **Características del diodo 1N4001**

En la serie de diodos del 1N4001 al 1N4007 hay siete diodos que tienen las mismas características con polarización directa, pero en polarización inversa sus características son distintas.

Primeramente analizaremos las "Limitaciones máximas" que son éstas:

	Símbolo	1N4001
Tensión inversa repetitiva de pico	$V_{rm}$	50 V
Tensión inversa de pico de funcionamiento	$V_{rwm}$	50 V
Tensión de bloqueo en cc	$V_r$	50 V

Estos tres valores especifican la ruptura en ciertas condiciones de funcionamiento.

Lo importante es saber que la tensión de ruptura para el diodo es de 50 V, independientemente de cómo se use el diodo.

Esta ruptura se produce por la avalancha y en el 1N4001 esta ruptura es normalmente destructiva.

### Corriente máxima con polarización directa:

Un dato interesante es la corriente media con polarización directa, que aparece así en la hoja de características:

	Símbolo	VALOR
Corriente rectificadora media con polarización directa (monofásica, carga resistiva, 60 Hz, $T_a = 75^\circ\text{C}$ )	$I_o$	1 A

Indica que el 1N4001 puede soportar hasta 1 A con polarización directa cuando se le emplea como rectificador.

Esto es, 1 A es el nivel de corriente con polarización directa para el cual el diodo se quema debido a una disipación excesiva de potencia.

Un diseño fiable, con factor de seguridad 1, debe garantizar que la corriente con polarización directa sea menor de 0,5 A en cualquier condición de funcionamiento.

Los estudios de las averías de los dispositivos muestran que la vida de éstos es tanto más corta cuanto más cerca trabajen de las limitaciones máximas.

Por esta razón, algunos diseñadores emplean factores de seguridad hasta de 10:1, para 1N4001 será de 0,1 A o menos.

### Caída de tensión con polarización directa

Otro dato importante es la caída de tensión con polarización directa.

Estos valores están medidos en alterna, y por ello aparece la palabra instantáneo en la especificación.

	Símbolo	Valores típicos	Valores máximos
Caída de tensión máxima instantánea con polarización directa ( $i_f = 1,0 \text{ A}$ , $T_j = 25^\circ\text{C}$ )	$V_F$	0,93 V	1,1 V

El 1N4001 tiene una caída de tensión típica con polarización directa de 0,93 V cuando la corriente es de 1 A y la temperatura de la unión es de  $25^\circ\text{C}$ .

### Corriente inversa máxima

En esta tabla está la corriente con polarización inversa a la tensión continua indicada (50 V para un 1N4001).

	Símbolo	Valores típicos	Valores máximos
Corriente inversa máxima			
$T_j = 25^\circ\text{C}$	$I_R$	0,05 $\mu\text{A}$	10 $\mu\text{A}$
$T_j = 100^\circ\text{C}$	$I_R$	1,0 $\mu\text{A}$	50 $\mu\text{A}$

Esta corriente inversa incluye la corriente producida térmicamente y la corriente de fugas superficial.

De esto deducimos que la temperatura puede ser importante a la hora del diseño, ya que un diseño basado en una corriente inversa de 0,05 mA trabajará muy bien a  $25^\circ\text{C}$  con un 1N4001 típico, pero puede fallar si tiene que funcionar en medios donde la temperatura de la unión alcance los  $100^\circ\text{C}$ .



### RESUMEN DE LO MÁS IMPORTANTE

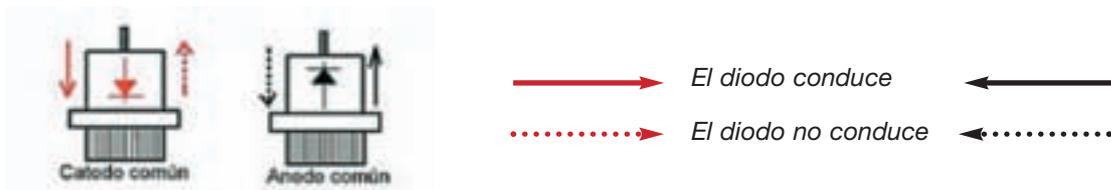
Cuando usamos un diodo en un circuito se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones (a partir de las hojas de características suministradas por el fabricante):

1. La tensión inversa máxima aplicable al componente, repetitiva o no ( $V_{RRR \text{ máx}}$  o  $V_{R \text{ máx}}$ , respectivamente) ha de ser mayor (del orden de tres veces) que la máxima que este va a soportar.
2. La corriente máxima en sentido directo que puede atravesar al componente, repetitiva o no ( $I_{FRM \text{ máx}}$  e  $I_{F \text{ máx}}$  respectivamente), ha de ser mayor (del orden del doble) que la máxima que este va a soportar.
3. La potencia máxima que puede soportar el diodo (potencia nominal) ha de ser mayor (del orden del doble) que la máxima que este va a soportar.



## LOS AUTODIODOS

Al aparecer los alternadores en los vehículos, sustituyendo a las dinamos, fue necesario desarrollar un mecanismo de rectificación.

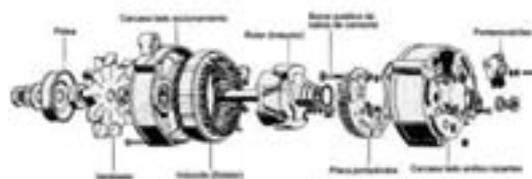


En la mayoría de los alternadores, el equipo rectificador esta formada por una placa soporte, en forma de herradura, en cuyo interior se encuentran montados seis o nueve diodos, unidos y formando un puente rectificador hexadiodo o nanodiodo.

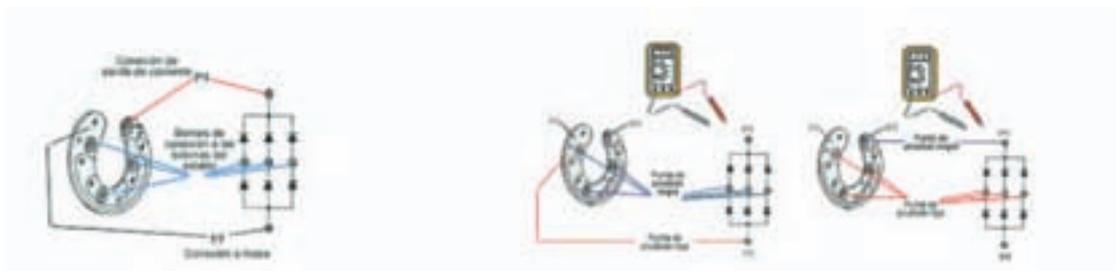
Estos diodos son un tanto singulares, ya que tienen una forma especial para poder embutirlos en esa herradura.

Se suele utilizar un multímetro para verificar la salud de los diodos, debiendo estar el puente rectificador desconectado del estator.

Para la comprobación de los diodos se tiene en cuenta la característica constructiva de los mismos y es que según se polaricen dejan pasar la corriente o no la dejan pasar.



Despiece de un alternador.



Correspondencia de las conexiones del esquema eléctrico con el esquema físico del puente de diodos.

Comprobación del puente rectificador hexadiodo.

## FUENTES DE ALIMENTACIÓN



Por ser una etapa muy importante en cualquier circuito electrónico dedicamos el espacio necesario a este conjunto.

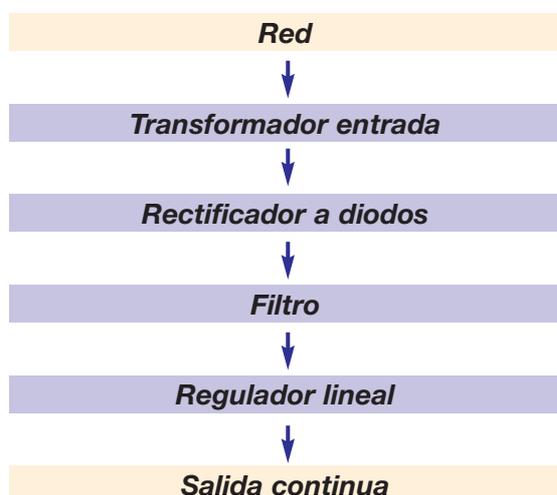
A través de su estudio iremos consolidando las ideas que sobre los componentes que intervienen hemos venido desarrollando.

### Componentes de una fuente de alimentación

La función de una fuente de alimentación es convertir la tensión alterna en una tensión continua y lo más estable posible, para ello se usan los siguientes componentes:

1. Transformador de entrada.
2. Rectificador a diodos.
3. Filtro para el rizado.
4. Regulador (o estabilizador) lineal.

Este último es importante pero no es imprescindible.



### 1. TRANSFORMADOR DE ENTRADA

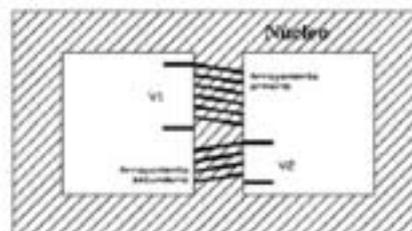
El transformador de entrada reduce la tensión de red (generalmente 230V) a otra tensión más adecuada para ser tratada.

