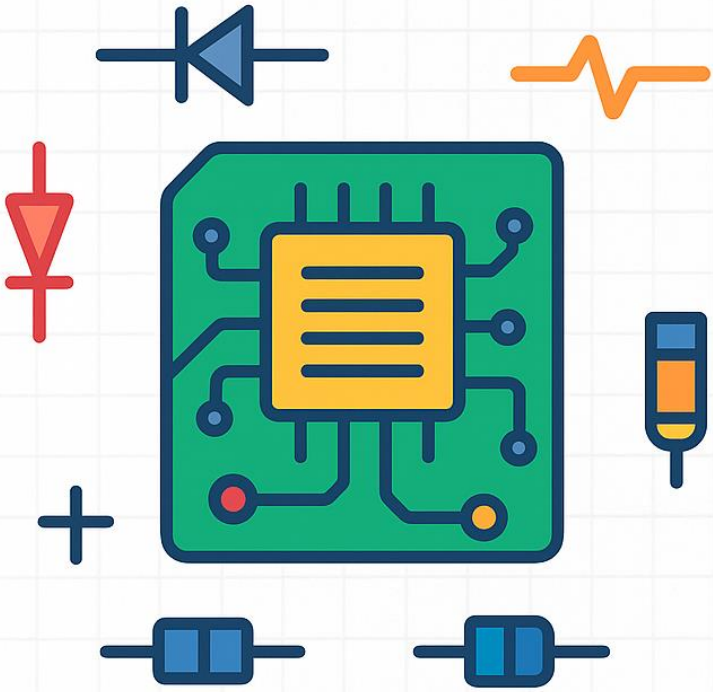
ELECTRÓNICA

5º AÑO



PROFESOR
MELGAREJO EMANUEL

2

Introducción Histórica a la Electrónica

Un poco de historia

Durante las décadas pasadas la tecnología ha estado cambiando a un ritmo cada vez más acelerado. La presión para desarrollar productos nuevos, mejorar el desempeño de los sistemas ya existentes y crear nuevos mercados acelerará ese ritmo. Sin embargo, esta presión también es lo que hace que el campo sea tan emocionante. Nuevas formas de guardar información, de construir circuitos integrados y de desarrollar hardware que contenga componentes de software capaces de "pensar" por sí mismos a partir de los datos ingresados, son sólo algunas posibilidades.

El cambio siempre ha formado parte de la experiencia humana, pero solía ser gradual. Esto ya no sucede. Basta pensar, por ejemplo, que hace sólo algunos años que aparecieron las televisiones de pantalla ancha, plana. Éstas ya fueron eclipsadas por las televisiones de alta definición con imágenes tan nítidas que parecen casi tridimensionales.

La miniaturización también ha hecho posible los enormes avances de los sistemas electrónicos.

Los teléfonos celulares que originalmente eran del tamaño de una minicomputadora portátil, ahora son más pequeños que un mazo de cartas. Además, estas nuevas versiones graban videos, transmiten fotografías, envían mensajes de texto y tienen calendarios, recordatorios, calculadoras, juegos y listas de números frecuentemente marcados. Los reproductores de casetes de audio han sido reemplazados por iPods® de bolsillo que pueden guardar 30,000 canciones o 25,000 fotografías.

Prótesis auditivas con mayores niveles de potencia que son casi invisibles en el oído; en fin, la lista de productos nuevos o mejorados sigue creciendo porque se han desarrollado sistemas electrónicos significativamente más pequeños.

Esta reducción del tamaño de los sistemas electrónicos se debe principalmente a la importante innovación que significó el circuito integrado (CI), el cual apareció en 1958. Ahora un circuito integrado puede contener componentes de menos de 50 nanómetros. El hecho de que ahora las mediciones se hagan en nanómetros ha dado por resultado el concepto de ***nanotecnología*** para referirse a la producción de circuitos integrados llamados nanochips. Para entender qué son los nanómetros, imagine que debe trazar 100 líneas dentro de un área limitada de una pulgada. Luego trate de trazar 1000 líneas dentro de la misma longitud. Pues bien, montar componentes de 50 nanómetros requeriría trazar más de 500,000 líneas en una pulgada. El circuito integrado que se muestra en la figura A1.1 es un procesador de núcleo cuádruple Intel® Core 2 Extreme que contiene 291 millones de transistores en cada chip de núcleo doble. El resultado es que el paquete completo, el cual es aproximadamente del tamaño de tres estampillas postales, tiene casi 600 millones de transistores, un número difícil de comprender.

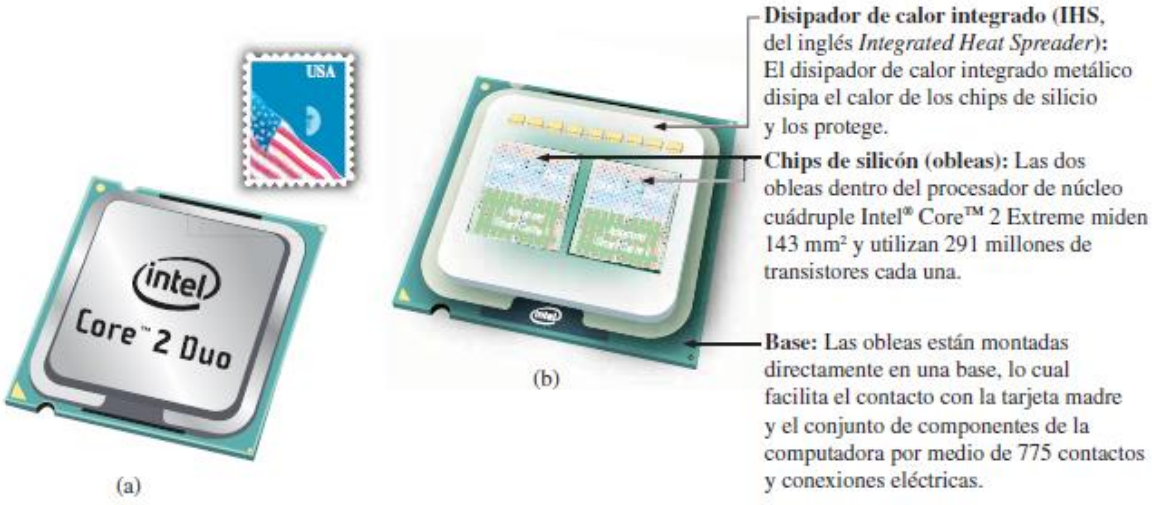


FIG. A1.1
Procesador de núcleo cuádruple Intel® Core™ 2 Extreme: (a) apariencia superficial; (b) chips internos.

Sin embargo, antes de tomar una decisión en relación con reducciones de tamaño tan dramáticas, el sistema debe diseñarse y probarse para determinar si vale la pena construirlo como un circuito integrado. Ese proceso de diseño requiere personal que conozcan las características de cada dispositivo utilizado en el sistema, así como las características indeseables que forman parte de cualquier elemento electrónico. En otras palabras, no existen elementos ideales (perfectos) en un diseño electrónico. Considerando las limitaciones de cada componente, es necesario garantizar una respuesta confiable en todas las condiciones de temperatura, vibración y efecto del entorno.

Una Breve Historia de la Electrónica

En las ciencias, una vez que una hipótesis se comprueba y acepta, se convierte en uno de los bloques de construcción del área de estudio, lo que permite una investigación y desarrollo adicionales. Naturalmente, cuantas más piezas del rompecabezas estén disponibles, más amplia será la avenida que conduzca a una posible solución. De hecho, la historia demuestra que un solo desarrollo puede ser la clave para el crecimiento acelerado que lleve a la ciencia a un nuevo nivel de entendimiento e impacto.

A lo largo de la historia algunos periodos se caracterizaron por lo que pareció ser una explosión del interés y desarrollo en áreas particulares.

Como verá en el análisis de fines del siglo XVIII y principios del XIX, las invenciones, los descubrimientos y teorías llegaron rápida y tumultuosamente.

Cada concepto nuevo ensanchó las posibles áreas de aplicación hasta que se volvió casi imposible rastrear los desarrollos sin ocuparse de un área de interés particular y de seguirle la pista. En el repaso, conforme vaya leyendo sobre el desarrollo de la radio, la televisión y las computadoras, tenga presente que se fueron dando pasos progresivos similares en las

áreas del telégrafo, el teléfono, la generación de energía, el fonógrafo, los electrodomésticos, etcétera.

Cuando se lee acerca de los grandes científicos, inventores e innovadores, hay una tendencia a creer que su contribución fue un esfuerzo totalmente individual. En muchas ocasiones éste no fue el caso. En realidad, muchos de los grandes innovadores tuvieron amigos o socios que los apoyaron y motivaron en sus esfuerzos para investigar varias teorías.

O, al menos, se enteraron de los esfuerzos de otros en cuanto a que en esa época una carta manuscrita era la mejor forma de comunicación.

En particular, observe la proximidad de las fechas durante los períodos de rápido desarrollo. Pareciera que alguien estimulara los esfuerzos de otros o quizá proporcionara la clave que se necesitaba para continuar con el área de interés.

En las etapas iniciales, los innovadores no eran ingenieros electricistas, de electrónica o de computación como los conocemos en la actualidad. En la mayoría de los casos eran físicos, químicos, matemáticos, o incluso filósofos.

Además, no provenían de una o dos comunidades del Viejo Mundo. Se menciona el país de origen de muchos de los colaboradores importantes que se presentan en los párrafos siguientes para mostrar que casi cualquier comunidad establecida tuvo un impacto en el desarrollo de las leyes fundamentales de los circuitos eléctricos.

A medida que avance en el texto, encontrará que varias de las unidades de medición ostentan el nombre de los colaboradores más sobresalientes en dichas áreas, a saber, Volt por el conde Alessandro Volta, Ampere por André Ampère, Ohm por Georg Ohm, etcétera, como un reconocimiento a sus importantes contribuciones al nacimiento de un importante campo de estudio.

En la figura A1.2 se dan cronogramas que indican un número limitado de desarrollos importantes, sobre todo para identificar períodos específicos de rápido desarrollo y para revelar lo lejos que hemos llegado en las últimas décadas. En esencia, el estado actual de la ciencia es el resultado de los esfuerzos que comenzaron hace aproximadamente 250 años, con un avance casi exponencial en los últimos 10.

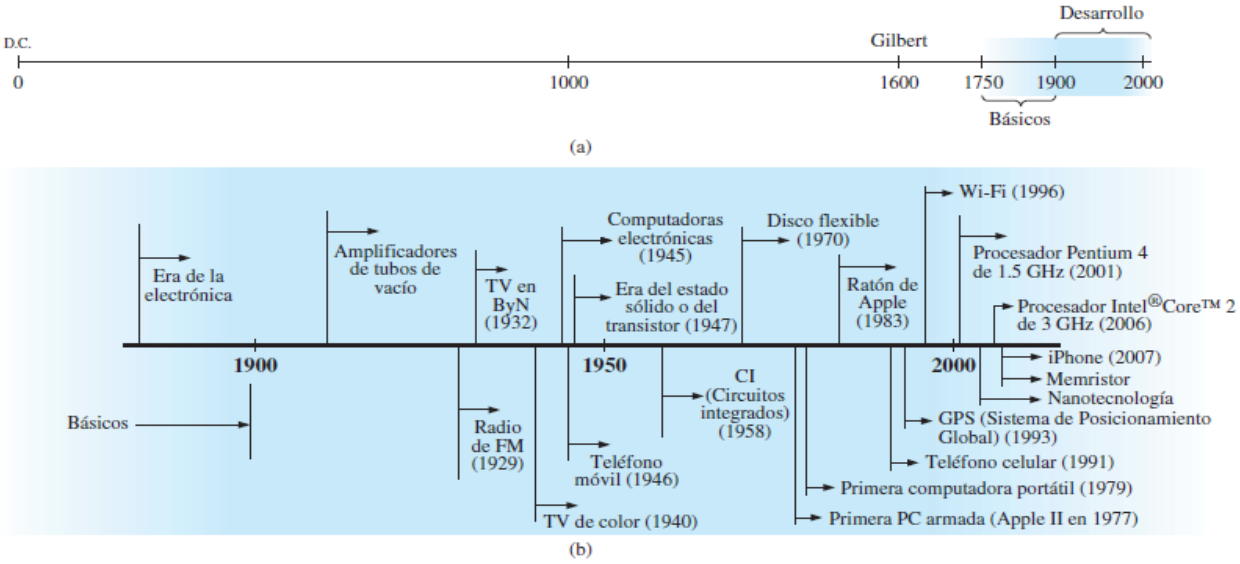


FIG. A1.2
Cronogramas: (a) largo alcance; (b) expandido.

Conforme avance en esta lectura, trate de sentir el creciente interés en el campo, así como el entusiasmo y la emoción que deben haber acompañado a cada nueva revelación. Aun cuando es posible que encuentre que algunos de los términos utilizados en el repaso son nuevos y esencialmente sin sentido, se explicarán a fondo en el texto.

Los inicios

El fenómeno de la **electricidad estática** ha intrigado a los estudiosos a lo largo de la historia. Los griegos llamaban ***elektron***, a la resina fósil de amplio uso, para demostrar los efectos de la electricidad estática, pero el fenómeno no se estudió extensamente hasta que William Gilbert lo investigó en 1600. En los años siguientes, muchas personas continuaron investigando la carga electrostática, como Otto Von Guericke, quien desarrolló la primera máquina para generar grandes cantidades de carga, y Stephen Gray, quien fue capaz de transmitir carga eléctrica a largas distancias a través de hilos de seda. Charles DuFay demostró que las cargas o se atraen o se repelen entre sí, lo que lo llevó a creer que había dos tipos de carga, teoría a la que nos adherimos actualmente con nuestras cargas definidas como positiva y negativa.

Muchas personas creen que los verdaderos inicios de la era eléctrica se remontan a los esfuerzos de Pieter Van Musschenbroek y Benjamín Franklin. En 1745, van Musschenbroek presentó la Botella de Leyden para almacenar carga eléctrica (el primer capacitor) y demostró el choque eléctrico (y por consiguiente la potencia de esta nueva forma de energía).

Franklin utilizó la botella de Leyden 7 años después para establecer que la iluminación es simplemente una descarga eléctrica, y amplió otras importantes teorías, entre ellas la definición de los dos tipos de carga como positiva y negativa. A partir de entonces, nuevos descubrimientos y teorías parecieron ocurrir cada vez más rápido a medida que crecía la cantidad de investigadores en el área.

En 1784, Charles Coulomb demostró en París que la fuerza entre las cargas está inversamente relacionada con el cuadrado de la distancia que las separa. En 1791, Luigi Galvani, profesor de anatomía en la Universidad de Boloña, Italia, experimentó con los efectos de la electricidad en los nervios y músculos de animales. La primera celda voltaica, con capacidad de producir electricidad gracias a la acción química de un metal que se disuelve en un ácido, fue desarrollada por otro italiano, Alessandro Volta, en 1799.

El estado de agitación extrema continuó hasta principios del siglo XIX, cuando Hans Christian Oersted, profesor danés de física, dio a conocer en 1820 una relación entre el magnetismo y la electricidad que sirve como base para la teoría del electromagnetismo como la conocemos en la actualidad.

En el mismo año, un físico francés, André Ampère, demostró que alrededor de un conductor que transporta corriente se presentan efectos magnéticos y que éstos pueden atraerse o repelerse como los imanes. En el periodo de 1826 a 1827, un físico alemán, Georg Ohm, introdujo una importante relación entre el potencial, la corriente y la resistencia, conocida actualmente como ley de Ohm. En 1831, un físico inglés, Michael Faraday, demostró su teoría de la inducción electromagnética, según la cual una corriente cambiante en una bobina puede inducir una corriente cambiante en otra, aunque ambas bobinas no estén conectadas directamente. Faraday también realizó un extenso trabajo en un dispositivo de almacenamiento que llamó condensador, al cual conocemos actualmente como capacitor. Faraday propuso la idea de agregar un dieléctrico entre las placas de un capacitor para incrementar su capacidad de almacenamiento (capítulo 5). James Clerk Maxwell, un profesor escocés de filosofía natural, realizó extensos análisis matemáticos para desarrollar las ecuaciones de Maxwell, las cuales apoyan los esfuerzos de

Faraday de vincular los efectos eléctricos y magnéticos. Maxwell también desarrolló en 1862 la teoría electromagnética de la luz, la cual, entre otras cosas, reveló que las ondas electromagnéticas viajan a través del aire a la velocidad de la luz (186,000 millas por segundo o 3×10^8 metros por segundo).

En 1888, Heinrich Rudolph Hertz, un físico alemán, comprobó mediante experimentación con ondas electromagnéticas de baja frecuencia (microondas), las predicciones y ecuaciones de Maxwell. A mediados del siglo XIX Gustav Robert Kirchhoff presentó una serie de leyes de voltajes y corrientes que encontraron aplicación en cada nivel y área de este campo (vea los anexos 4 y 5). En 1895, otro físico alemán, Wilhelm Röntgen, descubrió ondas electromagnéticas de alta frecuencia, hoy conocidas como rayos X.

A finales del siglo XIX ya se había establecido una importante cantidad de ecuaciones, leyes y relaciones fundamentales, y se comenzaron a desarrollar formalmente varios campos de estudio, entre ellos los de la electricidad, la electrónica, y la generación y distribución de potencia, así como sistemas de comunicación.