Sólo es capaz de trabajar con corrientes alternas.

Significa que la tensión de entrada será alterna y la de salida también.

Consta de dos arrollamientos sobre un mismo núcleo de hierro, primario y secundario, que son completamente independientes y la energía eléctrica se transmite del primario al secundario en forma de energía magnética a través del núcleo.

El esquema de un transformador simplificado es el siguiente:



La corriente que circula por el bobinado primario (que está conectado a la red) genera una circulación de corriente magnética por el núcleo del transformador.

Esta corriente magnética será más fuerte cuantas más espiras (vueltas) tenga el bobinado primario.

Si se acerca un imán a un transformador en funcionamiento se notará que el imán vibra, debido a que la corriente magnética del núcleo es alterna, igual que la corriente por los arrollamientos del transformador.

En el arrollamiento secundario ocurre el proceso inverso, la corriente magnética que circula por el núcleo genera una tensión



que será tanto mayor cuanto mayor sea el número de espiras del secundario y cuanto mayor sea la corriente magnética que circula por el núcleo (que depende del número de espiras del primario).

Por lo tanto, la tensión de salida depende de la tensión de entrada y del número de espiras de primario y secundario.

Existe un concepto que nos puede ayudar a entender mejor un transformador y que debemos tener siempre presente:

La potencia del primario es igual a la potencia del secundario más...pérdidas. Como el rendimiento suele ser alto podemos igualar, con bastante aproximación ambas potencias.

La fórmula general dice que:

$$V1 = V2 \times (N1/N2)$$

Donde N1 y N2 son el número de espiras del primario y el del secundario respectivamente.

Así por ejemplo podemos tener un transformador con una relación de transformación de 230V a 12V, y no podemos saber cuantas espiras tiene el primario y cuantas el secundario pero si podemos conocer su relación de espiras:

$$N1/N2 = V1/V2$$

$$N1/N2 = 230/12 = 19,16$$

Este dato es útil si queremos saber que tensión nos dará este mismo transformador si lo conectamos a 120V en lugar de 230V, la tensión V2 que dará a 120V será:

$$120 = V2 \times 19,16$$

$$V2 = 120/19,16 = 6,26 \text{ V}$$

Por el primario y el secundario pasan corrientes distintas, la relación de corrientes también depende de la relación de espiras pero al revés, de la siguiente forma:

$$I2 = I1 \times (N1/N2)$$

Donde I1 e I2 son las corrientes de primario y secundario respectivamente.

Esto nos sirve para saber qué corriente tiene que soportar el fusible que pongamos a la entrada del transformador, por ejemplo, supongamos que el transformador anterior es de 0,4 Amperios.

Esta corriente es la corriente máxima del secundario I2, pero nosotros queremos saber que corriente habrá en el primario (I1) para poner allí el fusible.

Entonces aplicamos la fórmula:

$$I2 = I1 \times (N1/N2)$$

$$0,4 = I1 \times 19,16$$

$$I1 = 0,4 / 19,16 = 20,87 \text{ mA}$$

Para asegurarnos de que el fusible no saltará cuando no debe, por ejemplo en el instante de la conexión, se tomará un valor mayor que este, por lo menos un 30% mayor.

## 2. RECTIFICADOR A DIODOS

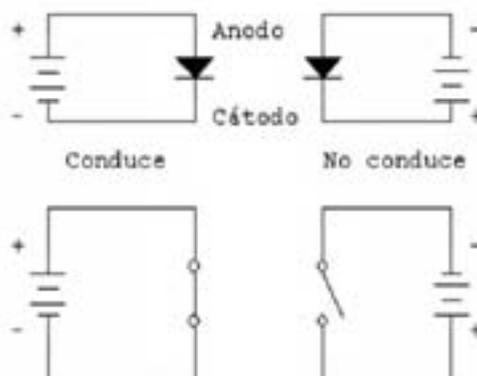
El rectificador es el que se encarga de convertir la tensión alterna que sale del transformador en tensión continua.

Para ello se utilizan diodos.

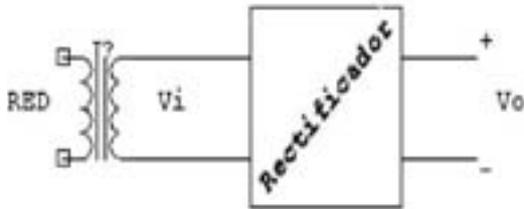
Lo hemos comentado repetidamente en páginas anteriores.

Un diodo conduce cuando la tensión de su ánodo es mayor que la de su cátodo.

Es como un interruptor que se abre y se cierra según la tensión de sus terminales:

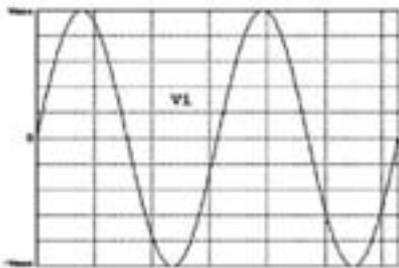


El rectificador se conecta después del transformador, por lo tanto le entra tensión alterna y tendrá que sacar tensión continua, es decir, un polo positivo y otro negativo:



La tensión  $V_i$  es alterna y senoidal, esto quiere decir que a veces es positiva y otras negativa.

En un osciloscopio veríamos esto:



La tensión máxima a la que llega  $V_i$  se le llama tensión de pico y en la gráfica figura como  $V_{max}$ .

La tensión de pico no es lo mismo que la tensión eficaz pero están relacionadas.

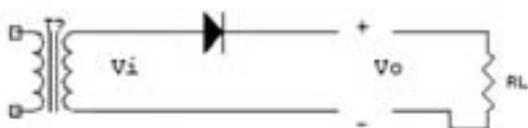
Por ejemplo, si compramos un transformador de 6 voltios son 6 voltios eficaces, estamos hablando de  $V_i$  y la tensión de pico  $V_{max}$  vendrá dada por la ecuación:

$$V_{max} = V_i \times 1,4142$$

$$V_{max} = 6 \times 1,4142 = 8,48 \text{ V}$$

### Rectificador a un diodo

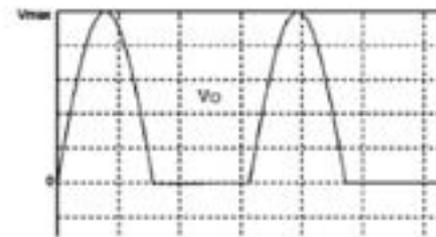
El rectificador más sencillo es el que utiliza solamente un diodo, su esquema es este:



Cuando  $V_i$  sea positiva la tensión del ánodo será mayor que la del cátodo, por lo que el diodo conducirá: en  $V_o$  veremos lo mismo que en  $V_i$

Mientras que cuando  $V_i$  sea negativa la tensión del ánodo será menor que la del cátodo y el diodo no podrá conducir, la tensión  $V_o$  (tensión rectificada) será cero.

Según lo que acabamos de decir la tensión  $V_o$  tendrá esta forma:

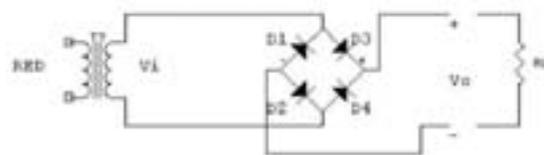


Como se puede comprobar la tensión que obtenemos con este rectificador no se parece mucho a la de una batería, pero una cosa es cierta, hemos conseguido rectificar ("planchar") la tensión de entrada ya que  $V_o$  es siempre positiva.

Aunque posteriormente podamos filtrar esta señal y conseguir mejor calidad este montaje no se suele usar demasiado.

Rectificador puente, conocido como ya hemos leído como puente de Graetz.

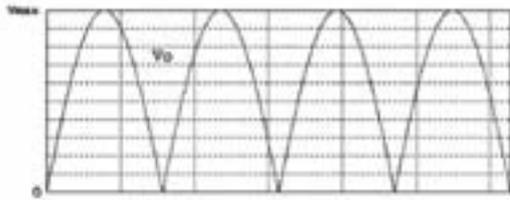
El rectificador más usado es el llamado rectificador puente, su esquema es el siguiente:



Cuando  $V_i$  es positiva los diodos  $D_2$  y  $D_3$  conducen (para entenderlo basta con seguir la dirección de sus flechas y a través de la carga), siendo la salida  $V_o$  igual que la entrada  $V_i$ .

Cuando  $V_i$  es negativa los diodos  $D_1$  y  $D_4$  conducen (seguir la dirección de sus flechas), de tal forma que se invierte la tensión de entrada  $V_i$  haciendo que la salida vuelva a ser positiva.