La era de la electrónica

La radio El verdadero inicio de la era de la electrónica está abierto al debate y en ocasiones se atribuye a los esfuerzos de los primeros científicos al aplicar potenciales a través de tubos de vidrio al vacío. Sin embargo, muchos rastrean el inicio hasta Thomas Edison, quien agregó un electrodo metálico al vacío del tubo y descubrió que se establecía una corriente entre el electrodo metálico y el filamento cuando se aplicaba un voltaje positivo al electrodo metálico. El fenómeno, demostrado en 1883, se conoció como Efecto Edison. En el periodo subsiguiente, la transmisión de ondas de radio y el desarrollo de la radio recibieron una amplia atención. En 1887, Heinrich Hertz, en sus esfuerzos por verificar las ecuaciones de Maxwell, transmitió ondas de radio por primera vez en su laboratorio. En 1896, un científico italiano, Guglielmo Marconi (a menudo llamado el padre de la radio), demostró que las señales de telégrafo podían ser enviadas a través del aire a largas distancias (2.5 kilómetros) por medio de una antena conectada a tierra. Ese mismo año, Aleksandr Popov envió el que podría haber sido el primer mensaje de radio a unas 300 yardas. El mensaje fue el nombre "Heinrich Hertz" en señal de respeto a las primeras contribuciones de Hertz. En 1901, Marconi estableció una comunicación de radio a través del Océano Atlántico.

En 1904, John Ambrose Fleming amplió los esfuerzos de Edison para desarrollar el primer diodo, comúnmente llamado válvula de Fleming, que en realidad es el primero de los dispositivos electrónicos. El dispositivo tuvo un profundo impacto en el diseño de detectores en la sección receptora de los radios. En 1906, Lee De Forest agregó un tercer elemento a la estructura de vacío y creó el primer amplificador, el tríodo. Poco tiempo después, en 1912, Edwin Armstrong construyó el primer circuito regenerador para mejorar las capacidades receptoras y luego utilizó la misma contribución para desarrollar el primer oscilador no mecánico. Hacia 1915 se transmitían señales de radio a través de los Estados Unidos, y en 1918 Armstrong solicitó una patente para el circuito superheterodino empleado en prácticamente todo aparato de televisión y radio para permitir la amplificación de una sola frecuencia en vez de todo el rango de las señales entrantes. Los componentes principales de la radio moderna ahora estaban ya en su lugar, y las ventas de radios se incrementaron desde unos cuantos millones de dólares a principios de la década de 1920 a más de $1000 millones hacia la década de 1930, que fueran realmente los años dorados de la radio, con una amplia variedad de producción para los radioescuchas que fueran realmente los años dorados de la radio, con una amplia variedad de producción para los radioescuchas.

La televisión La década de 1930 fue también el verdadero inicio de la era de la televisión, aun cuando el desarrollo del tubo de imágenes comenzara años atrás con Paul Nipkow y su telescopio eléctrico en 1884, y John Baird y su larga lista de éxitos, incluidas la transmisión de imágenes de televisión mediante líneas telefónicas en 1927, y a través de ondas de radio en 1928, así como la transmisión simultánea de imágenes y sonido en 1930.

En 1932, la NBC instaló su primera antena de televisión comercial en la azotea del edificio Empire State en la ciudad de Nueva York, y la RCA comenzó la radiodifusión en 1939. La Segunda Guerra Mundial desaceleró el desarrollo y las ventas, pero a mediados de la década

de 1940 el número de aparatos creció desde unos cuantos miles hasta varios millones de unidades. La televisión a color adquirió popularidad a principios de la década de 1960.

Las computadoras El primer sistema de cómputo se remonta a Blaise Pascal en 1642 con su máquina mecánica para sumar y restar números.

En 1673, Gottfried Wilhelm von Leibniz utilizó la rueda de Leibniz para agregar la multiplicación y la división a la gama de operaciones, y en 1823 Charles Babbage desarrolló el motor diferencial para agregar las operaciones matemáticas de seno, coseno, logaritmos y otras más. En los años siguientes se hicieron mejoras, pero el sistema permaneció en su estructura mecánica hasta que en la década de 1930 se introdujeron sistemas electromecánicos que utilizaban componentes como los relevadores. No fue sino hasta la década de 1940 que los sistemas totalmente electrónicos se convirtieron en la nueva onda. Es interesante señalar que, aun cuando la IBM se formó en 1924, no entró a la industria de la computadora sino hasta 1937. Un sistema totalmente electrónico conocido como ENIAC fue dedicado a la Universidad de Pennsylvania en 1946. Contenía 18,000 tubos y pesaba 30 toneladas, pero era varias veces más rápido que la mayoría de los sistemas electromecánicos. Aun cuando se construyeron otros sistemas de tubos de vacío (bulbos), no fue sino hasta el advenimiento de la era del estado sólido (el transistor) que la computadora experimentó un importante cambio en su tamaño, velocidad y capacidad.

La era del transistor

En 1947, los físicos William Shockley, John Bardeen y Walter H. Brattain, de los laboratorios de la compañía Bell Telephone mostraron el transistor de punto de contacto (figura A1.3), un amplificador construido totalmente de materiales sólidos que no requería una envoltura de vidrio al vacío ni voltaje que calentara el filamento. Aunque reacia al principio debido a la vasta cantidad de material disponible en relación con el diseño, análisis y síntesis de las redes de bulbos, la industria finalmente aceptó esta nueva tecnología como la onda del futuro. En 1958, Texas Instruments desarrolló el primer circuito integrado (CI), y en 1961 la empresa Fairchild Corporation fabricó el primer circuito integrado comercial.

No es posible repasar de manera adecuada en pocas páginas toda la historia del campo de la electricidad y la electrónica. El esfuerzo, aquí, tanto mediante la exposición como con los cronogramas de la figura A1.2, fue revelar el asombroso progreso de este campo en los últimos 50 años.

El crecimiento parece ser verdaderamente exponencial desde principios del siglo XX y surge la interesante pregunta: A partir de aquí, ¿hacia dónde nos dirigimos? El cronograma indica que probablemente las siguientes décadas contendrán muchas contribuciones innovadoras importantes que pueden dar lugar a un crecimiento aún más rápido del que ahora estamos experimentando.

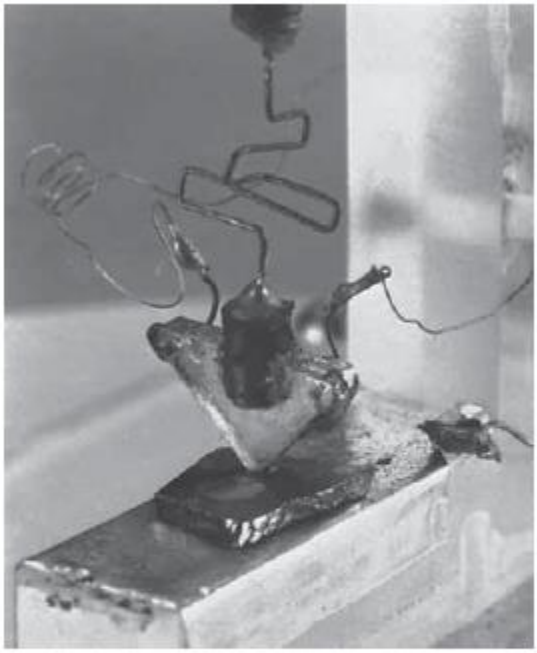


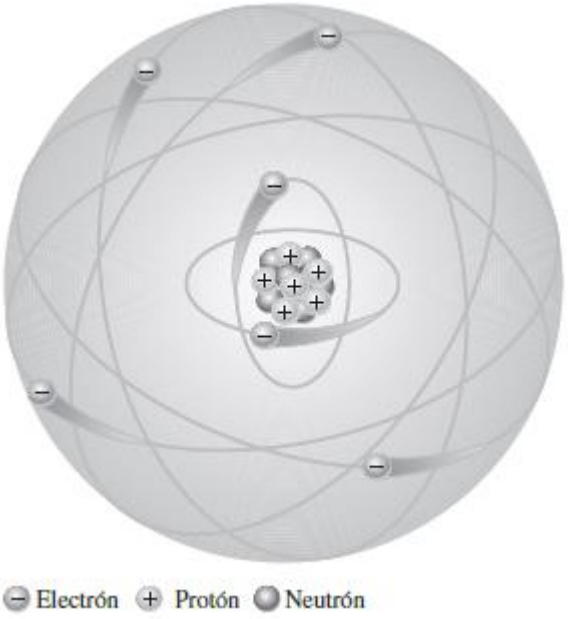
FIG. A1.3
El primer transistor.
(Fotografía utilizada con permiso de Lucent Technologies Inc./Bell Labs.).

Unidad de repaso: Estructura atómica

Toda la materia se compone de átomos, y todos los átomos se componen de electrones, protones y neutrones. En esta sección aprenderá acerca de la estructura de un átomo, lo cual incluye capas y órbitas de los electrones, electrones de valencia, iones y niveles de energía.

La configuración que presentan ciertos electrones en un átomo es el factor clave para determinar qué tan bien conduce la corriente eléctrica un material conductor o semiconductor.

Un átomo es la partícula más pequeña de un elemento que conserva las características de dicho elemento. Cada uno de los 109 elementos conocidos tiene átomos que son diferentes de los átomos de todos los demás elementos. Esto da a cada elemento una estructura atómica única. Según el modelo básico de Bohr, en un átomo se visualiza como una estructura de tipo planetario que consta de un núcleo central rodeado por electrones que lo orbitan, tal como se ilustra en la figura 1. El núcleo se compone de partículas cargadas positivamente y llamadas protones, así como de partículas no cargadas que se denominan neutrones. Las partículas básicas de carga negativa se llaman electrones.



Modelo de Bohr de un átomo que muestra los electrones en órbitas circulares alrededor del núcleo. En los electrones, las "colas" indican que están en movimiento.

Figura 1: Modelo de Bohr

Cada tipo de átomo tiene un cierto número de electrones y protones que lo distingue de los átomos de todos los demás elementos. Por ejemplo, el átomo más simple es el de hidrógeno, el cual tiene un protón y un electrón, como se ilustra en la figura 2(a). Otro ejemplo, el átomo de helio, mostrado en la figura 2(b), tiene dos protones y dos neutrones en el núcleo más dos electrones que orbitan el núcleo.

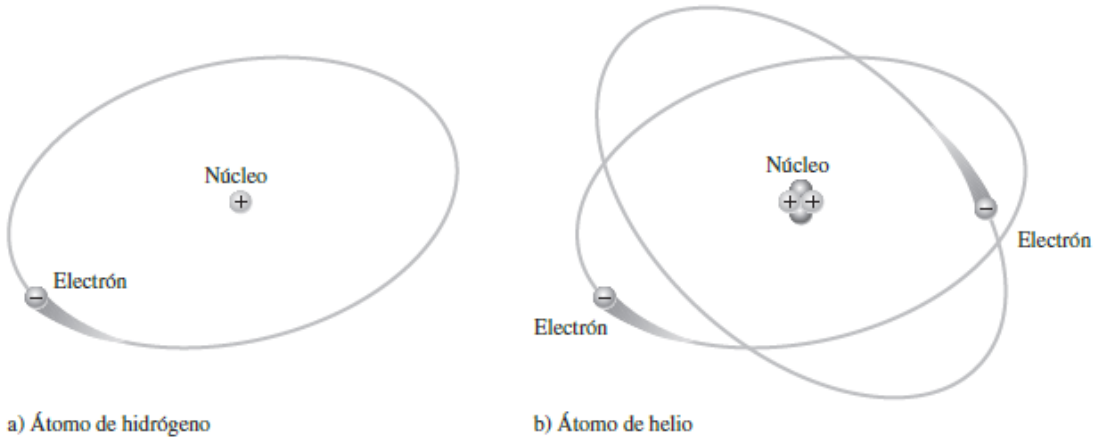


Figura 2: Los dos átomos más simples, hidrógeno y helio.

Número atómico

Todos los elementos están dispuestos en la tabla periódica de los elementos en un orden que va de acuerdo con su número atómico. El número atómico es igual al número de protones presentes en el núcleo. Por ejemplo, el número atómico del hidrógeno es 1 y el del helio es 2. En su estado normal (o neutro), todos los átomos de un elemento dado tienen el mismo número de electrones y de protones; las cargas positivas igualan a las cargas negativas, y el átomo tiene una carga neta de cero que lo vuelve eléctricamente neutro.

Capas, órbitas y niveles de energía

Tal como se ha visto en el modelo de Bohr, los electrones describen órbitas alrededor del núcleo a ciertas distancias de éste y están restringidos a dichas órbitas específicas. Dentro del átomo, cada órbita corresponde a un nivel de energía diferente conocido como capa. Las capas se designan con 1, 2, 3, y así sucesivamente, siendo la capa 1 la más cercana al núcleo. Los electrones más alejados del núcleo están a niveles de energía más altos.

De acuerdo con el modelo de Bohr para el átomo, las líneas espectrales del hidrógeno muestran que los electrones sólo pueden absorber o emitir una cantidad de energía específica que representa la diferencia exacta entre los niveles de energía. La figura 3 muestra dichos niveles dentro del átomo de hidrógeno.

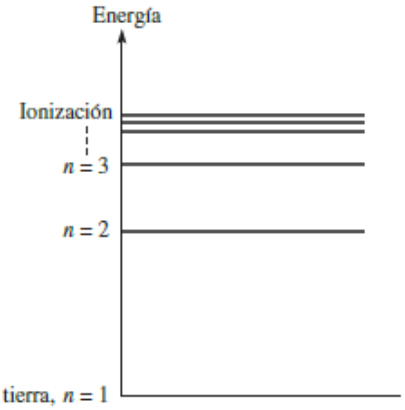


Figura 3: Niveles de energía e hidrógeno.

El nivel más bajo (n = 1) se llama estado de tierra y representa el átomo más estable con un solo electrón en la primera capa. Si este electrón adquiere una cantidad específica de energía absorbiendo un fotón, puede ascender hasta uno de los niveles de energía más altos. En este estado alto, el electrón puede emitir un fotón que contenga exactamente la misma cantidad de energía y regresar entonces al estado de tierra. Las transiciones entre los niveles de energía explican los diversos fenómenos que se presentan en la electrónica, tales como el color de la luz emitida por un diodo emisor de luz.

Después del trabajo de Bohr, Erin Schroedinger (1887-1961) propuso una teoría matemática para el átomo donde explica los átomos más complicados. Schroedinger sugirió que el electrón posee una propiedad de onda, y consideró que el caso más simple tiene un patrón de ondas estacionarias tridimensionales producidas por vibraciones. Schroedinger teorizó que la onda estacionaria de un electrón de forma esférica sólo podía tener ciertas longitudes de onda. Este modelo de mecánica de ondas del átomo produjo la misma ecuación para la energía del electrón en hidrógeno que el modelo de Bohr, pero en el modelo de mecánica de ondas, los átomos más complicados podían explicarse considerando formas diferentes a esferas y añadiendo una designación para la orientación de una forma dada dentro del átomo. En ambos modelos, los electrones próximos al núcleo tienen menos energía que los más alejados, lo cual se constituyó en el concepto básico de los niveles de energía.

La idea de niveles de energía discretos dentro del átomo sigue siendo el fundamento para entenderlo, y el modelo de mecánica de ondas ha tenido mucho éxito en la predicción de los niveles de energía de varios átomos. El modelo de mecánica de ondas del átomo utilizó el número de capa, llamado número cuántico principal, en la ecuación de energía. Otros tres números cuánticos describen a cada electrón presente en el átomo. Todos los electrones presentes en un átomo tienen un conjunto único de números cuánticos.

Cuando un átomo forma parte de un gran grupo, como en un cristal, los niveles de energía discretos se ensanchan hasta formar bandas de energía, lo cual constituye una importante idea en la electrónica de estado sólido. Las bandas también están diferenciadas entre conductores, semiconductores y aislantes.

Electrones de valencia

Los electrones que se localizan en órbitas alejadas del núcleo están dotados de más energía y se encuentran menos estrechamente ligados al átomo que aquellos cercanos al núcleo. Esto se debe a que la fuerza de atracción entre el núcleo positivamente cargado y el electrón negativamente cargado disminuye al incrementarse la distancia al núcleo. Electrones con los niveles de energía más altos existen en la capa más externa de un átomo y su ligazón a éste es relativamente holgada. Esta capa más alejada se conoce como capa de valencia y los electrones presentes en ella se llaman electrones de valencia. Los electrones de valencia contribuyen a las reacciones químicas y al enlace desarrollado dentro de la estructura de un material, y determinan las propiedades eléctricas de éste.

Niveles de energía y energía de ionización

Si un electrón absorbe un fotón que posea energía suficiente, escapa del átomo y se convierte en un electrón libre. Esto se indica mediante el nivel de energía de ionización mostrado en la figura 3. En todo momento que un átomo o grupo de átomos permanece con una carga neta se le conoce como ion. Cuando un electrón escapa del átomo de hidrógeno neutro (designado H), el átomo queda con una carga neta positiva y se convierte en un ion positivo (designado H+). En algunos casos, un átomo o grupo de átomos puede adquirir un electrón, en cuyo caso se llama ion negativo.

El átomo de cobre

El cobre es el metal más comúnmente utilizado en aplicaciones eléctricas. El átomo de cobre tiene 29 electrones que orbitan el núcleo en cuatro capas. El número de electrones presentes en cada capa sigue un patrón predecible de acuerdo con la fórmula $\mathbf{2n^2}$, donde "**n**" es el número de la capa.

La primera capa de cualquier átomo puede tener hasta 2 electrones, la segunda capa hacia arriba hasta 8 electrones, la tercera capa hacia arriba hasta 18 electrones, y la cuarta capa hacia arriba hasta 32 electrones.

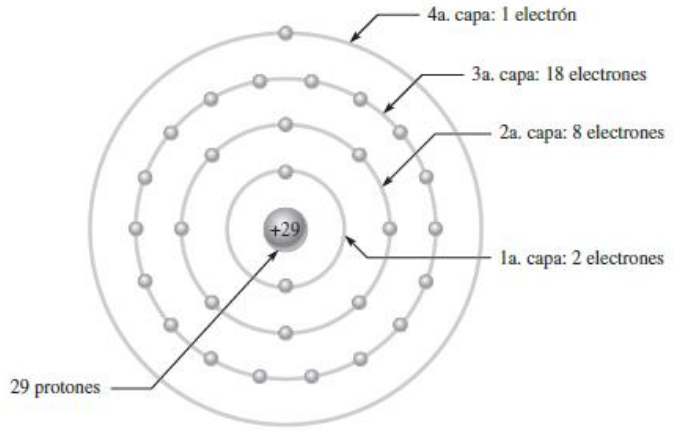


Figura 4: átomo de cobre

La figura 4 ilustra un átomo de cobre. Advierta que la cuarta o más alejada capa, la capa de valencia, tiene sólo un electrón de valencia. Cuando el electrón de valencia presente en la capa más externa del átomo de cobre adquiere suficiente energía térmica, puede liberarse del átomo padre y convertirse en electrón libre. En un pedazo de cobre a temperatura ambiente, un "mar" de estos electrones libres está presente. Tales electrones no están ligados a un átomo dado sino que son libres de moverse en el material de cobre. Los electrones libres hacen del cobre un excelente conductor y posibilitan la corriente eléctrica.

La configuración electrónica del cobre es: **[Ar] 3d10 4s1**

Categorías de materiales

En electrónica se utilizan tres categorías de materiales: conductores, semiconductores y aislantes.

Conductores

Los materiales conductores son aquellos que permiten el paso de la corriente.

Tienen un gran número de electrones libres y se caracterizan por poseer de uno a tres electrones de valencia en su estructura. La mayoría de los metales son buenos conductores. La plata es el mejor material conductor, y el cobre es el siguiente. El cobre es el material conductor más ampliamente utilizado porque es menos caro que la plata. En circuitos eléctricos, comúnmente se emplea alambre de cobre como conductor.

Semiconductores

Los materiales semiconductores se clasifican por debajo de los conductores, en cuanto a su capacidad de transportar corriente, porque tienen menos electrones libres que los conductores.

Los semiconductores tienen cuatro electrones de valencia en sus estructuras atómicas. Sin embargo, a causa de sus características únicas, ciertos materiales semiconductores constituyen la base de artefactos electrónicos tales como el diodo, el transistor y el circuito integrado. El silicio y el germanio son materiales semiconductores comunes.

Aislantes

Los materiales aislantes son conductores deficientes de la corriente eléctrica. De hecho, los aislantes se utilizan para evitar la corriente donde no es deseada. Comparados con los materiales conductores, los aislantes tienen muy pocos electrones libres y se caracterizan por poseer más de cuatro electrones de valencia en sus estructuras atómicas.

Carga Eléctrica

Como se sabe, un electrón es la partícula más pequeña que exhibe carga eléctrica negativa.

Cuando en un material está presente un exceso de electrones, existe una carga eléctrica negativa neta. Cuando hay deficiencia de electrones, existe una carga eléctrica positiva neta.

La carga de un electrón y la de un protón son iguales en magnitud. La carga eléctrica, una propiedad eléctrica de la materia que existe en virtud de exceso o deficiencia de electrones, es simbolizada mediante Q. La electricidad estática es la presencia de una carga positiva o negativa neta en un material. Todo mundo ha experimentado los efectos de la electricidad estática de vez en cuando, por ejemplo, cuando se intenta tocar una superficie metálica o a otra persona, o cuando las prendas de vestir puestas en una secadora se adhieren entre sí.

Los materiales con cargas de polaridad opuesta se atraen entre sí, y los materiales con cargas de la misma polaridad se repelen, como se muestra en la figura 5. Entre las cargas actúa una fuerza, evidenciada por la atracción o la repulsión. Esta fuerza, llamada campo eléctrico, se compone de líneas de fuerza invisibles, como indica la figura 6.

BIOGRAFÍA

Charles Augustin Coulomb
1736–1806

Coulomb, francés, ejerció muchos años como ingeniero militar. Cuando su mala salud lo obligó a retirarse, dedicó su tiempo a la investigación científica. Se le conoce mejor por su trabajo en el campo de la electricidad y el magnetismo debido su desarrollo de la ley del inverso de los cuadrados en relación a la fuerza entre dos cargas. La unidad de carga eléctrica fue nombrada en su honor. (Crédito de la fotografía: Cortesía de Smithsonian Institution. Fotografía número 52,597).

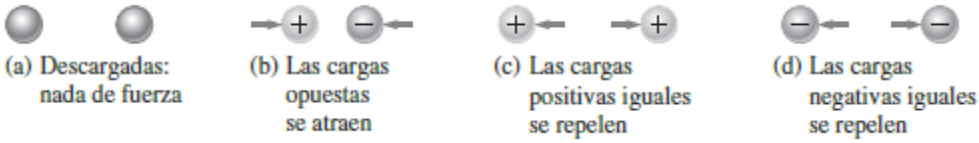


Figura 5: Atracción y repulsión de cargas eléctricas.

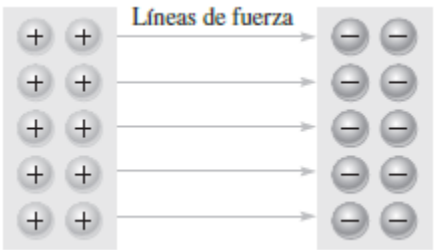


Figura 6: Campo eléctrico entre dos superficies opuestamente cargadas.

Coulomb: La unidad de carga

La carga eléctrica (Q) se mide en coulombs, simbolizada mediante C.

Un coulomb es la carga total poseída por 6.25x10^{18} electrones.

Un solo electrón tiene una carga de 1.6 1019 C. La carga total Q, expresada en coulombs, de un número dado de electrones se establece en la fórmula siguiente:

$$Q = \frac{\text{número de electrones}}{6.25 \times 10^{18}\,\text{electrones/C}}$$

Carga positiva y carga negativa

Considere un átomo neutro, es decir, uno que tiene el mismo número de electrones y protones y, por tanto, no tiene carga neta. Como se sabe, cuando un electrón de valencia es arrancado del átomo por la aplicación de energía, el átomo se queda con una carga positiva neta (más protones que electrones) y se transforma en un ion positivo. Si un átomo adquiere un electrón extra en su capa externa, tiene una carga negativa neta y se transforma en un ion negativo.

La cantidad de energía requerida para liberar un electrón de valencia está relacionada con el número de electrones presentes en la capa externa. Un átomo puede tener hasta ocho electrones de valencia. Mientras más completa está la capa externa, más estable es el átomo y, por tanto, se requiere más energía para liberar un electrón. La figura 7 ilustra la creación de un ion positivo y de un ion negativo cuando un átomo de hidrógeno cede su único electrón de valencia a un átomo de cloro, y se forma cloruro de hidrógeno gaseoso (HCl). Cuando el HCl gaseoso se disuelve en agua, se forma ácido hidroclórico.

Átomo de hidrógeno (1 protón, 1 electrón)

Átomo de cloro (17 protones, 17 electrones)

(a) El átomo de hidrógeno neutro tiene un solo electrón de valencia.

(b) Los átomos se combinan compartiendo el electrón de valencia para formar cloruro de hidrógeno gaseoso (HCl).

Ion de hidrógeno positivo
(1 protón, nada de electrones)

Ion de cloruro negativo
(17 protones, 18 electrones)

(c) Cuando se disuelve en agua, el gas cloruro de hidrógeno se separa en iones hidrógenos positivos y iones cloruro negativos. El átomo de cloro conserva el electrón cedido por el átomo de hidrógeno y forma tanto iones positivos como negativos en la misma solución.

Figura 7: Ejemplo de la formación de iones positivos y negativos.

Electrodinámica

La electrodinámica estudia el movimiento de las cargas y sus efectos en los circuitos eléctricos y electrónicos.

Corriente Alterna y Continua

Corriente Continua

La importancia de la generación de corriente continua es muy alta en el campo de la electrónica, porque todo lo que conocemos funciona alimentándose de algún tipo de corriente y, según el tipo de dispositivo al que nos estemos refiriendo, se tratara de continua o alterna.

La corriente continua da inicio a los primeros circuitos eléctricos. La pila de Volta fue el primer dispositivo que almacenó corriente continua sin la necesidad de regenerarla.

Una corriente continua se caracteriza porque los electrones libres siempre se mueven en el mismo sentido por el conductor con una intensidad constante.

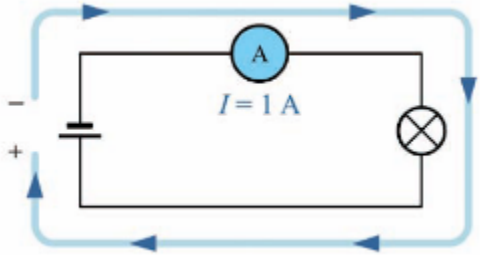


Figura 8: Un generador de corriente continua mantiene invariable la polaridad de sus terminales.

En la figura 2 se ha representado la C.C. de 1 A. Observa que este valor se mantiene invariable con el paso del tiempo.

Los usos que se hacen de la C.C. son muy variados: baños electrolíticos, alimentación de aparatos electrónicos, tracción eléctrica (coches, tranvías, etc.) y otros muchos más.

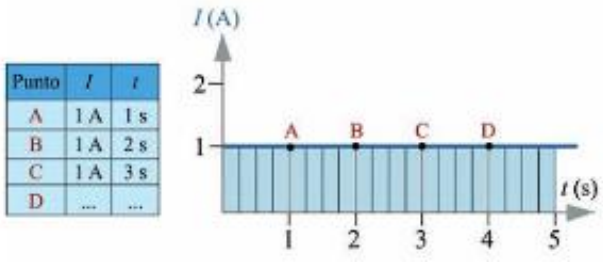


Figura 9: Representación gráfica de una corriente continua.

Corriente Alterna

La forma de onda sinusoidal u onda seno es el tipo fundamental de corriente alterna (ca) y voltaje alterno. También se conoce como onda sinusoidal o, simplemente, sinusoide.

El servicio eléctrico provisto por la compañía de electricidad es en la forma de voltaje y corriente sinusoidales. Además, otros tipos de formas de onda repetitivas se componen de muchas ondas seno individuales llamadas armónicas.

Dos tipos de fuentes producen voltajes sinusoidales: las máquinas eléctricas rotatorias (generadores de ca) y los circuitos osciladores electrónicos, los cuales se utilizan en instrumentos comúnmente conocidos como generadores de señales electrónicas. La figura 3 muestra el símbolo utilizado para representar cualquier fuente de voltaje sinusoidal.

Figura 10: *Símbolo para una fuente de voltaje sinusoidal.*

La figura 4 es una gráfica que muestra la forma general de una onda seno, la cual puede ser o una corriente alterna o un voltaje alterno. El voltaje (o la corriente) se muestra en el eje vertical y el tiempo (t) en el eje horizontal. Advierta cómo varía el voltaje (o la corriente) con el tiempo. Comenzando en cero, el voltaje (o la corriente) se incrementa hasta un máximo positivo (pico), regresa a cero, y luego se incrementa hasta un máximo negativo (pico) antes de regresar otra vez a cero, y así completa un ciclo.

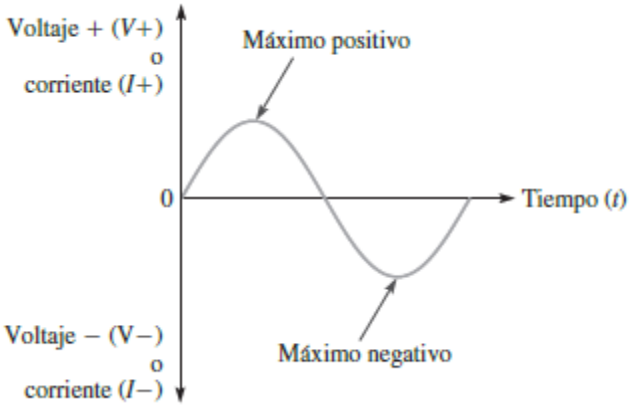


Figura 11: Gráfica de un ciclo de una onda seno.

Polaridad de una onda Seno.

Como ya se mencionó, una onda seno cambia de polaridad en su valor cero; esto es, alterna entre valores positivos y negativos. Cuando se aplica una fuente de voltaje sinusoidal (VS) a un circuito resistivo, como en la figura 5, se produce una corriente sinusoidal. Cuando el voltaje cambia de polaridad la corriente, en correspondencia, cambia de dirección como se indica.

Durante la alternación positiva del voltaje aplicado, Vs, la corriente fluye en la dirección mostrada en la figura 5. Durante una alternación negativa del voltaje aplicado, la corriente fluye en la dirección opuesta, según muestra la figura 6. Las alternaciones positivas y negativas combinadas forman un ciclo de una onda seno.

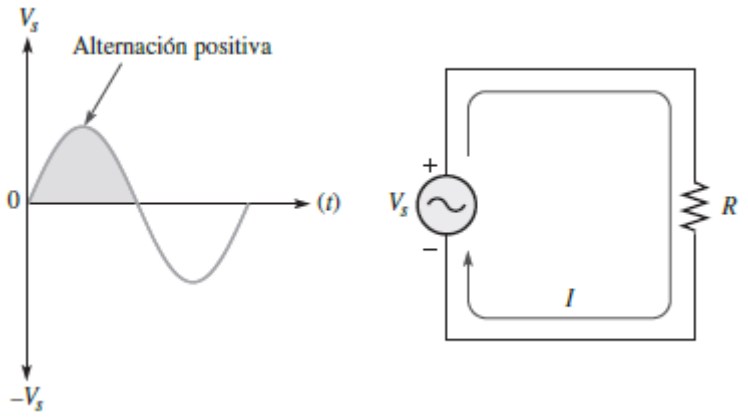


Figura 12 : Durante una alternación positiva de voltaje, la corriente fluye en la dirección mostrada.

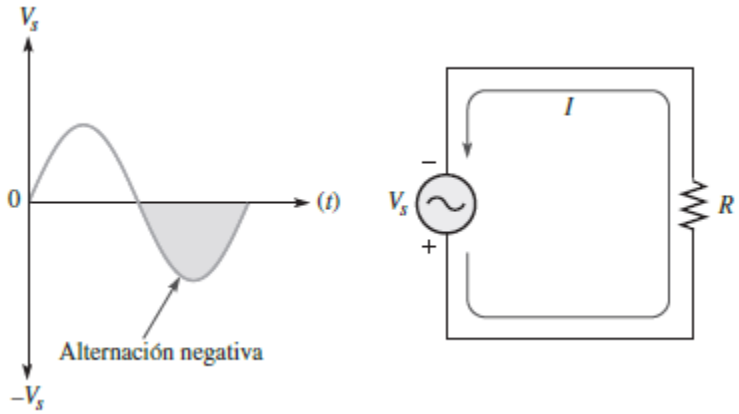


Figura 13 : Durante una alternación negativa de voltaje, la corriente invierte su dirección como se muestra

Periodo de una onda Seno

Una onda seno varía con el tiempo **(t)** de una manera que es definible.

El tiempo requerido para que una onda seno complete todo un ciclo se llama periodo **(T)**

La figura7 (a) ilustra el periodo de una onda seno. De modo característico, una onda seno continúa repitiéndose a sí misma en ciclos idénticos, según muestra la figura 7 (b). Como todos los ciclos de una onda seno repetitiva son iguales, el periodo siempre es un valor fijo para una onda seno dada. El periodo de una onda seno se puede medir desde su cruce por cero hasta el siguiente cruce por cero correspondiente, como indica la figura 11-4(a). En un ciclo dado, el periodo también puede medirse desde cualquier pico hasta el correspondiente pico alcanzado en el siguiente ciclo.

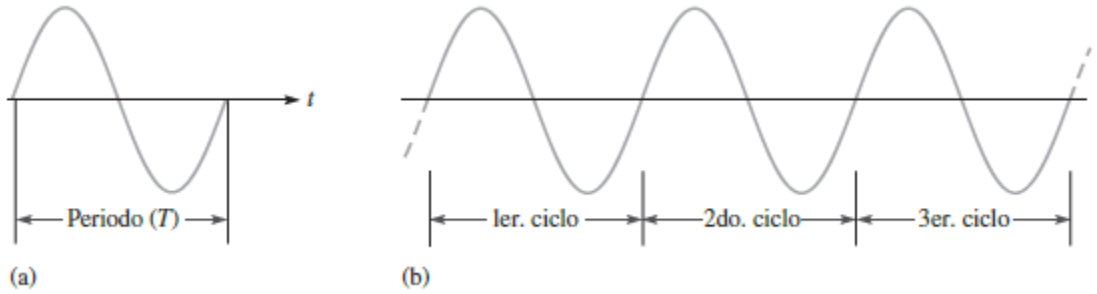
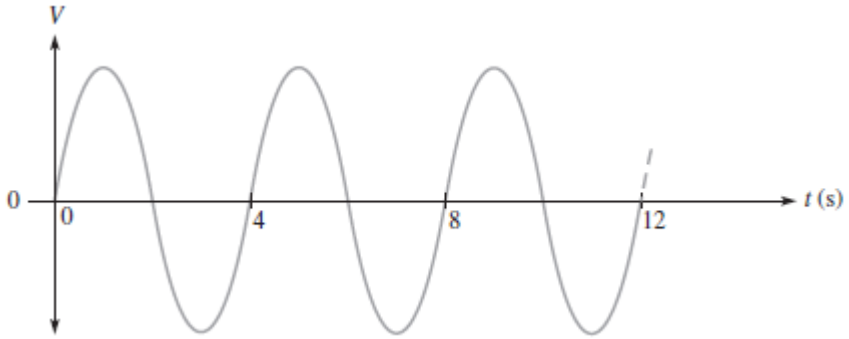
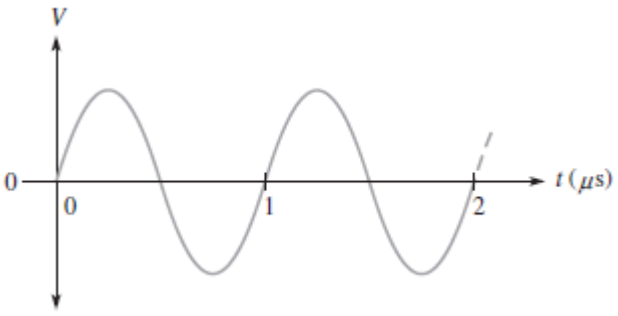


Figura 14 : El período de una onda seno es el mismo para cada ciclo.