El resultado es el siguiente:

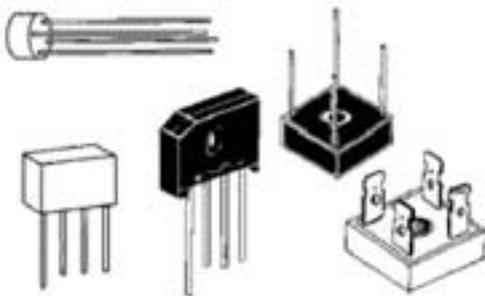


Vemos en la figura que todavía no hemos conseguido una tensión de salida demasiado estable (plana), por ello, será necesario filtrarla después.

Es tan común usar este tipo de rectificadores que se venden ya preparados los cuatro diodos en un solo componente.

Suele ser recomendable usar estos puentes rectificadores, ocupan menos que poner los cuatro diodos y para corrientes grandes vienen ya preparados para ser montados en un radiador.

Este es el aspecto de la mayoría de ellos:



Tienen cuatro terminales, dos para la entrada en alterna del transformador, uno la salida positiva y otro la negativa o masa.

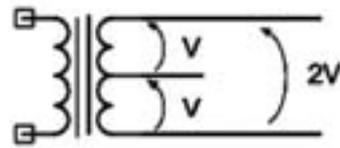
Las marcas en el encapsulado suelen ser:

- ~ Para las entradas en alterna
- + Para la salida positiva
- Para la salida negativa o masa.

### Rectificador a dos diodos

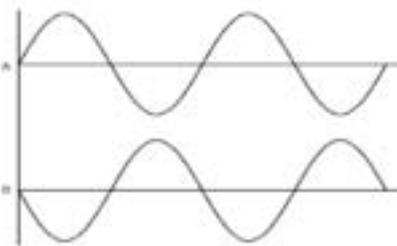
La forma de la onda de salida es idéntica a la del rectificador en puente, sin embargo este rectificador precisa de un transformador con toma media en el secundario.

Un transformador de este tipo tiene una conexión suplementaria en la mitad del arrollamiento secundario:

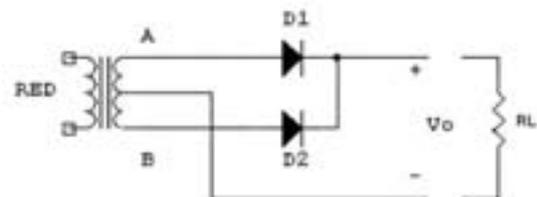


Normalmente se suele tomar como referencia o masa la toma intermedia, de esta forma se obtienen dos señales senoidales en oposición de fase.

Dos señales de este tipo tienen la siguiente forma:



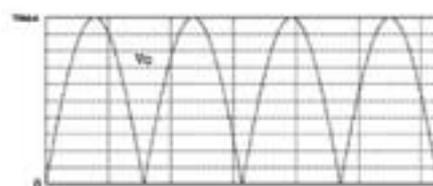
El esquema del rectificador con dos diodos es el siguiente:



Tal y como son las tensiones en A y en B nunca podrán conducir ambos diodos a la vez. Cuando A sea positiva (B negativa) el ánodo de D1 estará a mayor tensión que su cátodo, provocando que D1 conduzca.

Cuando B sea positiva (A negativa) el ánodo de D2 estará a mayor tensión que su cátodo, provocando que D2 conduzca.

Obteniéndose la misma forma de  $V_o$  que con el puente rectificador:



La ventaja de este montaje es que sólo utiliza dos diodos y sólo conduce uno cada vez.

Caída de tensión en los diodos:

Cuando hablábamos de los diodos decíamos que eran como interruptores que se abren y se cierran según la tensión de sus terminales.

Esto no es del todo correcto, cuando un diodo está cerrado tiene una caída de tensión de entre 0,7 voltios y 1 voltio (se trata, como ya vimos, de la tensión umbral) dependiendo de la corriente que este conduciendo esta caída puede ser mayor.

Esto quiere decir que por cada diodo que este conduciendo en un momento determinado se "pierde" un voltio aproximadamente.

En el rectificador de un diodo conduce solamente un diodo a la vez, por lo tanto la tensión de pico  $V_{max}$  de la salida será un voltio inferior a la de la  $V_{max}$  de entrada.

Por ejemplo: Imaginemos que tenemos un transformador de 6 V y queremos saber la tensión de pico que queda cuando utilizamos un rectificador de un diodo.

La tensión de salida de pico  $V_{max}$  será la siguiente:

$$V_{max} = 6 \times 1.4142 - 1 = 7,5 \text{ V}$$

En el rectificador en puente conducen siempre dos diodos a la vez, se dice que conducen dos a dos, por lo tanto la tensión de pico de la salida  $V_{max}$  será dos voltios inferior a la  $V_{max}$  de entrada.

Por ejemplo: supongamos el mismo transformador de 6 voltios y queremos saber la tensión de pico que queda al ponerle un rectificador en puente, la tensión de salida de pico  $V_{max}$  será la siguiente:

$$V_{max} = 6 \times 1.4142 - 2 = 6,5 \text{ V}$$

Quizás extrañe que el rectificador en puente sea el más usado pese a que "pierde" más voltios.

Pero hay que tener en cuenta que la forma de onda del rectificador de un sólo

diodo y el rectificador puente no son iguales y al final acaba rindiendo mucho más el puente de diodos.

### 3. EL FILTRO

La tensión en la carga que se obtiene de un rectificador es en forma de pulsos.

En un ciclo de salida completo, la tensión en la carga aumenta de cero a un valor de pico, para caer después de nuevo a cero.

Esta no es la clase de tensión continua que precisan la mayor parte de circuitos electrónicos.

Lo que se necesita es una tensión constante, similar a la que produce una batería.

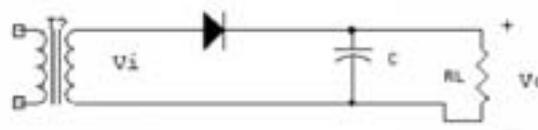
Para obtener este tipo de tensión rectificada en la carga es necesario emplear un filtro.

El tipo más común de filtro es el del condensador a la entrada, en la mayoría de los casos perfectamente válido.

Sin embargo en algunos casos puede no ser suficiente y tendremos que echar mano de algunos componentes adicionales.

#### **Filtro con condensador a la entrada:**

Este es el filtro mas común y seguro que se conoce, basta con añadir un condensador en paralelo con la carga ( $R_L$ ), de esta forma:



Todo lo que digamos en este apartado será aplicable también en el caso de usar el filtro en un rectificador en puente.

Cuando el diodo conduce el condensador se carga a la tensión de pico  $V_{max}$ .

Una vez rebasado el pico positivo el condensador se descarga.

¿Por que? debido a que el condensador tiene una tensión  $V_{max}$  entre sus extremos, como la tensión en el secundario del transformador es un poco menor que  $V_{max}$  el

cátodo del diodo esta a más tensión que el ánodo.

Con el diodo ahora abierto el condensador se descarga a través de la carga.

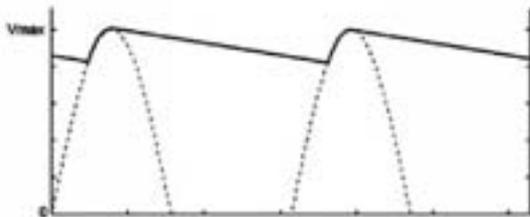
Durante este tiempo que el diodo no conduce el condensador tiene que "mantener el tipo" y hacer que la tensión en la carga no baje de  $V_{max}$ .

Esto es prácticamente imposible ya que al descargarse un condensador se reduce la tensión en sus extremos.

Cuando la tensión de la fuente alcanza de nuevo su pico el diodo conduce brevemente recargando el condensador a la tensión de pico.

En otras palabras, la tensión del condensador es aproximadamente igual a la tensión de pico del secundario del transformador (hay que tener en cuenta la caída en el diodo).

La tensión  $V_o$  quedará de la siguiente forma:



La tensión en la carga es ahora casi una tensión ideal.

Solo nos queda un pequeño rizado originado por la carga y descarga del condensador. Para reducir este rizado podemos optar por construir un rectificador en puente: el condensador se cargaría el doble de veces en el mismo intervalo teniendo así menos tiempo para descargarse, en consecuencia el rizado es menor y la tensión de salida es más cercana a  $V_{max}$ .

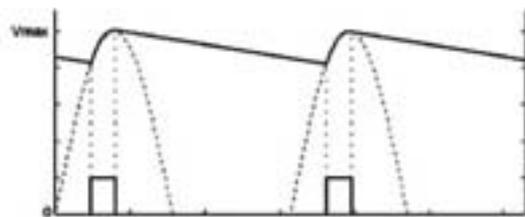
Otra forma de reducir el rizado es poner un condensador mayor, pero siempre tenemos que tener cuidado en no pasarnos ya que un condensador demasiado grande origina problemas de conducción de corriente por el diodo y, por lo tanto, en el secundario del transformador (la corriente que conduce el diodo es la misma que conduce el transformador).