Ejercicio: ¿Cuál es el periodo de la onda seno mostrada en la figura?



Ejercicio: Explique tres formas posibles de medir el periodo de la onda seno mostrada en la figura. ¿Cuántos ciclos se muestran?



Frecuencia de una onda Seno

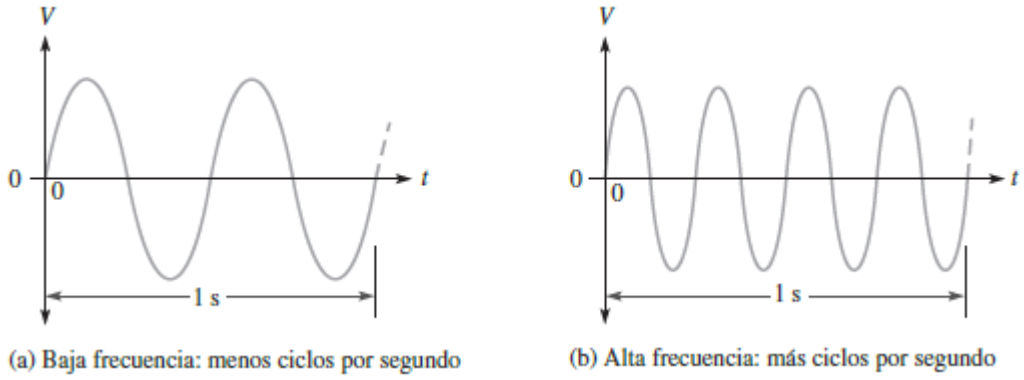
BIOGRAFÍA

Heinrich Rudolf Hertz
1857–1894

Hertz, un físico alemán, fue el primero en transmitir y recibir ondas electromagnéticas (radio). Produjo ondas electromagnéticas en el laboratorio y midió sus parámetros. Hertz también comprobó que la naturaleza de la reflexión y refracción de las ondas electromagnéticas eran las mismas que las de la luz. La unidad de frecuencia fue nombrada en su honor. (Crédito de la fotografía: Deutsches Museum, cortesía de AIP Emilio Segrè Visual Archives).

La frecuencia (f) es el número de ciclos que una onda seno completa en un segundo.

Mientras más ciclos se completan en un segundo, más alta es la frecuencia. La frecuencia (f) se mide en unidades de hertz. Un hertz (Hz) equivale a un ciclo por segundo; 60 Hz son 60 ciclos por segundo, 50 Hz son 50 ciclos por segundo, por ejemplo. La figura 11-8 muestra dos ondas seno. En la parte (a), la onda seno completa dos ciclos en un segundo. En la parte (b), completa cuatro ciclos en un segundo. Por consiguiente, la onda seno de la parte (b) tiene dos veces la frecuencia de la onda mostrada en la parte (a).



(a) Baja frecuencia: menos ciclos por segundo

(b) Alta frecuencia: más ciclos por segundo

Figura 15: Ilustración de frecuencia

1 hertz (Hz) = 1 ciclo por segundo (cps)

Relación de frecuencia y periodo

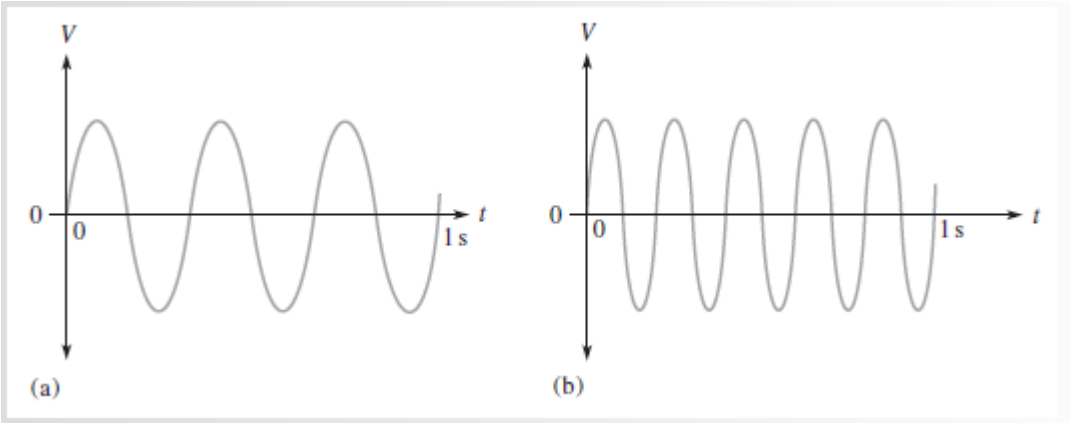
Las fórmulas para calcular la relación entre frecuencia (f) y periodo (T) son las siguientes:

$$f = \frac{1}{T}$$

$$T = \frac{1}{f}$$

Existe una relación recíproca entre f y T. Conociendo una, se puede calcular la otra mediante la tecla x^{-1} o 1/x de una calculadora. Esta relación inversa tiene sentido porque una onda seno con un periodo más largo realiza menos ciclos en un segundo que una con un periodo más corto.

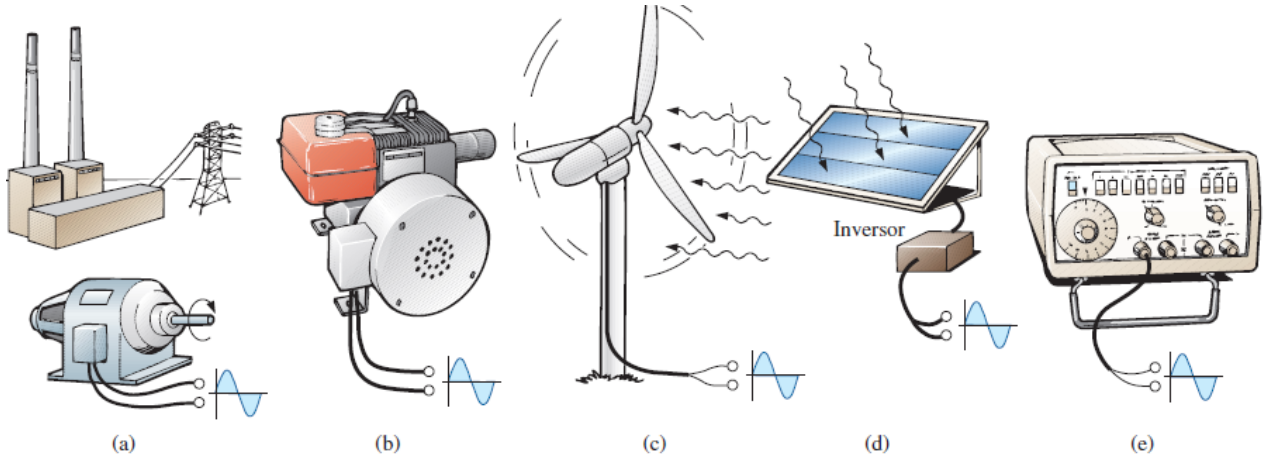
Ejercicio: ¿Cuál onda seno de las mostradas en la siguiente figura tiene la frecuencia más alta? Determine la frecuencia y el periodo de ambas formas de onda.



Ejercicio: El periodo de cierta onda seno es de 10 ms. ¿Cuál es la frecuencia?

Ejercicio: La frecuencia de una onda seno es de 50 Hz. ¿Cuál es el periodo?

Fuentes de energía de potencia de CA.


Inversor
(a)
(b)
(c)
(d)
(e)

Intensidad de corriente y tensión

Voltaje

Como se ha visto en unidades anteriores, existe una fuerza de atracción entre una carga positiva y una negativa. Se debe aplicar cierta cantidad de energía, en forma de trabajo, para vencer dicha fuerza y separar las cargas a determinada distancia. Todas las cargas opuestas poseen cierta energía potencial a causa de la separación que hay entre ellas. La diferencia en la energía potencial por carga es la diferencia de potencial o voltaje. En circuitos eléctricos, el voltaje es la fuerza propulsora y es lo que establece la corriente.

Como una analogía, considere un tanque de agua que está soportado a varios pies sobre el nivel del suelo. Se debe ejercer una cantidad dada de energía, en forma de trabajo, para subir agua y llenar el tanque. Una vez almacenada en el tanque, el agua tiene cierta energía potencial que, si es liberada, puede utilizarse para realizar trabajo.

El voltaje, simbolizado mediante **V**, se define como energía o trabajo por unidad de carga.

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

donde: V = voltaje en volts (V)
W = energía en joules (J)
Q = carga en coulombs (C)

BIOGRAFÍA

Alessandro Volta
1745–1827

Volta, italiano, inventó un dispositivo para generar electricidad estática y descubrió el gas metano. Volta investigó las reacciones entre metales disimilares y desarrolló la primera batería en 1800. El potencial eléctrico, más comúnmente conocido como voltaje, y la unidad de voltaje, el volt, fueron nombrados en su honor. (Crédito de la fotografía, AIP Emilio Segrè Visual Archives, Colección Lande).

La unidad de voltaje es el volt, simbolizada mediante V.

*Un **volt** es la diferencia de potencial (voltaje) entre dos puntos cuando se utiliza un joule de energía para mover un coulomb de carga de un punto a otro.*

Ejercicio: Si por cada 10 C de carga están disponibles 50 J de energía, ¿cuál es el voltaje?

Ejercicio ¿Cuánta energía se utiliza para mover 50 C de un punto a otro cuando el voltaje entre los dos puntos es de 12 V?

Corriente

El voltaje proporciona energía a los electrones, lo que les permite moverse por un circuito. Este movimiento de electrones es la corriente, la cual produce trabajo en un circuito eléctrico.

BIOGRAFÍA

André Marie Ampère
1775–1836

En 1820 Ampère, francés, desarrolló una teoría de electricidad y magnetismo que resultó fundamental para los desarrollos efectuados en el siglo XIX en estos campos. Fue el primero en construir un instrumento para medir flujo de carga (corriente). La unidad de corriente eléctrica fue nombrada en su honor. (Crédito de la fotografía: AIP Emilio Segrè Visual Archives).

En todos los materiales conductores y semiconductores están disponibles electrones libres. Estos electrones se mueven al azar en todas direcciones, de un átomo a otro, dentro de la estructura del material.

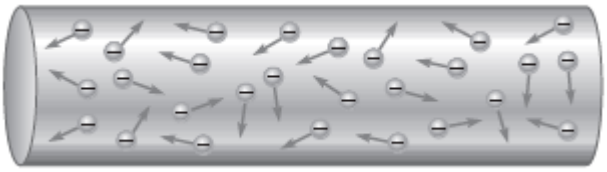


Figura 16: Movimiento aleatorio de electrones libres en un material

Si en un material conductor o semiconductor se establece voltaje, un extremo del material se vuelve positivo y el otro negativo. La fuerza repulsiva producida por el voltaje negativo en el extremo izquierdo hace que los electrones libres (cargas negativas) se muevan hacia la derecha. La fuerza de atracción producida por el voltaje positivo en el extremo derecho tira de los electrones libres hacia la derecha. El resultado es un movimiento neto de los electrones libres desde el extremo negativo del material hasta el extremo positivo.

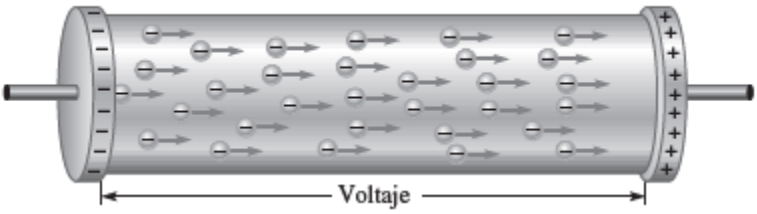


Figura 17: Los electrones fluyen de negativo a positivo cuando se aplica un voltaje a través de un material conductor o semiconductor.

El movimiento de estos electrones libres del extremo negativo del material al extremo positivo es la corriente eléctrica, simbolizada mediante I.

La corriente eléctrica es la velocidad que lleva el flujo de la carga.

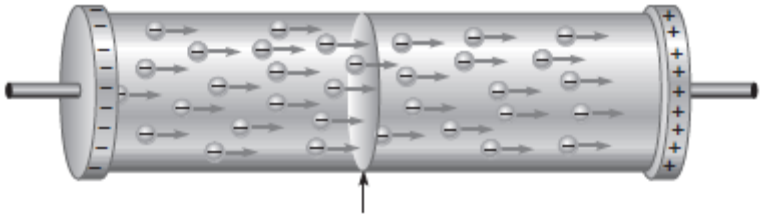
En un material conductor, el número de electrones (cantidad de carga) que fluyen más allá de cierto punto en una unidad de tiempo determinan la corriente.

$$I = \frac{Q}{t}$$

donde: I = corriente en amperes (A)
Q = carga en coulombs (C)
t = tiempo en segundos (s)

Un ampere (1 A) es la cantidad de corriente que existe cuando cierto número de electrones, cuya carga total es de un coulomb (1 C), pasa por un área de sección transversal dada en un segundo (1 s).

Recuerde que un coulomb es la carga transportada por 6.25 x10^{18} electrones.



Cuando cierto número de electrones que tienen una carga total de 1 C pasan por un área de sección transversal en 1 s, la corriente es de 1 A.

Figura 18: Ilustración de 1 A de corriente (1C/s) en un material.

Ejercicio: Diez coulombs de carga fluyen más allá de cierto punto en un alambre en 2 s. ¿Cuál es la corriente en amperes?

Ejercicio: Si 8 A de corriente circulan por el filamento de una lámpara, ¿cuántos coulombs de carga se mueven por el filamento en 1.5 s?

Fuentes de Voltaje y de corriente

Una fuente de voltaje proporciona energía eléctrica o fuerza electromotriz (fem), más comúnmente conocida como voltaje. El voltaje se produce por medio de energía química, energía luminosa y energía magnética combinadas con movimiento mecánico. Una fuente de corriente proporciona una corriente constante a una carga.

La fuente de voltaje

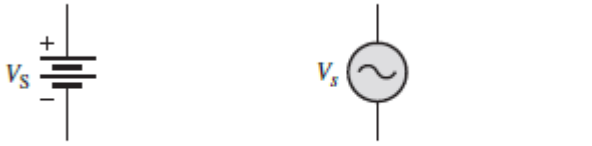
BIOGRAFÍA

Ernst Werner von Siemens
1816–1872

Siemens nació en Prusia. Mientras se encontraba en prisión por haber participado en un duelo, comenzó a experimentar con la química, esto lo llevó a inventar el primer sistema de electrodeposición o electrochapeado. En 1837, Siemens comenzó a hacer mejoras al incipiente telégrafo y contribuyó muchísimo al desarrollo de los sistemas telegráficos. La unidad de conductancia fue nombrada en su honor. (Crédito de la fotografía: AIP Emilio Segrè Visual Archives, E. Scott Barr Collection).

La fuente de voltaje ideal: Una fuente de voltaje ideal puede proporcionar un voltaje constante para cualquier corriente requerida por un circuito. La fuente de voltaje ideal no existe pero puede ser aproximada en la práctica. Se supondrá ideal a menos que se especifique lo contrario.

Las fuentes de voltaje pueden ser de cd o de ca. Un símbolo común para una fuente de voltaje de cd se muestra en la figura (a), y uno para una fuente de voltaje de ca lo indica la parte (b).



(a) Fuente de voltaje de CD (b) Fuente de voltaje de CA

Figura 19: Fuentes de voltaje

Una gráfica que muestra el voltaje contra la corriente para una fuente ideal de voltaje de cd recibe el nombre de característica V-I, y se ilustra en la figura 13. Como puede advertirse, el voltaje es constante para cualquier corriente (dentro de ciertos límites) generada por la fuente. En el caso de una fuente de voltaje práctica conectada en un circuito, el voltaje disminuye un poco a medida que se incrementa la corriente. Siempre se extrae corriente de una fuente de voltaje cuando a ésta se conecta una carga tal como una resistencia.

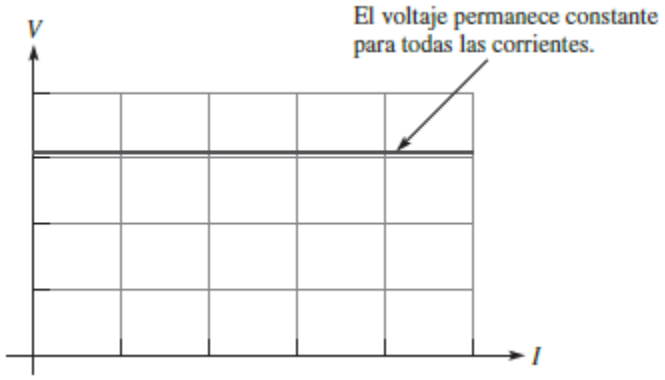


Figura 20: Característica V-I de una fuente de voltaje ideal.

Tipos de fuentes de voltaje de CD

Baterías

Una batería es un tipo de fuente de voltaje que convierte energía química en energía eléctrica. Una batería se compone de una o más celdas electroquímicas conectadas eléctricamente.