### **Efecto del condensador en la conducción del diodo:**

Como venimos diciendo hasta ahora, el diodo solo conduce cuando el condensador se carga.

Cuando el condensador se carga aumenta la tensión en la salida, y cuando se descarga disminuye, por ello podemos distinguir perfectamente en el gráfico cuando el diodo conduce y cuando no.

En la siguiente figura se ha representado la corriente que circula por el diodo, que es la misma que circula por el transformador:



La corriente por el diodo es a pulsos, aquí mostrados como rectángulos para simplificar. Los pulsos tienen que aportar suficiente carga al condensador para que pueda mantener la corriente de salida constante durante la no conducción del diodo.

Esto quiere decir que el diodo tiene que conducir "de vez" todo lo que no puede conducir durante el resto del ciclo.

Es muy normal, entonces, que tengamos una fuente de 1 amperio y esos pulsos lleguen hasta 10 amperios o más.

Esto no quiere decir que tengamos que poner un diodo de 10 amperios, un 1N4001 aguanta 1 amperio de corriente media y pulsos de hasta 30 amperios.

Si ponemos un condensador mayor reducimos el rizado, pero al hacer esto también reducimos el tiempo de conducción del diodo.

Como la corriente media que pasa por los diodos será la misma (e igual a la corriente de carga) los pulsos de corriente se hacen mayores:

Y esto no solo afecta al diodo, al transformador también, ya que a medida que los pulsos de corriente se hacen más estrechos (y más altos a su vez) la corriente eficaz aumenta.

Si nos pasamos con el condensador podríamos encontrarnos con que tenemos un transformador de 0,5 A y no podemos suministrar más de 0,2 A a la carga (por poner un ejemplo).

### **Valores recomendables para el condensador en un rectificador en puente:**

Si queremos ajustar el valor del condensador al menor posible esta fórmula nos dará el valor del condensador para que el rizado sea de un 10% de  $V_o$  (regla del 10%):

$$C = (5 \times I) / (F \times V_{max})$$

En donde:

- C: Capacidad del condensador del filtro en faradios
- I: Corriente que suministrará la fuente
- F: frecuencia de la red
- $V_{max}$ : tensión de pico de salida del puente (aproximadamente  $V_o$ )

Si se quiere conseguir un rizado del 7% podemos multiplicar el resultado anterior por 1,4, y si queremos un rizado menor resulta más recomendable que se use otro tipo de filtro o que se ponga un estabilizador.

### **Ejemplo práctico:**

Se desea diseñar una fuente de alimentación para un circuito que consume 150 mA a 12V.

El rizado deberá ser inferior al 10%.

Para ello se dispone de un transformador de 10 V y 2,5 VA y de un rectificador en puente.

Elijamos el valor del Condensador:

1. Calculamos la corriente que es capaz de suministrar el transformador para determinar si será suficiente, esta corriente tendrá que ser superior a la corriente que consume el circuito que vamos a alimentar.

$$I_t = 2,5 / 10 = 250 \text{ mA}$$

Parece que sirve y como calcularlo resulta bastante mas complicado nos fiaremos de nuestra intuición.

Tengamos en cuenta siempre que el transformador debe proporcionar más corriente de la que se quiere obtener en la carga.

2. Calculamos la  $V_{max}$  de salida del puente rectificador teniendo en cuenta la caída de tensión en los diodos (conducen dos a dos).

$$V_{max} = 10 \times 1,4142 - 2 = 12,14 \text{ V}$$

Esta será aproximadamente la tensión de salida de la fuente.

3. Calculamos el valor del condensador según la fórmula del 10%, la I es de 150 mA la f es 50 Hz y la  $V_{max}$  es 12,14 V:

$$C = (5 \times 0,15) / (50 \times 12,14) = 0,0012355 \text{ F}$$

$$C = 1235,5 \mu\text{F}$$

Tomaremos el valor mas aproximado por encima.

### **Filtros Pasivos RC y LC:**

Con la regla del 10 por 100 se obtiene una tensión continua en la carga de aproximadamente el 10%.

Antes de los años setenta se conectaban filtros pasivos entre el condensador del filtro y la carga para reducir el rizado a menos del 1%.

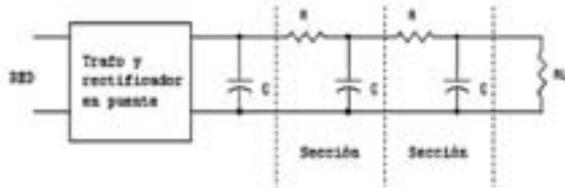
La intención era obtener una tensión continua casi perfecta, similar a la que proporciona una pila.

En la actualidad es muy raro ver filtros pasivos en diseños de circuitos nuevos, es más común usar circuitos estabilizadores de tensión.

Sin embargo estos estabilizadores tienen sus limitaciones y es posible que no quede más remedio que usar un filtro pasivo.

### Filtro RC:

La figura muestra dos filtros RC entre el condensador de entrada y la resistencia de carga.



El rizado aparece en las resistencias en serie en lugar de hacerlo en la carga.

Unos buenos valores para las resistencias y los condensadores serían:

- $R = 6,8 \Omega$
- $C = 1000 \mu\text{F}$

Con estos valores cada sección atenúa el rizado en un factor de 10, se puede poner una, dos, tres secciones.

No creemos que hagan falta más.

La desventaja principal del filtro RC es la pérdida de tensión en cada resistencia.

Esto quiere decir que el filtro RC es adecuado solamente para cargas pequeñas.

Es muy útil cuando se tiene un circuito digital controlando relés, en ocasiones estos relés crean ruidos en la alimentación provocando el mal funcionamiento del circuito digital, con una sección de este filtro para la alimentación digital queda solucionado el problema.

La caída de tensión en cada resistencia viene dada por la ley de Ohm:

$$V = I \times R$$

Donde  $I$  es la corriente de salida de la fuente y  $R$  la resistencia en serie con la carga.

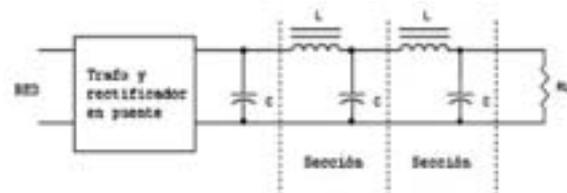
### Filtro LC:

Cuando la corriente por la carga es grande, los filtros LC de la figura presentan una mejora con respecto a los filtros RC.

De nuevo, la idea es hacer que el rizado aparezca en los componentes en serie, las bobinas en este caso.

Además, la caída de tensión continua en las bobinas es mucho menor porque solo intervienen la resistencia de los arrollamientos.

Los condensadores pueden ser de  $1000 \mu\text{F}$  y las bobinas cuanto más grandes mejor. Normalmente estas últimas suelen ocupar casi tanto como el transformador y, de hecho, parecen transformadores, menos mal que con una sola sección ya podemos reducir el rizado hasta niveles bajísimos.

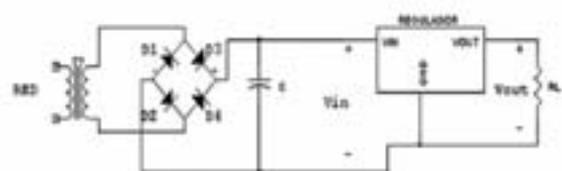


## 4. EL REGULADOR

Un regulador o estabilizador es un circuito que se encarga de reducir el rizado y de proporcionar una tensión de salida de la tensión exacta que queramos.

Sólo nos centraremos en los reguladores integrados de tres terminales que son los más sencillos y baratos que hay y en la mayoría de los casos la mejor opción.

Este es el esquema de una fuente de alimentación regulada con uno de estos reguladores:



Si se ha seguido las explicaciones hasta ahora no costará trabajo distinguir el transformador, el puente rectificador y el filtro con condensador a la entrada.

Suele ser muy normal ajustar el condensador según la regla del 10%.



Es muy corriente encontrarse con reguladores que reducen el rizado en 10000 veces (80 dB), esto significa que si se usa la regla del 10% el rizado de salida será del 0.001%, es decir, inapreciable.

### Las ideas básicas de funcionamiento de un regulador de este tipo son:

- La tensión entre los terminales Vout y GND es de un valor fijo, no variable, que dependerá del modelo de regulador que se utilice.
- La corriente que entra o sale por el terminal GND es prácticamente nula y no se tiene en cuenta para analizar el circuito de forma aproximada.

Funciona simplemente como referencia para el regulador.

- La tensión de entrada Vin deberá ser siempre unos 2 o 3 V superior a la de Vout para asegurarnos el correcto funcionamiento.

### Reguladores de la serie 78XX:



1. Input 2. GND 3. Output.

Este es el aspecto de un regulador de la serie 78XX.

Su característica principal es que la tensión entre los terminales Vout y GND es de XX voltios y una corriente máxima de 1A.

Por ejemplo: el 7805 es de 5V, el 7812 es de 12V... y todos con una corriente máxima de 1 Amperio.

Se suelen usar como reguladores fijos.

Existen reguladores de esta serie para las siguientes tensiones: 5, 6, 8, 9, 10, 12, 15, 18 y 24 voltios.

Se ponen siguiendo las indicaciones de la página anterior y ya esta, obtenemos una Vout de XX Voltios y sin rizado.

Es posible que se tenga que montar el regulador sobre un radiador para que disipe bien el calor, pero de eso ya nos ocuparemos mas adelante.

### Reguladores de la serie 79XX:



1. GND 2. Input 3. Output.

El aspecto es como el anterior, sin embargo este se suele usar en combinación con el 78XX para suministrar tensiones simétricas.

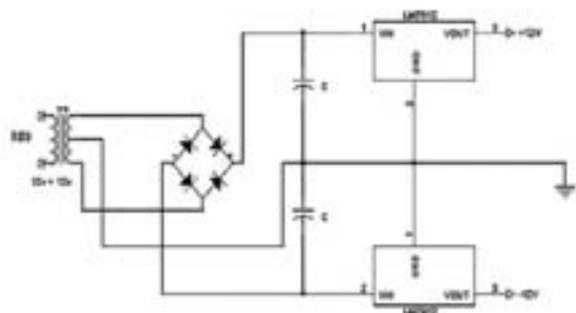
La tensión entre Vout y GND es de - XX voltios, por eso se dice que este es un regulador de tensión negativa.

La forma de llamarlos es la misma: el 7905 es de 5V, el 7912 es de 12V. Pero para tensiones negativas.

Una fuente simétrica es aquella que suministra una tensión de + XX voltios y otra de - XX voltios respecto a masa.

Para ello hay que usar un transformador con doble secundario, mas conocido como "transformador de toma media" o "transformador con doble devanado".

En el siguiente ejemplo se ha empleado un transformador de 12v + 12v para obtener una salida simétrica de  $\pm 12v$ :



El valor de C se puede ajustar mediante la regla del 10%.

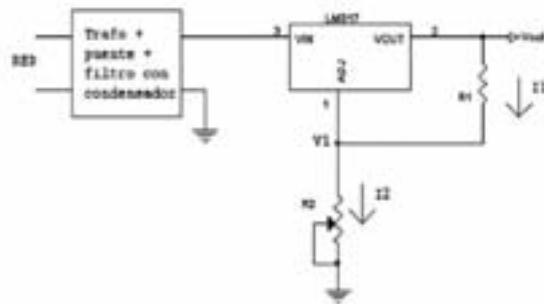
### Regulador ajustable LM317:

Este regulador de tensión proporciona una tensión de salida variable sin más que añadir una resistencia y un potenciómetro.

Se puede usar el mismo esquema para un regulador de la serie 78XX pero el LM317 tiene mejores características eléctricas.

El aspecto es el mismo que los anteriores, pero este soporta 1,5A.

El esquema a seguir es el siguiente:



En este regulador, como es ajustable, al terminal GND se le llama ADJ, es lo mismo.

La tensión entre los terminales Vout y ADJ es de 1,25 voltios, por lo tanto podemos calcular inmediatamente la corriente I1 que pasa por R1:

$$I1 = 1,25 / R1$$

Por otra parte podemos calcular I2 como:

$$I2 = (Vout - 1,25) / R2$$

Como la corriente que entra por el terminal ADJ la consideramos despreciable toda la corriente I1 pasará por el potenciómetro R2.

Es decir:

$$I1 = I2$$

$$1,25 / R1 = (Vout - 1,25) / R2$$

Que despejando Vout queda:

$$Vout = 1,25 \times (1 + R2/R1)$$

Si se consulta la hoja de características del LM317 se verá que la fórmula obtenida no es exactamente esta.

Elo es debido a que tiene en cuenta la corriente del terminal ADJ.

El error cometido con esta aproximación no es muy grande pero si se puede usar la fórmula exacta.

Observando la fórmula obtenida se pueden sacar algunas conclusiones: cuando se ajuste el potenciómetro al valor mínimo ( $R2 = 0 \Omega$ ) la tensión de salida será de 1,25 V.

Cuando se vaya aumentando el valor del potenciómetro la tensión en la salida irá aumentando hasta que llegue al valor máximo del potenciómetro.

Por lo tanto ya sabemos que podemos ajustar la salida desde 1,25 en adelante.

En realidad el fabricante nos avisa que no pasemos de 30V.

Cálculo de R1 y R2:

Los valores de R1 y R2 dependerán de la tensión de salida máxima que queramos obtener.

Como sólo disponemos de una ecuación para calcular las 2 resistencias tendremos que dar un valor a una de ellas y calcular la otra.

Lo más recomendable es dar un valor de 240  $\Omega$  a R1 y despejar de la última ecuación el valor de R2 (el potenciómetro).

La ecuación queda de la siguiente manera:

$$R2 = (Vout - 1,25) \times (R1/1,25)$$

Por ejemplo:

Queremos diseñar una fuente de alimentación variable de 1,25 a 12v.

Ponemos que  $R1 = 240 \Omega$ .

Sólo tenemos que aplicar la última fórmula con  $Vout = 12$  y obtenemos R2:

$$R2 = (12 - 1,25) \times (240 / 1,25) = 2064 \Omega$$

El valor mas próximo es el de 2 K  $\Omega$ , ya tendríamos diseñada la fuente de alimentación con un potenciómetro R2 de 2 K $\Omega$  y una resistencia R1 de 240  $\Omega$ .

En teoría podemos dar cualquier valor a R1 pero son preferibles valores entre 100  $\Omega$  y 330  $\Omega$ .

### Regulador Ajustable de potencia LM350:

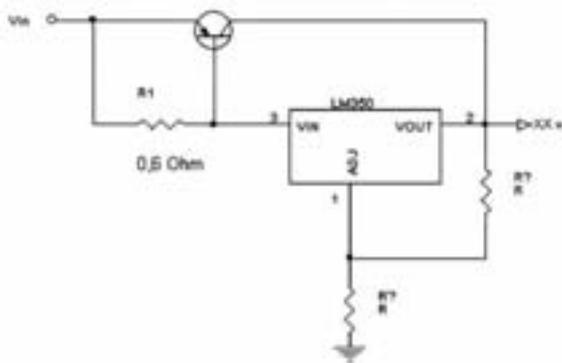


1. Adj 2. Output 3. Input.

El LM317 es muy útil para conseguir tensiones variables, sin embargo no es capaz de suministrar más de 1,5A a la carga.

El LM350 es otro regulador variable que funciona exactamente igual que el LM317, con la diferencia de que este es capaz por si solo de suministrar 3A.

Para conseguir más de 3 A podemos acudir al siguiente esquema que utiliza un transistor de paso para ampliar la corriente:



En este circuito, la resistencia de 0,6  $\Omega$  se usa para detectar la máxima corriente que pasará por el regulador.

Cuando la corriente es menor de 1 A, la tensión en bornas de los 0,6  $\Omega$  es menor que 0,6 V y el transistor está cortado.

En este caso el regulador de tensión trabaja solo.

Cuando la corriente de carga es mayor de 1 A, la tensión en bornas de los 0,6  $\Omega$  es mayor de 0,6 V y el transistor entra en conducción.

Este transistor exterior suministra la corriente de carga extra superior a 1 A.

En definitiva, el regulador solamente conducirá una corriente poco superior a 1 A

mientras que el transistor conducirá el resto, por ello podríamos cambiar tranquilamente en este circuito el LM350 por un LM317.

La resistencia de 0,6  $\Omega$  será de 3 o 4 W dependiendo del transistor empleado.

Si montamos el circuito con un transistor TIP32 podremos obtener 4 A, ya que el TIP32 soporta una corriente máxima de 3A.

Y si lo montamos con un MJ15016 podemos llegar hasta 16A.

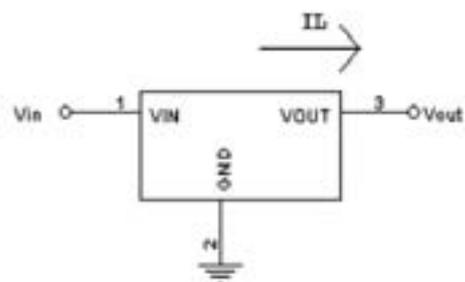
Se puede usar cualquier otro transistor de potencia PNP.

### Disipación de potencia en los reguladores:

Cuando un regulador esta funcionando se calienta.

Esto es debido a que parte de la potencia tomada del rectificador es disipada en el regulador.

La potencia disipada depende de la corriente que se esté entregando a la carga y de la caída de tensión que haya en el regulador.



La figura muestra un regulador funcionando.

La corriente que lo atraviesa es la corriente de la carga  $I_L$ .

Recordemos también que para que un regulador funcione correctamente la tensión de entrada  $V_{in}$  tenía que ser mayor que la tensión de salida  $V_{out}$ .