Una celda está constituida por cuatro componentes básicos: un electrodo positivo, un electrodo negativo, un electrolito, y un separador poroso. El electrodo positivo tiene deficiencia de electrones debido a una reacción química, el electrodo negativo tiene electrones en demasía debido a una reacción química, el electrolito proporciona un mecanismo para que fluya la carga entre los electrodos positivo y negativo, y el separador aísla eléctricamente los electrodos positivo y negativo. La figura 14 muestra un diagrama básico de una celda de batería.

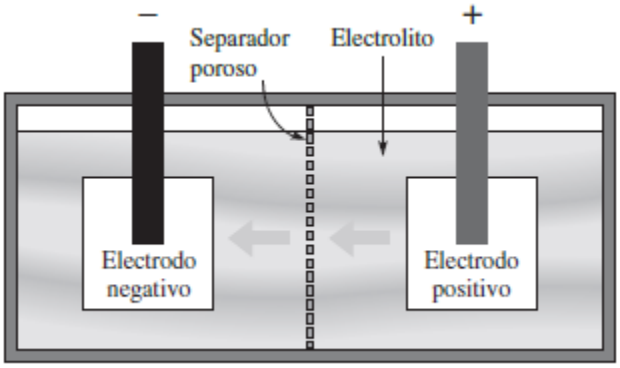


Figura 21: Diagrama de una celda de batería.

Los materiales utilizados en una celda de batería determinan el voltaje que se produce. En cada uno de los electrodos, la reacción química produce una potencial fijo. Por ejemplo, en una celda de plomo-ácido, en el electrodo positivo se produce un potencial de –1.685 V y en el negativo un potencial de +0.365 V. Esto significa que entre los dos electrodos de una celda el voltaje es de 2.05 V, lo cual es el potencial estándar en un electrodo de plomo-ácido. Factores tales como la concentración del ácido afectarán este valor hasta cierto grado, de modo que el voltaje típico de una celda de plomo-ácido comercial es de 2.15 V. El voltaje de cualquier celda de batería depende de la química de ésta. La celdas de níquel-cadmio son aproximadamente de 1.2 V, y las de litio pueden ser hasta de 4 V.

Aunque el voltaje de una celda de batería está determinado por su química, la capacidad es variable y depende de la cantidad de materiales presentes en la celda. En esencia, la capacidad de una celda es el número de electrones que puede ser obtenido de ella, y se mide por la cantidad de corriente que puede ser suministrada a lo largo del tiempo.

Las baterías se componen, por lo general, de múltiples celdas eléctricamente conectadas entre sí en su interior. La forma en que se conectan las celdas y su tipo determinan el voltaje y la capacidad de la batería. Si el electrodo positivo de una celda está conectado al electrodo negativo de la siguiente celda, y así sucesivamente, como se ilustra en la figura 2-15(a), el voltaje de la batería es la suma de los voltajes de las celdas individuales. Esto se llama conexión en serie. Para incrementar la capacidad de la batería los electrodos positivos de varias celdas se conectan entre sí, e igual se hace con todos los electrodos negativos, como se ilustra en la figura 15(b). A esto se le denomina conexión en paralelo. Además, utilizando celdas más grandes, y que por tanto tienen mayor cantidad de material, la capacidad de suministrar corriente puede ser incrementada pero el voltaje no se ve afectado.

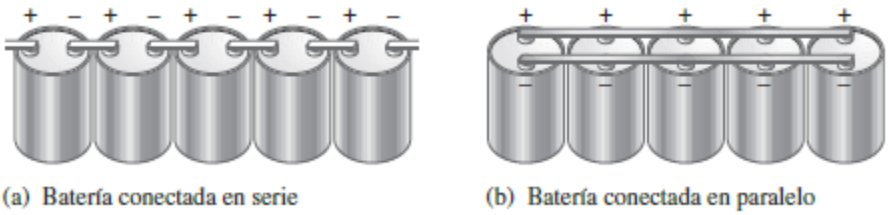


Figura 22: conexión en serie y paralelo de baterías

Las baterías se dividen en dos clases principales: primaria y secundaria. Las baterías primarias se utilizan una vez y luego se desechan porque sus reacciones químicas son irreversibles; las baterías secundarias pueden ser recargadas y reutilizadas muchas veces ya que se caracterizan por reacciones químicas reversibles.

Existen muchos tipos, tamaños y formas de baterías. Algunos de los tamaños más conocidos son AAA, AA, C, D y 9 V. También existe un tamaño menos común llamado AAAA, el cual es más pequeño que el AAA. Las baterías para instrumentos auditivos, relojes y otras aplicaciones en miniatura presentan, por lo general, una configuración plana y redonda y, a menudo, se conocen como baterías botón o baterías moneda. Las grandes baterías multiceldas se utilizan en linternas y aplicaciones industriales y, desde luego, está la conocida batería automotriz.

Además de los muchos tamaños y formas que presentan, generalmente las baterías se clasifican -de acuerdo con su composición química- como sigue. Cada una de estas clasificaciones están disponibles en varias configuraciones físicas.

- Alcalina-MnO2 Ésta es una batería primaria que se utiliza comúnmente en computadoras tipo palma de la mano, equipo fotográfico, juguetes, radios y grabadoras.
- Litio-MnO2 Es una batería primaria que se utiliza generalmente en equipo fotográfico y electrónico, alarmas contra humo, organizadores personales, respaldo de memoria, y equipo de comunicaciones.

- Zinc aire Batería primaria empleada a menudo en instrumentos auditivos, dispositivos de monitoreo médico, localizadores, y en otras aplicaciones que utilizan frecuencia.
- Óxido de plata Ésta es una batería primaria muy utilizada en relojes, equipo fotográfico, instrumentos auditivos y artefactos electrónicos que requieren baterías de alta capacidad.
- Híbridas de níquel-metal Batería secundaria (recargable) utilizada comúnmente en computadoras portátiles, teléfonos celulares, videograbadoras y otros aparatos electrónicos.
- Plomo-ácido Batería secundaria (recargable) que a menudo se utiliza en aplicaciones automotrices, marinas y similares.

Celdas solares

La operación de las celdas solares se basa en el efecto fotovoltaico, que es el proceso mediante el cual la energía luminosa se convierte directamente en energía eléctrica. Una celda solar básica se compone de dos capas de diferentes tipos de materiales semiconductores asociados para formar una unión. Cuando una capa se expone a la luz, muchos electrones adquieren la energía suficiente como para desprenderse de sus átomos padre y cruzar la unión. Este proceso forma iones negativos en un lado de la unión y positivos en el otro y, por tanto, se desarrolla una diferencia de potencial (voltaje). La figura 16 muestra la construcción de una celda solar básica.

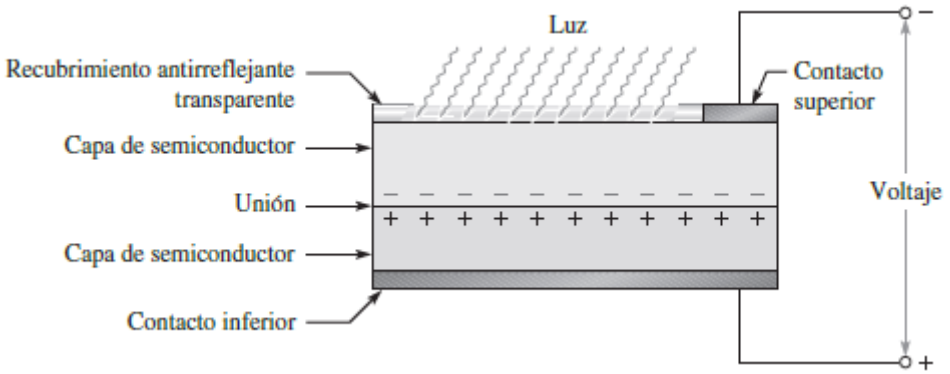


Figura 23: Construcción de una celda solar básica

Generador

Los generadores eléctricos convierten la energía mecánica en energía eléctrica por medio de un principio llamado *inducción electromagnética* Se hace girar un conductor a través de un campo magnético, y de este modo se produce un voltaje que pasa por el conductor. La figura 17 ilustra un generador típico.

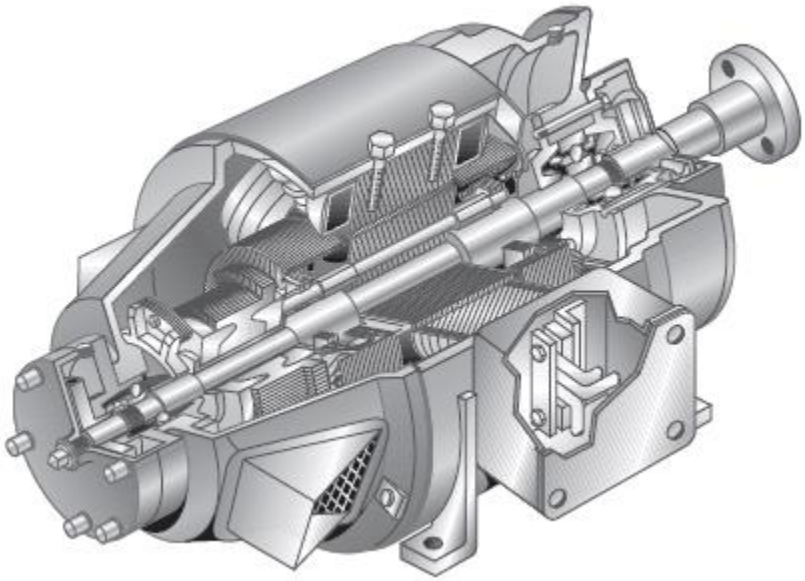


Figura 24: Vista de corte de un generador de voltaje de cd.

La fuente de potencia electrónica

Las fuentes de potencia electrónica convierten el voltaje de ca de una toma de corriente de pared en voltaje constante de cd que está disponible a través de dos terminales, como se indica en la figura 2-18(a). En la figura 2-18(b) se muestran fuentes de potencia comerciales típicas.

Termopares

El termopar es una fuente de voltaje tipo termoeléctrica utilizada comúnmente para detectar temperatura. Un termopar se forma por la unión de dos metales disimilares y su operación se basa en el efecto Seebeck, el cual describe el voltaje generado en la unión de los metales como una función de la temperatura.

Los metales específicos utilizados caracterizan los tipos estándar de termopar. Estos termopares estándar producen voltajes de salida predecibles en un intervalo de temperaturas. El más común es el tipo K, fabricado en cromel y alumel. Otros tipos también se designan mediante las letras E, J, N, B, R y S. La mayoría de los termopares están disponibles en forma de alambre o sensor.

Sensores piezoeléctricos

Estos sensores actúan como fuentes de voltaje y están basados en el efecto piezoeléctrico, en el cual se genera voltaje cuando un material piezoeléctrico es deformado mecánicamente por una fuerza externa. El cuarzo y la cerámica son dos tipos de material piezoeléctrico.

Se utilizan sensores piezoeléctricos en sensores de presión, de fuerza, acelerómetros, micrófonos, dispositivos ultrasónicos, y en muchas otras aplicaciones.

La fuente de corriente

La fuente de corriente ideal como se sabe, una fuente de voltaje ideal puede proporcionar voltaje constante para cualquier carga. Una fuente de corriente ideal puede proporcionar una corriente constante para cualquier carga. Al igual que en el caso de una fuente de voltaje, la fuente de corriente ideal no existe pero puede ser aproximada en la práctica. Se supondrá ideal a menos que se especifique lo contrario..

El símbolo utilizado para identificar una fuente de corriente se muestra en la figura 19(a). La característica I-V de una fuente de corriente ideal es una línea horizontal como la ilustrada por la figura 19(b). Observe que la corriente es constante para cualquier voltaje de la fuente de corriente.

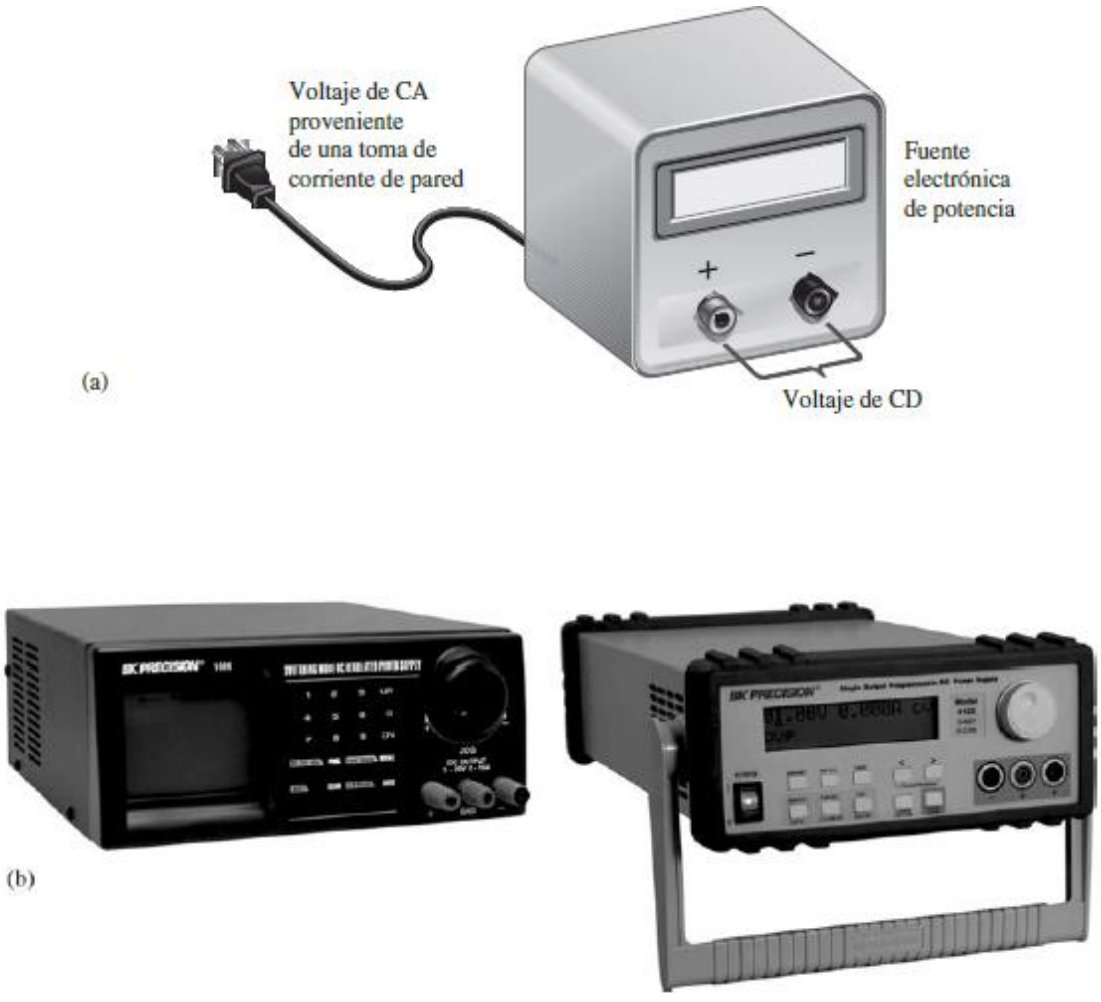


Figura 25: Fuentes electrónicas de potencia. (Cortesía de B+K Precision).

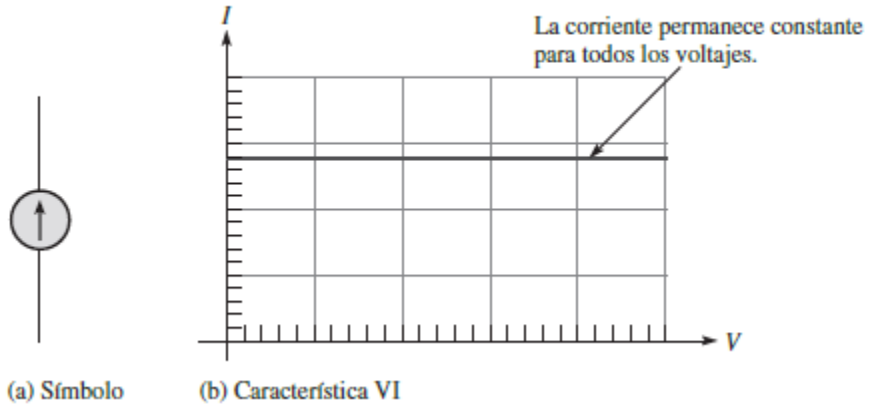


Figura 26: Fuente de corriente.

Fuentes de corriente reales

A las fuentes de potencia normalmente se les considera como fuentes de voltaje porque son la fuente más común que se encuentra en el laboratorio. Sin embargo, también las fuentes de corriente pueden ser consideradas como un tipo de fuente de potencia. En la figura 20 se ilustran fuentes de corriente constante comerciales típicas.

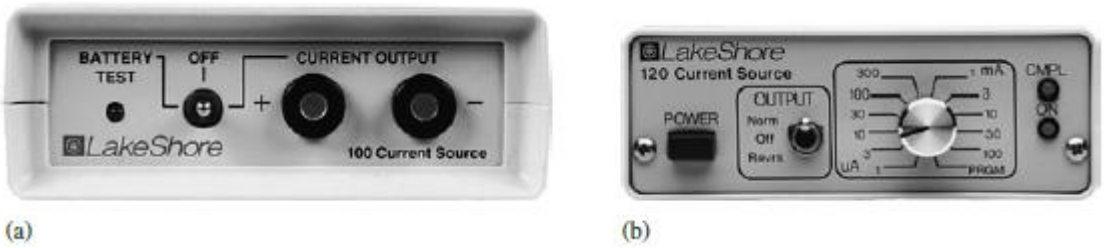


Figura 27: Fuentes de corriente comerciales típicas. (Cortesía de Lake Shore Cryotronics).