Por lo tanto la caída de tensión en el regulador  $V_r$  será:

$$V_r = V_{in} - V_{out}$$



Y la potencia disipada vendrá dada por la siguiente ecuación:

$$PD = V_r \times I_L$$

Los reguladores que hemos visto son capaces de disipar una potencia de 2 o 3 W como mucho por si solos.

Si se llega a esta potencia es necesario montarlos sobre unos radiadores adecuados, que serán más grandes cuanto más potencia queramos disipar.

Para evitar que la potencia disipada sea lo menor posible tendremos que procurar que  $V_{in}$  no sea mucho mayor que  $V_{out}$ .

#### Ejemplo 1:

Tenemos una fuente de alimentación variable desde 1,25 V a 15 V y 0,5A con un LM317.

Como la tensión máxima de salida es 15v, la tensión de entrada al regulador tendrá que ser de 18v más o menos.

Vamos a calcular la potencia que disipa el regulador cuando ajustamos la fuente a 15 V, 4 V y 2 V.

En todos los casos la corriente de salida será 0,5A.

A 15 V la caída de tensión en el regulador será de  $18 - 15 = 3V$ , la corriente es 0,5 A luego:

$$PD = 3 \times 0,5 = 1,5 \text{ W}$$

A 4 V la caída de tensión en el regulador será de  $18 - 4 = 14 \text{ V}$ , la corriente es 0,5A luego:

$$PD = 14 \times 0,5 = 7 \text{ W}$$

A 2 V la caída de tensión en el regulador será de  $18 - 2 = 16v$ , la corriente es 0,5A luego:

$$PD = 16 \times 0,5 = 8 \text{ W}$$

Fijémonos que hemos hecho los cálculos para el mejor de los casos en el que nos hemos preocupado de que la tensión de entrada al regulador no sea mas de la necesaria, aun así tenemos que poner un radiador que pueda disipar poco más de 8W.

Es un radiador bastante grande para una fuente de medio amperio nada más.

Este es un problema que surge cuando queremos diseñar una fuente con un alto rango de tensiones de salida.

Verificamos que al hacer el cálculo para una fuente variable hasta 30v y 1A, salen más de 30 W.

#### Ejemplo 2:

Queremos una fuente fija con una salida de 5V y 0.5A, vamos a calcular la potencia que se disipa en el regulador usando un transformador de 7 voltios y otro de 12 voltios.

Para el transformador de 7 voltios: La  $V_{max}$  de salida del transformador será  $7 \times 1,4142 = 9,9 \text{ V}$  descontando la caída en los diodos del puente serán 7,9v a la entrada del regulador.

Como la salida es de 5 V la potencia disipada PD será:

$$PD = (7,9 - 5) \times 0,5 = 1,45 \text{ W}$$

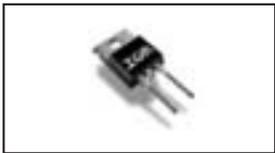
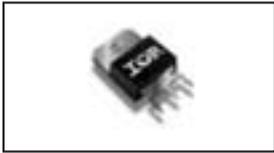
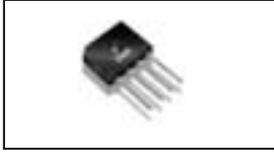
Para el transformador de 12 voltios: La  $V_{max}$  de salida del transformador será  $12 \times 1,4142 = 16,9 \text{ V}$ , descontando la caída en los diodos del puente serán 14,9v a la entrada del regulador.

Como la salida es de 5 V la potencia disipada PD será:

$$PD = (14,9 - 5) \times 0,5 = 4,95 \text{ W}$$

**ASPECTO DE ALGUNOS DIODOS DE PEQUEÑO TAMAÑO.**

En esta tabla no están todos los encapsulados en los que se fabrican los diodos, pero si están los más importantes.

			
<b>DO-5</b>	<b>DO-35</b>	<b>DO-41</b>	<b>TO-220AC</b>
			
<b>TO-3</b>	<b>PWRTAB</b>	<b>PWRTABS</b>	<b>SOT-223</b>
			
<b>SMA</b>	<b>SMB</b>	<b>SMC</b>	<b>D618sl</b>
			
<b>D2pak</b> <b>Puentes</b> <b>rectificadores</b>	<b>Dpak</b>	<b>TO-200AB</b>	<b>TO-200AC</b>
			
<b>B380C1000G(GS)</b>	<b>KBPC(D46)</b>	<b>KBB(D37)</b>	<b>GBL</b>
			
<b>GBU (IR)</b>	<b>GBPC(D34) (IR)</b>	<b>IN LINE 5S2(FAGOR)</b>	<b>POWER-L(FAGOR)</b>
			
<b>DF8(D71)</b>	<b>DF(D70)</b>		

**ASPECTO Y CARACTERÍSTICAS DE DIODOS DE MAYOR TAMAÑO.**

	IFRMS (valor máximo para operaciones continuadas)					
VRSM	3 A			6,7 A		
VRRM	IFAV (SIN 180 - T = 45° C					
V	1,15 A			1,8 A		
	Cmax $\mu$ F	Rmin $\Omega$	Ref.:	Cmax $\mu$ F	Rmin $\Omega$	Ref.:
1200	400	6	SK1/12	1600	2	SK3/12
1600	200	10	SK1/16	-	-	-
V(BR) min	TIPO AVALANCHA					
1700	200	10	SKA1/17	800	4	SKA3/17



	IFRMS (valor máximo para operaciones continuadas)			
VRSM	5 A		10 A	
VRRM	IFAV (SIN 180 - T = 45° C			
V	2,5 A		5 A	
1200	referencia	SK2.5/12	referencia	-
V(BR) min	TIPO AVALANCHA			
1700	referencia	SKNA2/17	referencia	SKNA4/17



	IFRMS (valor máximo para operaciones continuadas) 40 A			
	IFAV (SIN 180 - T case = 100° C) 25 A			
VRSM				
VRRM				
V				
1200	SKN20/12	SKR20/12	SKN26/12	SKR26/12



**ASPECTO Y CARACTERÍSTICAS DE DIODOS DE MAYOR TAMAÑO.**

IFRMS (valor máximo para operaciones continuadas)			
80 A		150 A	
IFAV (SIN 180 - T case = 100° C) 25 A			
50 A (118°C)		95 A (100°C)	
SKN45/12	SKR45/12	SKN70/12	SKR70/12



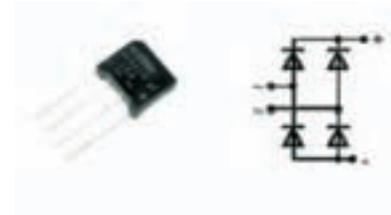
IFRMS (valor máximo para operaciones continuadas)					
200 A		260 A		500 A	
IFAV (SIN 180 - T case =100° C) 25 A					
125 A		165 A		320 A	
SKN100/12	SKR100/12	SKN130/12	SKR130/12	SKN240/12	SKR140/12

VRSM VRRM V	IFRMS (valor máximo para operaciones continuadas)	
	700 A	
	IFAV (SIN 180 - T case =100° C)	
	420 A (118° C)	
800	SKN320/08	-



**ASPECTO Y CARACTERÍSTICAS DE DIODOS DE MAYOR TAMAÑO.**

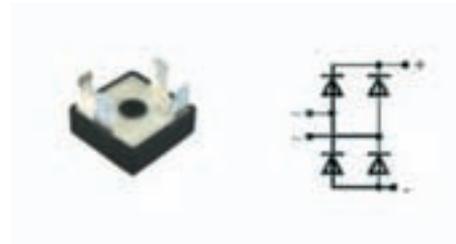
VRSM	VRSM	ID (Tamb=45°C) 2,5 A		
VRRM	V	Cmax μF	Rmin Ω	REFERENCIA
V	V			
1200	500	500	6	SKB2/12



VRSM	VRSM	ID (Tamb=45°C) 5 A	ID (Tamb=117°C) 15 A		
VRRM	V	Cmax μF	REFERENCIA	Rmin Ω	REFERENCIA
V	V				
400	125	0,5	SKBB70/70A	-	-
1200	380	2	SKBB50/445	0,75	SKB15/12



VRSM	ID (Tcase=...) 17 A
VRRM	ID (Tamb=45°C - 5,3 A)
V	
1200	SKB25/12
1600	SKB25/16



VRSM	ID (Tamb=45°C) 5 A					
VRRM	Rmin Ω	REFERENCIA	Rmin Ω	REFERENCIA	Rmin Ω	REFERENCIA
V						
1200	0,75	SKB30/12	0,60	SKB50/12		SKB60/12
1600	1	SKB30/16				





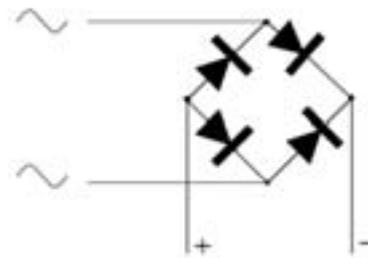
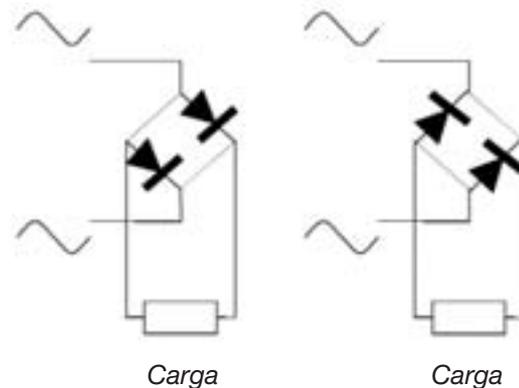
Del análisis de las tablas anteriores se desprenden varias consecuencias de las que aún no habíamos hablado:

1. Nos percatamos de que existen diodos de gran tamaño y que llevan una rosca, normalmente para fijarlos a un radiador como el de la figura.



2. Para el montaje de estos diodos en un puente, monofásico o trifásico, es necesario disponer de diodos directos 2/3 (según sea el puente monofásico o trifásico) y de diodos inversos 2/3 (puente monofásico o trifásico).
3. Un diodo directo será, por ejemplo, el que tenga el ánodo en la rosca.
4. Un diodo inverso tendrá el cátodo en la rosca.
5. Otro detalle importante, que nos debe preocupar, es la temperatura de la unión n-p (que se relaciona con  $T_{case}$ ) y para detectarla existe un orificio en el cuerpo de los diodos de gran tamaño, que nos permite la introducción del termopar de un termómetro.
6. ¿Seríamos capaces de dibujar un puente de diodos, en frío, basándonos en su funcionamiento?

Es muy fácil:

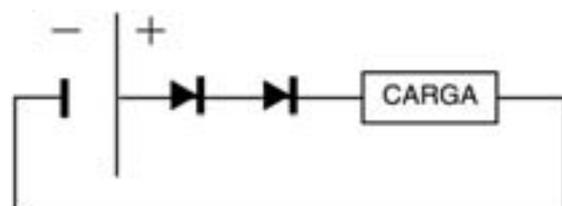


Para terminar este apartado sobre diodos, vamos a descubrir una aplicación importante y que nos puede ser de gran ayuda.

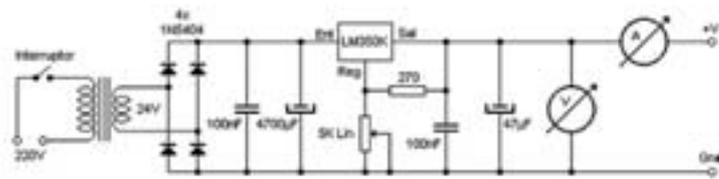
Imaginemos que disponemos de una fuente de tensión continua, una batería de 12 voltios, que podemos cargarla porque disponemos de una fuente de alimentación para ese menester.

La utilizamos para receptores de esa tensión, 12 V pero imaginemos que necesitásemos menos tensión, por ejemplo en torno a los 10 V ¿Cómo lo solucionaríamos?

Muy fácil, disponiendo dos diodos soldados en serie en el terminal positivo de la batería:



**DIVERSOS MODELOS DE FUENTES DE ALIMENTACIÓN REGULABLES**



## CÓMO FABRICAR UN PROTECTOR CONTRA SUBIDAS DE TENSIÓN



Planteamos un ejercicio interesante que tiene que ver con las variaciones bruscas de tensión, picos, espúreos, o con la caída del neutro de una acometida trifásica.

Una de las causas más frecuentes de las averías en nuestros ordenadores son las subidas de tensión de la red eléctrica, debidas a fenómenos transitorios, de ahí que nos planteemos muchas veces el adquirir algún tipo de dispositivo para proteger nuestros equipos.

Puede ser habitual la llegada por la red de picos de tensión provocados por arranque de motores, variadores de velocidad, disparo de protecciones o soldadura eléctrica.

Estos picos hacen sufrir la fuente de alimentación de los dispositivos electrónicos que tengamos instalados.



Hay otro tipo de subidas, de enorme magnitud, inesperadas, y que se producen cuando el neutro se desplaza hacia una fase activa, provocadas por alguna reparación externa de las líneas y la instalación eléctrica de nuestras casas se ve afectada con nada menos que 400 voltios.

Se conoce como caída del neutro.

Las fuentes de alimentación de los ordenadores aguantan, casi todas, con bastante seguridad hasta los 250 V, pero ni mucho menos 400V como se da en el supuesto mencionado.

En este artículo abordamos cómo realizar una económica, pero eficaz, protección para ambos casos, pero vamos a centrarnos en la protección del ordenador únicamente, siendo válido lo que se describa para el otro tipo de protección que la llevaremos a cabo si sospechamos que la caída del neutro puede llegar a darse.

Advertimos que existen muy pocos dispositivos en el mercado que protejan de la desaparición momentánea del neutro.

Empecemos el montaje.

Se trata de montar unos varistores en paralelo con los cables que alimentan nuestro ordenador.

### Pequeña explicación teórica

Los varistores proporcionan una protección fiable y económica contra transitorios de alto voltaje que pueden ser producidos, por ejemplo, por relámpagos, conmutaciones o ruido eléctrico en líneas de potencia de CC o CORRIENTE ALTERNA.

Los varistores tienen la ventaja sobre los diodos (supresores de transitorios) que, al igual que ellos pueden absorber energías transitorias (incluso más altas) pero además pueden suprimir los transitorios positivos y negativos (recordemos la direccionalidad única de los diodos).

Cuando aparece un transitorio, el varistor cambia su resistencia de un valor alto a otro valor muy bajo.

El transitorio es absorbido por el varistor, protegiendo de esa manera los componentes sensibles del circuito.

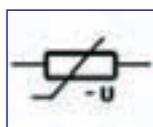
Los varistores se fabrican con un material no-homogéneo. (Carburo de silicio).

### Características

- Amplia gama de voltajes - desde 14 V a 550 V (RMS).
- Esto permite una selección fácil del componente correcto para una aplicación específica.
- Alta capacidad de absorción de energía respecto a las dimensiones del componente.
- Tiempo de respuesta de menos de 20 ns, absorbiendo el transitorio en el instante que ocurre.
- Bajo consumo (en stand-by) - virtualmente nada.
- Valores bajos de capacidad, lo que hace al varistor apropiado para la protección de circuitería en conmutación digital.
- Alto grado de aislamiento.

Insistimos en que son componentes cuya resistencia aumenta cuando disminuye el voltaje aplicado en sus extremos.

- VOLTAJE » + RESISTENCIA  
+ VOLTAJE » - RESISTENCIA



Símbolo



Aspecto físico

### Aplicaciones de la VDR

- Compensación del valor óhmico cuando varía la tensión en un circuito.
- Estabilizadores de tensión.

Por tanto, si ponemos entre los cables de alimentación unos varistores, alimentaremos nuestro ordenador normalmente,

pero si la tensión se eleva de una forma peligrosa (superior a los 250 V), se harán conductores y cortocircuitarán la fase con el neutro o la fase con la toma de tierra, de manera que harán saltar las protecciones de nuestra vivienda, cortando la corriente.

Es decir, crearemos un cortocircuito intencionadamente, una "avería eléctrica momentánea" que hará saltar lo que normalmente llamamos "automático", pero que técnicamente recibe el nombre de interruptor magnetotérmico, que hoy en día es de obligada instalación en todas las viviendas.



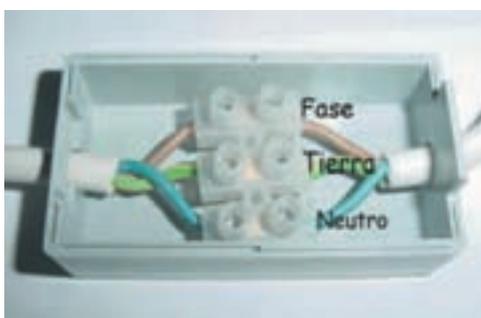
### Material necesario

- Vamos a necesitar 3 varistores de 250 V y de aproximadamente 50 A.
- Una base múltiple, que será donde conectaremos el ordenador y sus periféricos.
- Un poco de macarrón termoretráctil.
- Una caja de plástico pequeña, y una ficha de empalme.
- Todos estos componentes los podemos encontrar en cualquier establecimiento de componentes electrónicos a unos precios muy asequibles.
- Los varistores vienen a salir por 1 € la unidad, la cajita unos 2,40 €, el macarrón termoretráctil 1,20 € un metro, y la base múltiple la podemos encontrar, según sea el lugar donde la compremos, desde 1 a 3 €.
- Para este montaje hemos aprovechado una base múltiple simple, pero aconsejamos una con interruptor de corte bipolar y piloto incorporado.

## Primeros pasos y más teoría

**Preparación de la caja:** no tiene mayor dificultad, simplemente perforaremos por los dos extremos para que pueda pasar la manguera de alimentación (7,5 mm aprox.) y realizar las conexiones dentro de la caja.