En la mayoría de los circuitos transistorizados, el transistor actúa como fuente de corriente porque una parte de la curva característica I-V es una línea horizontal como lo muestra la característica de transistor ilustrada en la figura 21. La parte plana de la gráfica indica dónde es constante la corriente del transistor dentro de un intervalo de voltajes. La región de corriente constante se utiliza para formar una fuente de corriente constante.

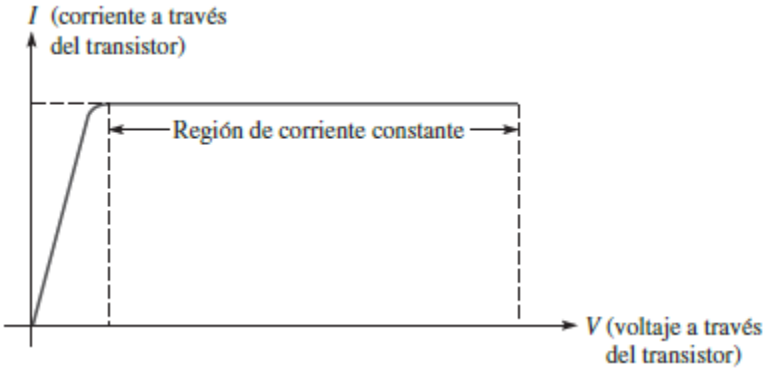


Figura 28: Curva característica de un transistor para mostrar la región de corriente constante.

Una aplicación común de una fuente de corriente constante se encuentra en los cargadores de batería de corriente constante, tal como se ilustra en forma simplificada en la figura 2-22. El rectificador es un circuito que actúa como fuente de voltaje de cd al convertir el voltaje de **ca** proveniente de una toma de corriente de pared estándar en un voltaje de **cd** constante. Ese voltaje es aplicado efectivamente en paralelo con una batería que va a ser cargada y en serie con una fuente de corriente constante. El voltaje de la batería inicialmente está bajo, pero con el tiempo se incrementa debido a la corriente de carga constante. El voltaje total a través de la fuente de corriente es el voltaje del rectificador menos el de la batería, el cual se incrementa conforme la batería se carga.

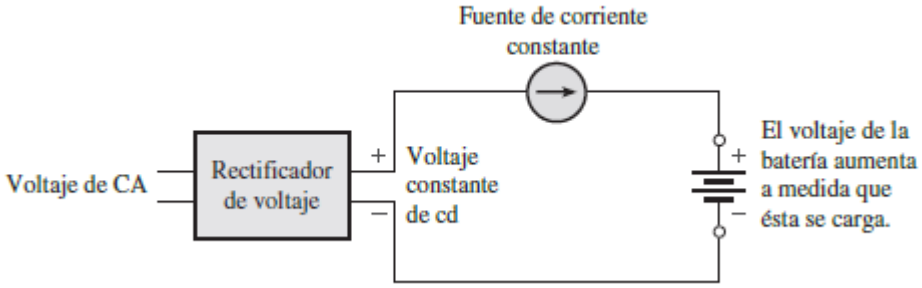


Figura 29: Cargador de batería como ejemplo de una aplicación de fuente de corriente.

Electrónica

Electrónica analógica y digital

La electrónica es una disciplina que estudia los sistemas eléctricos desde el punto de vista del electrón (partícula que gira alrededor del átomo con carga eléctrica negativa).

Mediante los componentes y circuitos electrónicos (diodos, transistores, condensadores, resistencias, amplificadores, osciladores, circuitos integrados, microprocesadores, memorias, etc.) es posible manejar a nuestro antojo el movimiento del electrón y conseguir múltiples aplicaciones, como por ejemplo: la radio, la televisión, los equipos de sonido, los ordenadores, los robots, la automatización industrial, los sistemas de control y gestión en el automóvil, los equipos de medida, etc.

La electrónica se puede dividir en dos grandes ramas:

- La electrónica digital
- La electrónica analógica

Figura 1.1. *La electrónica y sus aplicaciones.*

Figura 30

Señales analógicas

La electrónica analógica se fundamenta en el tratamiento y manejo de señales eléctricas de tipo analógico. Los fenómenos físicos que ocurren en nuestro entorno suelen variar de forma continua. Si tomamos como ejemplo un determinado sonido, este ira tomando diferentes valores de intensidad sonora según transcurre el tiempo.

Mediante un micrófono es posible transformar dicha señal sonora en una pequeña señal eléctrica, donde el nivel de tensión siga las mismas variaciones que el sonido, según cambia su volumen y su frecuencia. La señal eléctrica así obtenida será análoga a la señal de audio original y se la conoce como **señal analógica.** De esta forma conseguimos imitar con señales eléctricas las señales del mundo real.

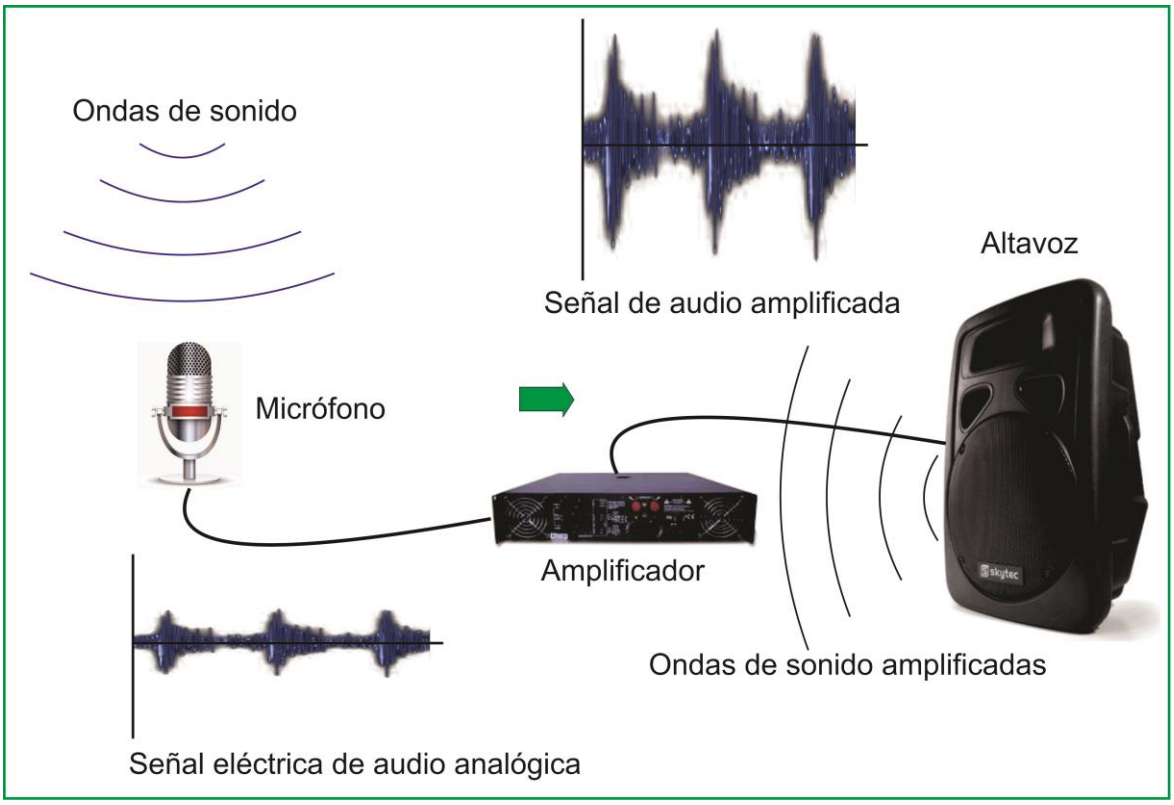


Figura 31

El sonido provoca la vibración de la membrana del micrófono, lo que hace que se genere una señal eléctrica analógica de muy poco nivel (en torno a unos pocos milivoltios); el amplificador de audio eleva dicho nivel (en torno a unos cuantos voltios) utilizando circuitos analógicos. La señal ya tiene suficiente nivel (volumen) para poder mover la membrana de un altavoz, donde obtenemos el sonido original captado por el micrófono pero con un volumen mucho mayor.

En conclusión se puede decir que una señal analógica es aquella que varía de forma continua, tal como lo hacen las magnitudes físicas en la naturaleza, como las variaciones del sonido, las de la luz, las de la temperatura, las de presión, el tiempo, etc.

Las señales analógicas toman un valor instantáneo diferente para cada fracción del tiempo considerado. Dado que en un determinado intervalo de tiempo existen infinitos valores (los podemos tomar todo lo pequeños que queramos), la señal eléctrica también alcanzara

infinitos valores en dicho intervalo. De esta forma, podríamos afirmar que una señal eléctrica analógica reproduce de forma fiel la magnitud física de la que proviene.

Nota: aunque la notación utilizada para la tensión, según el reglamento Electrónico de Baja Tensión, es U, en este texto se ha decidido utilizar la letra V para representar la tensión. Esta notación es la habitual en los sistemas electrónicos, y es la que normalmente aparece en las hojas de características de los componentes que los fabrican facilitan.

Señales digitales

Otra forma de tratar las señales eléctricas que vamos a procesar es convertirlas en números. La electrónica digital se fundamenta en el tratamiento y manejo de señales eléctricas de tipo digital. Las señales digitales son mucho más simples que las analógicas, ya que la información se procesa y codifica en dos únicos estados, tal como se muestra en la siguiente tabla.

1 er estado	**2 do estado**
1	0
Si	No
Verdadero	Falso
Nivel alto de tensión	Nivel bajo de tensión
5V	0V
Interruptor cerrado	Interruptor abierto

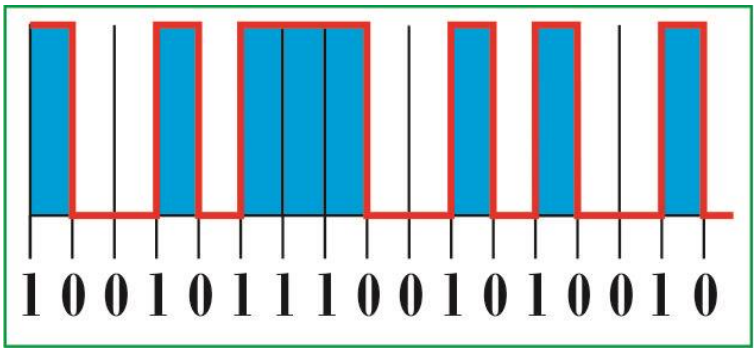


Figura 32: Proceso de conversión de una señal digital en una analógica

Estos dos estados se conocen como niveles lógicos y a cada uno se le asigna una cifra o digito, el **“1”** y el **“0”**; lo que da lugar a las señales digitales o binarias.

El término digital se comenzó a configurar con la llegada del código Morse, pudiéndose considerar como el primer método de transmisión de señales en formato digital.

En comparación con una señal analógica que varía de forma continua, la señal digital solo toma dos valores (uno y cero) en determinados intervalos de tiempo, por lo que se dice que toma un conjunto de valores discretos.

Así, por ejemplo, se podría digitalizar una señal eléctrica tomando su valor cada cierto tiempo (frecuencia de muestreo), a cada valor se le asigna una cifra digital en formato binario (cifras con unos y ceros). Este proceso se realiza con un conversor analógico digital (ADC), pudiéndose guardar dicha información en un soporte de tipo digital, como podría ser un disco óptico (DVD o CD ROM), disco duro, tarjetas de memoria, etc. La información así guardada consiste en una secuencia enorme de cifras digitales en formato binario, es decir unos y ceros, que contienen de forma codificada la señal analógica original.

En el ejemplo de la figura el sonido está grabado en formato digital en un disco compacto (CD). El reproductor de CD lee los datos digitales gracias a un sistema óptico basado en diodos láser. La señal digital obtenida consiste en una serie de interrupciones (unos y ceros) que surgen a gran velocidad. Si aplicásemos esta señal directamente a un altavoz, oiríamos un sonido parecido al que produce una fax o un modem telefónico. Las señales físicas son analógicas, y por tanto si deseamos transferir el sonido en formato digital a un altavoz, hay que convertirlas previamente a formato analógico mediante un decodificador o un convertidor digital-analógico (DAC). A la salida del DAC obtenemos una señal analógica que se corresponde con la señal eléctrica original del sonido. Esta señal se amplifica y ya es posible escucharla en un altavoz a gran volumen.

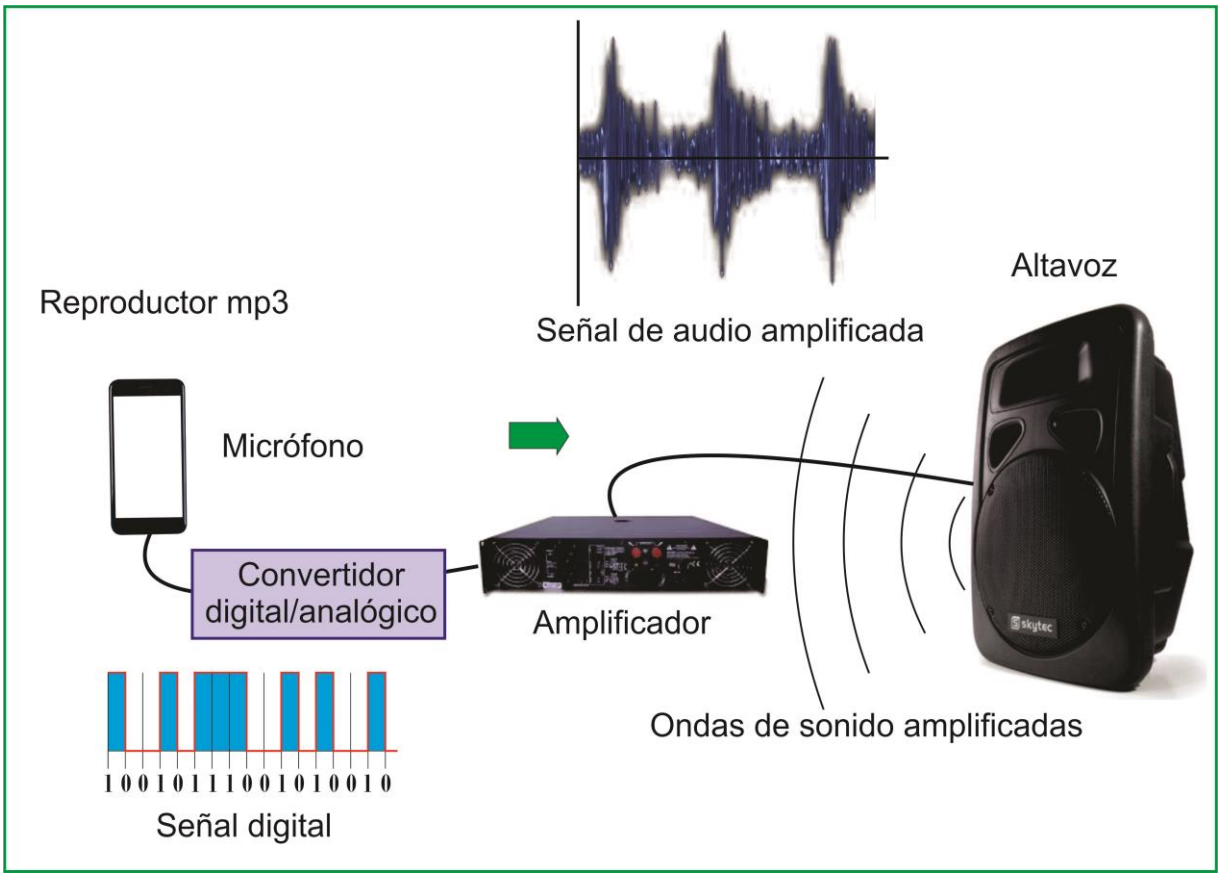


Figura 33: Proceso de conversión de una señal digital en una analógica.

La electrónica digital opera con números. La información está contenida en los números y no en la forma de la señal eléctrica. Una señal eléctrica siempre se puede convertir a números y, una vez procesada, recuperarse posteriormente.

En la figura 4 se muestra el proceso de digitalización de una señal de audio. Para ello se somete a la señal a una medida de su valor cada cierto intervalo de tiempo (muestreo). Para un digitalización a 8 bits, se asigna a cada muestra un código de 8 dígitos en función del valor que toma la señal en la muestra, consiguiendo 256 permutaciones de unos y ceros, empezando por 00000000 y terminando con 11111111. El resultado final es una señal digital con una enorme cantidad de secuencias de cifras binarias de 8 dígitos, que podremos almacenar en un soporte magnético (disco duro, tarjeta de memoria), óptico (CD-ROM, DVD), etc.

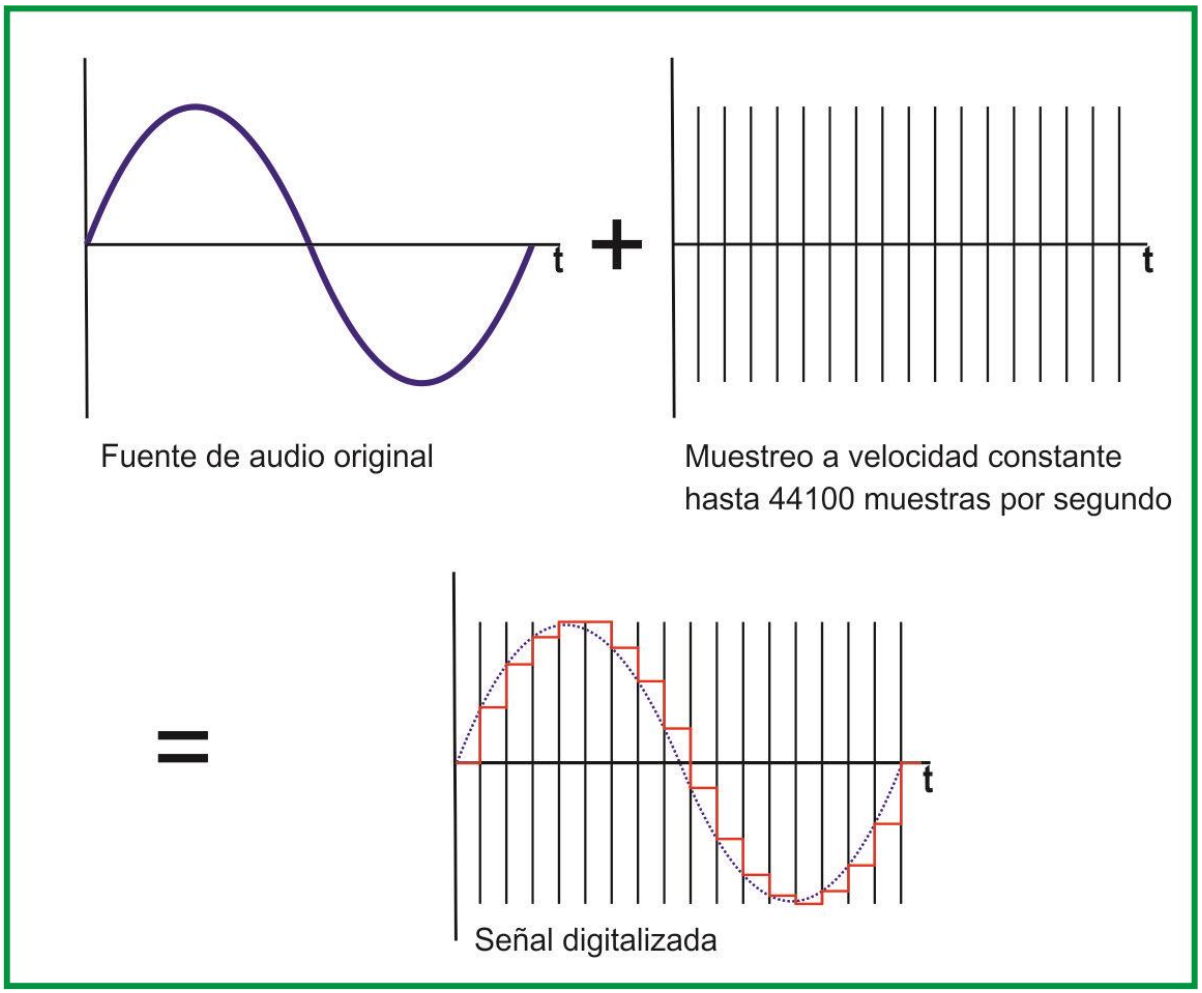


Figura 34: Proceso de digitalización de una señal

La gran ventaja de los sistemas digitales frente a los analógicos es que las señales digitales se pueden almacenar, procesar y transmitir en forma de dígitos o cifras. Esta información es mucho más difícil que se perturbe mediante interferencias. Así, por ejemplo, un receptor de televisión analógico es susceptible a recibir una imagen defectuosa debido a las interferencias de cualquier perturbación electromagnética como la atmosférica debido a las tormentas, ya que la señal analógica se puede ver modificada en su amplitud o frecuencia. Sin embargo, en la televisión digital (por ejemplo, la TDT), la señal que se transmite es una serie de cifras digitales formadas por unos y ceros (hay tensión, no hay tensión) y que aunque se modifique algo el valor de la tensión que se corresponde a un <<1>> en voz alta, seguirá también siendo un <<1>> en voz más baja, siempre y cuando se pueda oír. Por eso la televisión digital se suele ver bien, aunque existen pequeñas interferencias; cuando las interferencias aumentan la imagen desaparece a intervalos de la pantalla.

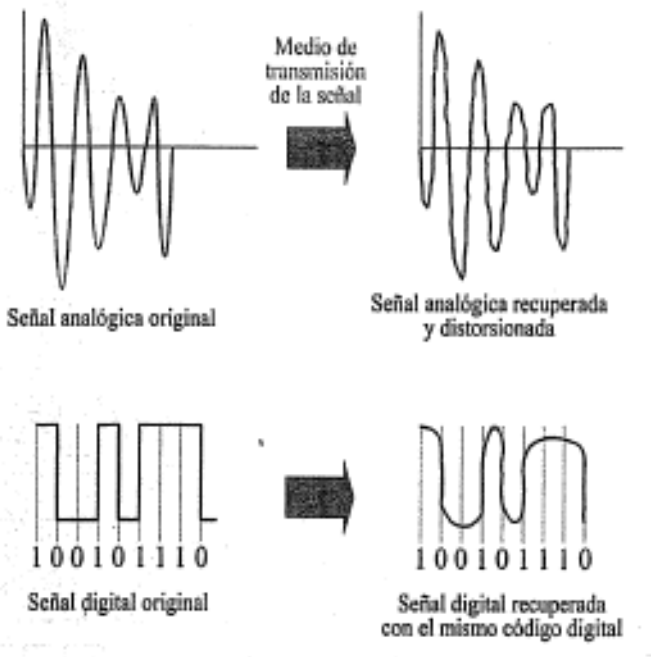


Figura 35: Distorsión de las señales analógica y digital.

Los circuitos digitales que se utilizan de forma repetitiva se pueden incluir o integrar en un solo componente o chip, pudiendo aportar muchas funciones en un espacio muy reducido y a un coste muy bajo. Además, los sistemas digitales pueden ser programables, lo que permite reconfigurar un mismo circuito de forma rápida solo con cambiar el programa.

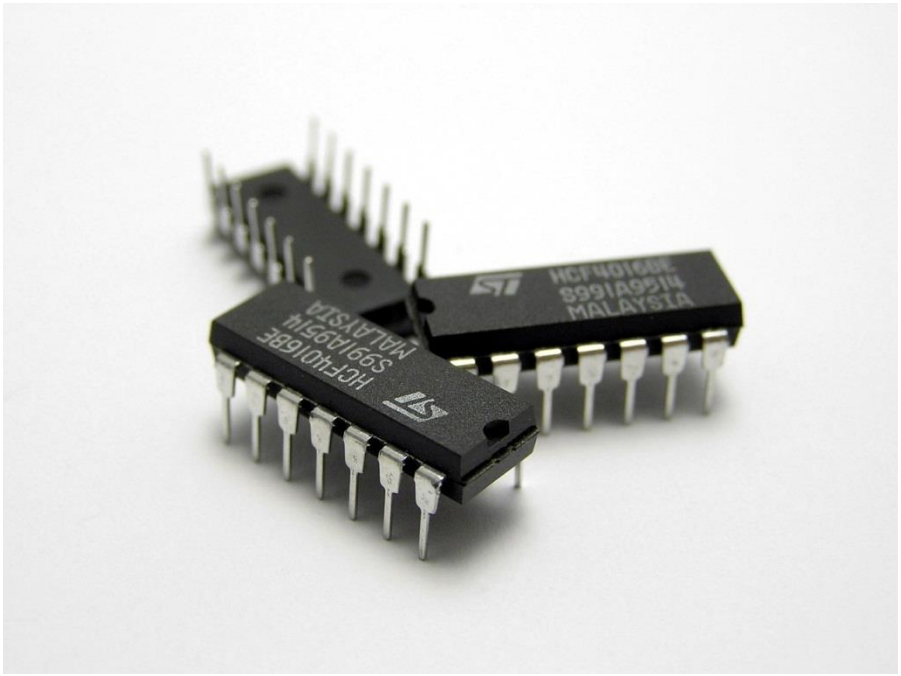


Figura 36: Circuitos integrados

Gracias a la electrónica digital, que opera con cifras binarias, se pueden realizar operaciones lógicas y aritméticas, que es la base para la construcción de autómatas, de los microprocesadores y los ordenadores.

Las posibilidades que ofrece el uso de la electrónica digital son cada vez mayores. Seguidamente exponemos algunas de sus aplicaciones.

- Calculadoras
- Ordenadores
- Escáner
- Automatización industrial y domestica
- Electrónica del automóvil
- Telefonía móvil
- Audio (MP3, CD, DVD, etc.)
- Televisión digital
- Fotografía digital
- Telecomunicaciones
- Internet
- Instrumentos de medida

Circuitos digitales	Circuitos analógicos
Siempre se reproducen exactamente los mismos resultados.	La salida puede variar con la temperatura, la tensión de alimentación, estado de los componentes, etc.
El diseño de circuitos lógicos es sencillo.	Para diseñar circuitos hay que realizar operaciones complejas y conocer muy bien sus componentes.
Se pueden programar para hacer que un mismo circuito pueda ser utilizado para varias funciones.	Los circuitos solo realizan la función para la que han sido diseñados.
Mayor facilidad de integración para circuitos repetitivos.	Coste más elevado de los circuitos.
Menor posibilidad de interferencias en las señales digitales.	Susceptible de sufrir interferencias de otros sistemas.
Facilidad de almacenamiento de la información en soporte magnético u óptico sin deterioro de la fidelidad de la señal, aunque se realicen muchas copias.	La información almacenada se va deteriorando, sobre todo si se realizan copias.

Componentes en electrónica

Resistencias

Un componente diseñado específicamente para que tenga cierta cantidad de resistencia se llama resistor. La aplicación principal de los resistores es limitar la corriente en un circuito, dividir el voltaje, y, en ciertos casos, generar calor. Aun cuando los resistores vienen en muchas formas y tamaños, todos pueden ser colocados en dos categorías principales: fijos y variables.

Resistores fijos

Los resistores fijos están disponibles con una gran selección de valores de resistencia establecidos durante su fabricación y que no son fáciles de cambiar. Se construyen utilizando diversos métodos y materiales. La siguiente figura muestra varios tipos comunes.

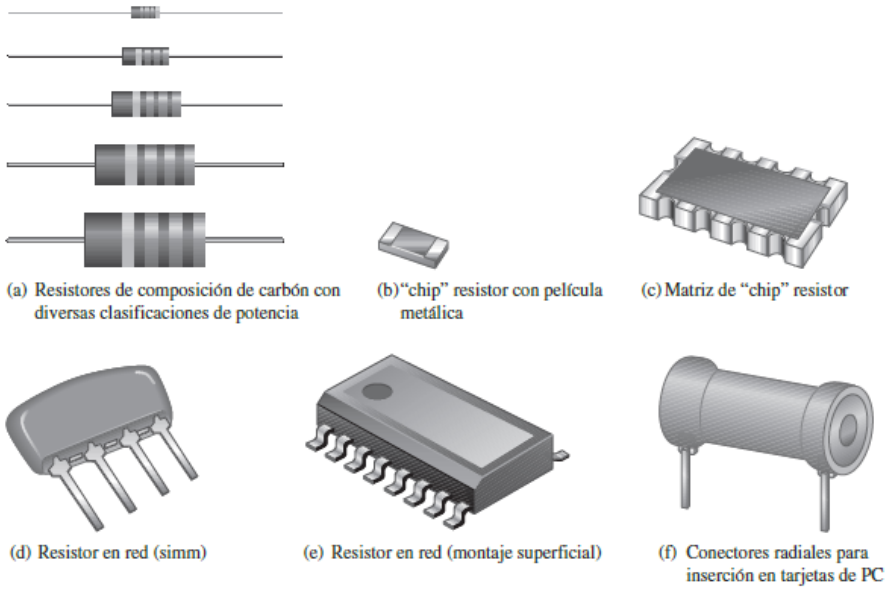


Figura 1

Un tipo común de resistor fijo es el de composición de carbón, el cual está hecho con una mezcla de carbón finamente pulverizado, un relleno aislante, y un aglutinante de resina. La proporción de carbón a relleno aislante establece el valor de resistencia. La mezcla se hace en forma de varillas, y se realizan las conexiones conductoras. Luego se encapsula todo el resistor en un recubrimiento aislado para protección. La figura 2 muestra la construcción de un resistor de carbón típico.

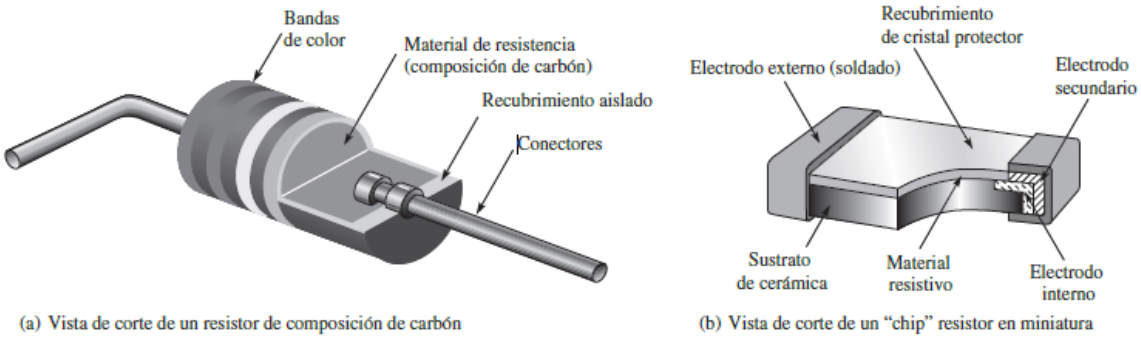


Figura 2 a - b

El "chip" resistor es otro tipo de resistor fijo y se encuentra en la categoría de componentes de tecnología de montaje superficial (SMT, por sus siglas en inglés). Tiene la ventaja de un tamaño muy pequeño para ensambles compactos. La figura muestra la construcción de un chip resistor.

Otros tipos de resistores fijos incluyen película de carbón, película metálica, y devanado de alambre. En los resistores de película, se deposita uniformemente una película resistiva (película de carbón) o de cromo níquel (película metálica). En estos tipos de resistor, el valor de resistencia deseado se obtiene al retirar una parte del material resistivo siguiendo un patrón helicoidal a lo largo de la varilla mediante una técnica de formación en espiral, como indica la figura 3 a.

Se puede lograr una tolerancia muy estrecha con este método. Los resistores de película también están disponibles en forma de redes de resistores, figura 3b.

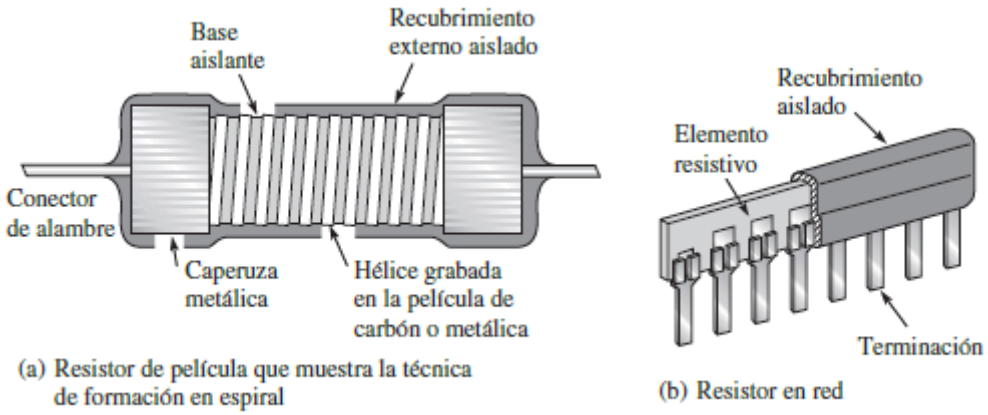


Figura 3 a - b

Los resistores devanados de alambre se construyen con un alambre resistivo devanado alrededor de una varilla aislante y luego se sellan. Estos resistores se utilizan, normalmente, en aplicaciones que requieren valores de potencia más altos. Como se construyen con una

aduja de alambre, los resistores devanados de alambre tienen una inductancia significativa y no se utilizan a frecuencias altas.

Códigos de color para resistores

Los resistores fijos con tolerancias de valor del 5 o el 10% se codifican mediante cuatro bandas de color para indicar el valor de resistencia y la tolerancia. Este sistema de bandas de código de color se muestra en la figura 2-27, y el código de colores aparece en la tabla 2-1. Las bandas siempre están cerca de un extremo.

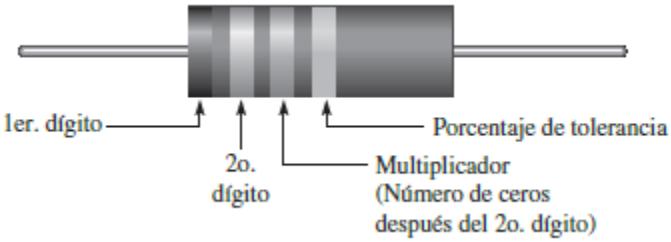


Figura 4

El código de colores se lee como sigue:

1. Inicie con la banda más cercana a un extremo del resistor. La primera banda es el primer dígito del valor de resistencia. Si no está claro cuál es el extremo más cercano a una banda, inicie por el extremo que no comience con una banda de color oro o plata.
2. La segunda banda es el segundo dígito del valor de resistencia.
3. La tercer banda es el número de ceros que van después del segundo dígito, o el multiplicador.
4. La cuarta banda indica la tolerancia en porcentaje y, por lo general, es de color oro o plata.

Por ejemplo, una tolerancia del 5% significa que el valor de resistencia real se encuentra dentro de ±5% del valor indicado por el código de colores. Por tanto, un resistor de 100 Ω con una tolerancia de ±5% puede tener un intervalo aceptable de valores desde un mínimo de 95 Ω hasta un máximo de 105 Ω.