Después abriremos la manguera dejando a la vista los tres conductores internos (con mucho cuidado de **no dañar el aislante de los mismos**), y pelaremos sus puntas dejando el alambre al desnudo, una longitud suficiente para realizar las conexiones en la ficha de empalme.



Los tres cables conductores que apreciamos en la fotografía son:

- La **fase activa** (cable **marrón, negro o gris** en algunas ocasiones), esta fase es la que lleva los 230 V de tensión alterna, es decir que entre esta fase y el neutro o tierra, están presentes 230 V.

Esta aclaración nos sirve para cualquier aparato, o caja de conexiones eléctrica.

- El **neutro** (siempre de color **azul**) es el conductor de tensión 0 Voltios (o aproximada), es decir, es el que crea la diferencia de potencial con la fase para que circulen entre ellos los 230 V.

Con éste no hay que tener tantos miramientos (tocarlo o no) pues, al no llevar tensión, no nos dará calambre "casi nunca".

(Por si acaso hay que ser prudentes, pues en ciertas instalaciones no sabemos lo que podemos encontrarnos, ni sabemos si se ha respetado el código de colores.)

- El **conector de tierra** (siempre de **amarillo y verde**), es el conductor para descargar la tensión que puede llegar a circular cuando hay una fuga debido a una avería.

Es una buena conexión a 0 V, pues aunque tocásemos el aparato averiado, la tensión de fuga que tuviera se iría por el conductor de tierra, evitándonos una desagradable y peligrosa descarga.

En la entrada de nuestras viviendas, en el cuadro de control y protección tenemos un interruptor diferencial, y por lo menos un interruptor magnetotérmico.



El diferencial dispone de una palanquita para activarlo de nuevo y un botón de test, y el magnetotérmico simplemente de una palanca que se sube para conectar y baja cuando salta o lo desconectamos.

De esta forma si se produce un cortocircuito (la unión de los hilos marrón y azul) habría un consumo excesivo y el **magnetotérmico** saltaría.

### ¿Inconvenientes?

Que en el hipotético supuesto de que se sobrepase el límite de tensión, tendremos un momentáneo apagón en toda la casa, pero salvaremos nuestro equipo de modo rápido de una sobretensión que podría dañarlo más que un corte de corriente y un Scandisk al arrancar de nuevo.

Otra forma sería que el neutro (azul) o la fase (marrón) hiciesen contacto con el conector de tierra (amarillo-verde), en este caso entraría en funcionamiento el **interruptor diferencial** o "**salvavidas**".

Esta protección hoy en día es de obligado montaje en cualquier tipo de instalación eléctrica de baja tensión.

### ¿Cómo funciona?

Es el vigilante de la seguridad de la casa, que constantemente verifica que la corriente que sale por la fase (marrón), regresa por el neutro (azul).

Cuando hay una pérdida de corriente por cualquier motivo (una descarga a una persona, o a tierra, por avería), salta automáticamente y no se puede activar hasta que no cese la pérdida.

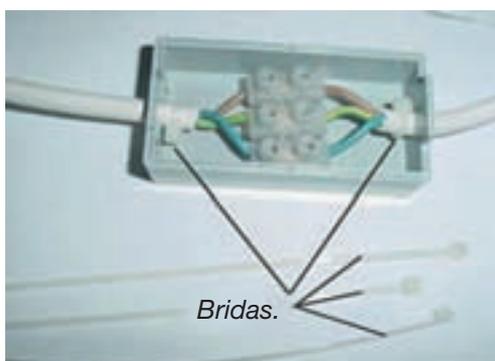
Son tan sensibles que algunas veces, en instalaciones viejas, llegan a saltar por la lluvia, ya que la humedad produce fugas de corriente.

Pero lo importante es que si por cualquier motivo, alguno de nosotros recibiésemos una descarga eléctrica, el diferencial saltaría salvándonos seguramente la vida.

De esta manera vamos a aprovechar este valioso aparato casero para hacerlo saltar si sube la tensión.

### El montaje en sí

No nos olvidemos antes de continuar, el asegurar la manguera eléctrica con dos bridas de plástico para proteger la conexión de posibles tirones involuntarios, que pudiesen producir daños en nuestro montaje.



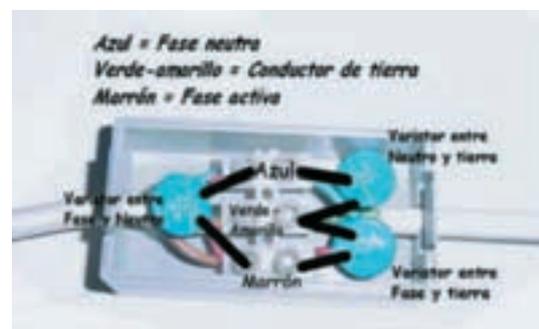
Si conectamos un varistor entre la fase y el conductor de tierra (marrón con verde-amarillo) y otro entre neutro y tierra (azul y verde-amarillo), cuando suba la tensión por encima de 250 V, conducirá el varistor y creará una pérdida de corriente a través del conductor de tierra que hará saltar el interruptor diferencial de la vivienda.

Así cortará la corriente y salvaremos nuestro ordenador de una descarga.

NOTA: Si nuestra instalación no dispone de toma de tierra, utilizaremos un único varistor entre los cables de la fase activa (marrón) y el neutro (azul).

La protección será igualmente eficaz pues saltará el magnetotérmico en caso de subida excesiva de tensión.

A continuación, **montamos los tres varistores**: simplemente intercalamos un varistor entre fase y neutro (marrón-azul), otro entre fase y tierra (marrón-verde/amarillo), y otro entre neutro y tierra (azul-verde/amarillo).



El montaje está terminado y listo para conectar.



### NOTAS:

Este montaje es perfectamente válido para casi cualquier electrodoméstico de mediano consumo (hay varistores de 50 amperios que a 230 V serian capaces de soportar 11.000 vatios aprox.), así que podemos utilizarlo para proteger nuestro grabador de video, equipo de música, TV, etc.,

protegiéndonos de las clásicas descargas que se producen cuando estamos fuera del hogar y que pueden quemar aparatos como el vídeo (recordemos que el vídeo no se desconecta nunca de la red, está siempre en espera hasta que lo hacemos funcionar nosotros).

Muchos fabricantes de equipos electrónicos incluyen varistores dentro de sus aparatos para protegerlos de subidas de tensión, es más, estos componentes se utilizan casi en exclusiva como fusibles de protección para equipos o instalaciones profesionales.

Si un aparato electrónico, que incluya este dispositivo, se nos avería y tenemos fácil acceso a la fuente, siempre podremos verificar si quien provoca el disparo del limitador es un varistor dañado (ver "averías").

### **Cuando una subida de tensión haga saltar el magnetotérmico o el diferencial:**

Esperaremos un rato.

Verificaremos en la vecindad si tienen luz.

Porque si no tienen..., puede tratarse de la otra posibilidad, ya comentada, de la caída del neutro y eso afecta a todos los vecinos.

Y conviene esperar a que arreglen la avería que habrá destrozado la mayor parte de los electrodomésticos del edificio (en nuestra vivienda posiblemente se hayan salvado).

Desenchufaremos la regleta protegida de la red, y a continuación restauramos a su posición normal el diferencial, el magnetotérmico o ambos.

Seguidamente volveremos a enchufar nuestra regleta protegida y a trabajar de nuevo.

### **Posibles averías y conclusión**

Como nuestro protector podría averiarse y tendremos que repararlo, vamos a ver como solucionarlo.

¿Qué pasa si al conectar la regleta al enchufe, sigue saltando el diferencial o el limitador y el resto de la comunidad dispone de fluido?

Posiblemente la última subida fue tan grande, o fue la postrera de repetidas subidas, que uno o varios de nuestros varistores, no han podido aguantar y se han quemado, se han quedado en cortocircuito y están comunicadas permanentemente sus patillas.

Si lo que salta es el magnetotérmico, sin duda alguna se ha deteriorado el varistor que comunica la fase con el neutro (marrón-azul), la solución es simplemente sustituirlo por uno nuevo.



Si por el contrario es el diferencial el que salta, sin duda se habrá ido alguno de los otros dos varistores. ¿Solución? Sustituirlos.

Como consejo, sustituir siempre los tres varistores, son económicos y no merece la pena mantenerlos cuando ha fallado uno.

Si disponemos de un polímetro, y ajustamos la medida a realizar en la escala de resistencias o continuidad, al conectar entre las patillas del varistor las bananas de medida nos marcará una resistencia infinita, si el varistor está en buen estado.

Si el varistor está averiado, conducirá, el polímetro pitará (si dispone de esa función) y se pondrá el display a cero Ohmios y en ese caso habrá que sustituirlo.



## ***SI NOS QUEDAMOS A OSCURAS...***

---



**ADIOS AMIGOS, HASTA LA PRÓXIMA ENTREGA**

**(( RECORDAD INTERCALAR EL ÍNDICE DEFINITIVO ))**



**HASTA LA PRÓXIMA  
ENTREGA**