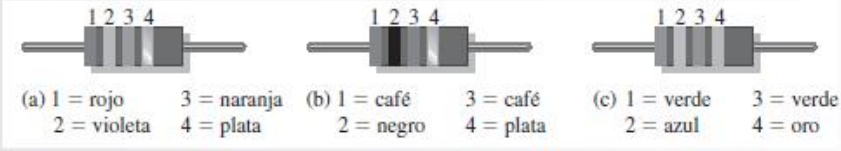
En el caso de valores de resistencia menores que 10 Ω, la tercera banda es de color oro o plata. El color oro representa un multiplicador de 0.1, y el plata representa 0.01. Por ejemplo, un código de colores rojo, violeta, oro y plata representa 2.7 Ω con tolerancia de ±10%. En el apéndice A se proporciona una tabla de valores de resistencia estándar.

PROFESOR TÉCNICO Y DE MATEMÁTICAS MELGAREJO EMANUEL

ELECTRÓNICA – 5° AÑO – EETP N° 285

	Dígito	Color
Valor de la resistencia, primeros tres dígitos: Primera banda-1er. dígito Segunda banda-2o. dígito Tercera banda-multiplicador (número de ceros después del 2o. dígito)	0	Negro
	1	Café
	2	Rojo
	3	Naranja
	4	Amarillo
	5	Verde
	6	Azul
	7	Violeta
	8	Gris
	9	Blanco
Cuarta banda-tolerancia	±5%	Oro
	± 10%	Plata

EJEMPLO 2–4 Encuentre el valor de resistencia en ohms y la tolerancia en porcentaje para cada uno de los resistores con código de colores mostrados en la figura 2-28. (Vea los valores en la columna de la izquierda).



(a) 1 = rojo, 2 = violeta, 3 = naranja, 4 = plata
(b) 1 = café, 2 = negro, 3 = café, 4 = plata
(c) 1 = verde, 2 = azul, 3 = verde, 4 = oro

▲ **FIGURA 2–28**

Solución

(a) La primera banda es roja = 2, la segunda es violeta = 7, la tercera es naranja = 3 ceros, y la cuarta es plata = tolerancia del 10%.

$$R = 27{,}000\ \Omega \pm 10\%$$

(b) La primera banda es café = 1, la segunda es negra = 0, la tercera es café = 1 cero, y la cuarta es plata = tolerancia del 10%.

$$R = 100\ \Omega \pm 10\%$$

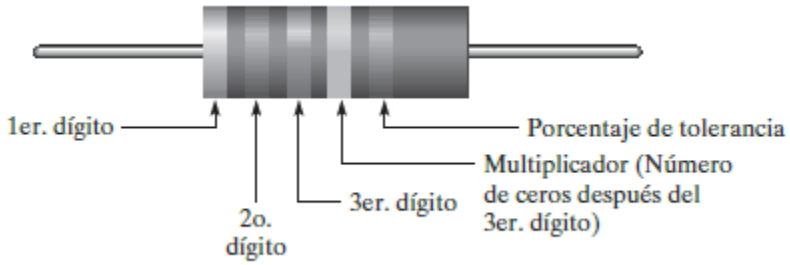
(c) La primera banda es verde = 5, la segunda es azul = 6, la tercera es verde = 5 ceros, y la cuarta es oro = tolerancia del 5%.

$$R = 5{,}600{,}000\ \Omega \pm 5\%$$

Problema relacionado Cierto resistor tiene una primera banda amarilla, una segunda violeta, una tercera roja y una cuarta oro. Determine su valor en ohms y su tolerancia en porcentaje.

Código de colores de cinco bandas

Ciertos resistores de precisión con tolerancias del 2%, 1% o menos se codifican, en general, mediante cinco bandas de colores, tal como indica la figura 2-29. Se inicia con la banda más cercana a un extremo. La primera banda es el primer dígito del valor de resistencia, la segunda es el segundo dígito, la tercera el tercer dígito, la cuarta es el multiplicador (número de ceros después del tercer dígito), y la quinta banda indica la tolerancia en porcentaje. La tabla 2-2 muestra el código de colores de 5 bandas.



	DÍGITO	COLOR
Valor de la resistencia, primeras tres bandas:	0	Negro
	1	Café
Primera banda-1er. dígito	2	Rojo
Segunda banda-2o. dígito	3	Naranja
Tercera banda-3er. dígito	4	Amarillo
Cuarta banda-multiplicador	5	Verde
(número de ceros después	6	Azul
del 3er. dígito)	7	Violeta
	8	Gris
	9	Blanco
Cuarta banda-multiplicador	0.1	Oro
	0.01	Plata
Quinta banda-tolerancia	±2%	Rojo
	±1%	Café
	±0.5%	Verde
	±0.25%	Azul
	±0.1%	Violeta

Banda de confiabilidad en resistores

En algunos resistores codificados con bandas de colores, una banda extra indica la confiabilidad de los resistores en un porcentaje de fallas por cada 1000 horas (1000 h) de uso. El código de colores de confiabilidad aparece en la tabla 1. Por ejemplo, una quinta banda café en un resistor con código de 4 bandas de color significa que si un grupo de resistores similares se pone a operar en condiciones estándar durante 1000 h, el 1% de los resistores de

dicho grupo fallará. Los resistores, así como otros componentes, deben ser operados sustancialmente por debajo de sus valores nominales para mejorar su confiabilidad.

COLOR	FALLAS DURANTE 1000 h DE OPERACIÓN
Café	1.0%
Rojo	0.1%
Naranja	0.01%
Amarillo	0.001%

Tabla 1

Los componentes y sus resistencias

Led ROJO 5 mm.
Una resistencia de 270Ω

Led BLANCO 5 mm.
Una resistencia de 180Ω

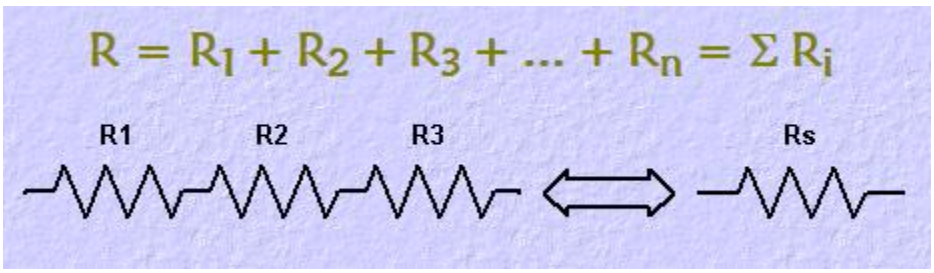
Fotoresistencia LDR 5 mm.
Una resistencia de 10Ω

Sensor infrarrojo TCRT5000
Al contar con dos LEDs necesita dos resistencias: una de 10Ω y otra de 330Ω

Led RGB 5 mm.
Necesita una resistencia por cada color (R, G, B): una de 270Ω y dos de 220Ω

Asociación de resistencias en serie

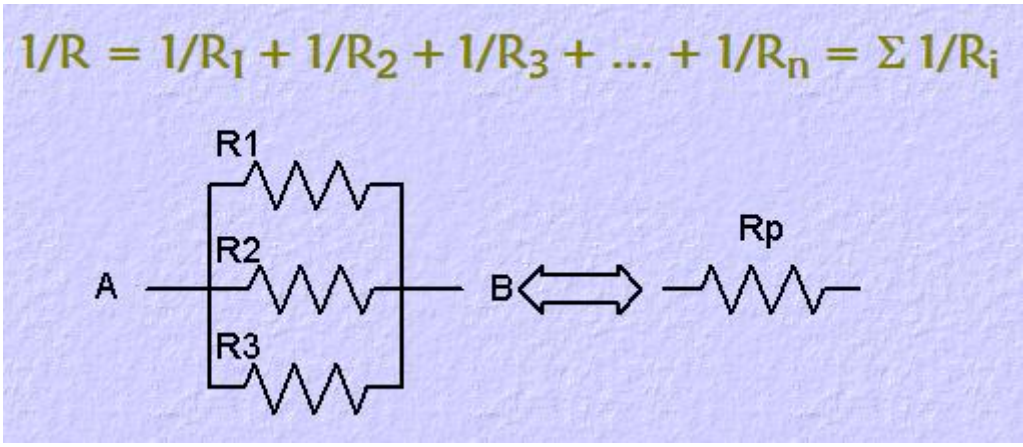
La resistencia equivalente a una asociación en serie es igual a la suma de las resistencias asociadas.



Asociación de resistencias paralelo

La inversa de la resistencia equivalente a una asociación en paralelo es igual a la suma de las inversas de las resistencias asociadas.

La resistencia equivalente siempre es menor que cualquiera de las individuales.



Inductores

La bobina o inductor por su forma (espiras de alambre arrollados) almacena energía en forma de campo magnético. El símbolo de una bobina / inductor se muestra en el gráfico:

El inductor es diferente del condensador / capacitor, que almacena energía en forma de campo eléctrico. Todo cable por el que circula una corriente tiene a su alrededor un campo magnético, siendo el sentido de flujo del campo magnético, el que establece la ley de la mano derecha (ver electromagnetismo – segunda ley de la mano derecha). Al estar el inductor hecho de espiras de cable, el campo magnético circula por el centro del inductor y cierra su camino por su parte exterior.

Una característica interesante de los inductores es que se oponen a los cambios bruscos de la corriente que circula por ellas. Esto significa que a la hora de modificar la corriente que circula por ellos (ejemplo: ser conectada y desconectada a una fuente de alimentación de corriente continua), esta intentará mantener su condición anterior.

Este caso se da en forma continua, cuando una bobina o inductor está conectada a una fuente de corriente alterna y causa un desfase entre el voltaje que se le aplica y la corriente que circula por ella.

En otras palabras:

La bobina o inductor es un elemento que reacciona contra los cambios en la corriente a través de él, generando un voltaje que se opone al voltaje aplicado y es proporcional al cambio de la corriente.

Inductancia, unidades

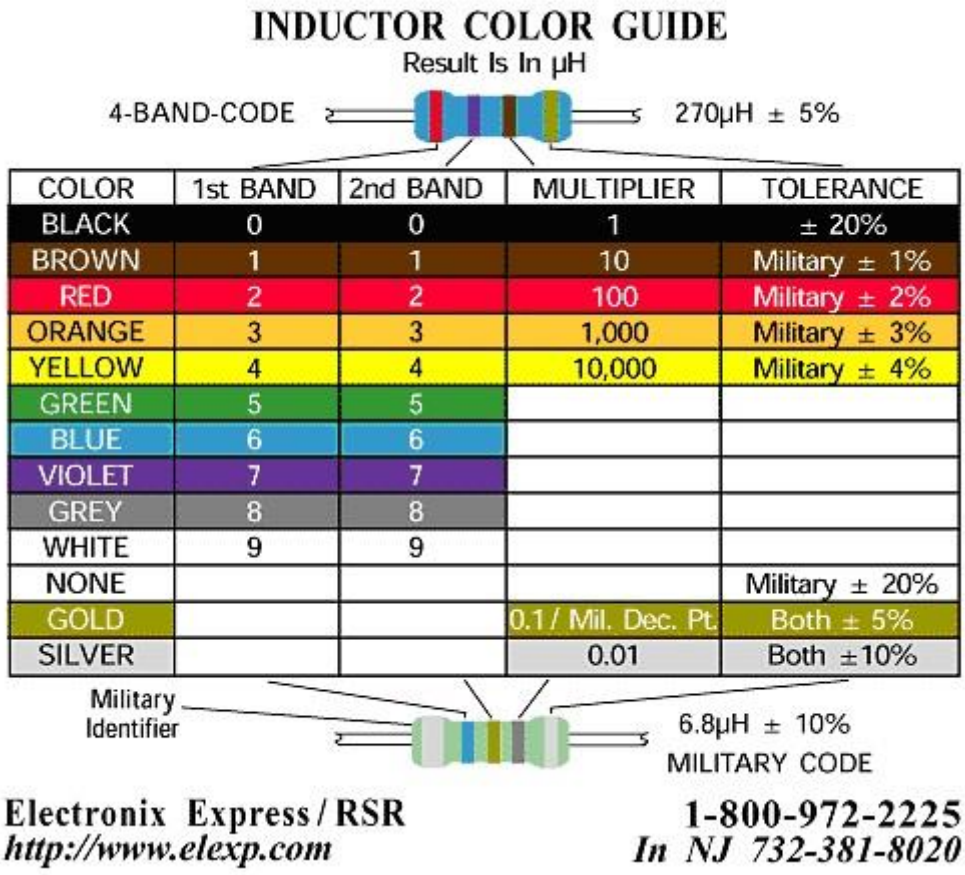
- La inductancia mide el valor de oposición de la bobina al paso de la corriente y se miden en Henrios (H), pudiendo encontrarse valores de MiliHenrios (mH). El valor depende de:
- El número de espiras que tenga la bobina o inductor (a más vueltas mayor inductancia, o sea mayor valor en Henrios).
- El diámetro de las espiras (a mayor diámetro, mayor inductancia, o sea mayor valor en Henrios).
- La longitud del cable de que está hecha la bobina.
- El tipo de material de que esta hecho el núcleo, si es que lo tiene.

Aplicaciones de una bobina / inductor

En los sistemas de iluminación con lámparas fluorescentes existe un elemento adicional que acompaña al tubo y que comúnmente se llama balastro

En las fuentes de alimentación también se usan bobinas para filtrar componentes de corriente alterna y solo obtener corriente continua en la salida

En muchos circuitos osciladores se incluye una bobina o inductor. Por ejemplo circuitos RLC serie o paralelo.



Condensadores

El condensador es un componente cuya función básica es almacenar carga eléctrica en cantidades limitadas, de manera que esta se pueda utilizar en ocasiones muy puntuales a modo de “fuente de alimentación alternativa”.

La capacidad (C) de un condensador es su característica más importante y se puede definir como la relación –normalmente de un valor constante– que existe entre la cantidad de carga eléctrica (Q) que almacena en un momento determinado y el voltaje (V) que se le está aplicando en ese mismo momento. Concretamente, se define así: C = Q/V.

De la fórmula anterior podemos deducir varias cosas: la primera es que un condensador con mayor capacidad que otro almacenará más carga bajo el mismo potencial. La segunda es que un condensador con una determinada capacidad almacenará más carga cuanto mayor sea el voltaje aplicado (aunque en este sentido hay que tener en cuenta que todo condensador tiene un voltaje de trabajo máximo que suele venir impreso en el cuerpo del propio condensador más allá del cual se puede dañar, por lo que siempre se tendrá un máximo de carga almacenable).

La capacidad se mide en faradios (F), aunque la mayoría de condensadores con los que trabajaremos tienen una capacidad mucho menor (del orden de los microfaradios o incluso

nanofaradios). Dependiendo del tamaño del condensador, puede ser que el valor de su capacidad no pueda ser serigrafiado tal cual sobre su cuerpo; en esos casos, se suele utilizar una secuencia de tres dígitos para indicar las dos primeras cifras del valor de la capacidad y luego su multiplicador. Por ejemplo, un condensador con el número "403" impreso, querrá decir que tiene una capacidad de

$$\mathbf{40 \cdot 10^3 = 40 \cdot 1000 = 40000\ pF}$$

También expresado como:

40 nanofaradios (nF)

0.04 microfaradios (µF)

Los capacitores cerámicos usan un código numérico de 3 dígitos:

- **Primeros dos dígitos: cifras significativas → 40**
- **Tercer dígito: número de ceros que se agregan → 3 → añade 3 ceros**

403 = 40 + 000 = 40,000 pF = 40 nF

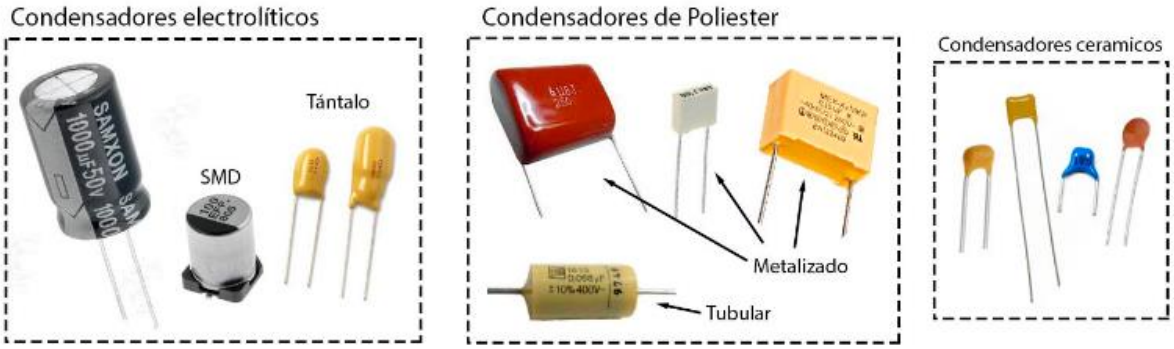
IMPORTANTE: *La **tolerancia** y el **voltaje de trabajo** del capacitor no están indicados por ese número. Para eso, debes revisar otras marcas en el componente o consultar la hoja de datos del fabricante.*

Los condensadores pueden ser conectados en serie o en paralelo para conseguir un circuito con una capacidad equivalente. En concreto, si dos condensadores (C1 y C2) se conectan en serie, la capacidad equivalente es C = (C1·C2)/ (C1+C2); es decir, menor que cualquiera de la de los condensadores individuales. Si los dos condensadores se conectan en paralelo, la capacidad equivalente es C = C1+C2; es decir, obtenemos una capacidad total mayor.

Un condensador completamente cargado, en circuitos de corriente DC, actúa como un interruptor abierto.

Podemos clasificar los tipos de condensadores según ***si tienen o no polarización***. Los condensadores polarizados son los que se han de conectar al circuito respetando el sentido de la corriente. Es decir, tienen un terminal "negativo" que siempre deberá conectarse al polo negativo del circuito, y otro terminal "positivo" que siempre deberá conectarse al polo positivo. Dicho de otra forma: su conexión se ha de realizar siempre en polarización directa. Es por ello que este tipo de condensadores no son válidos para ser usados en corriente alterna; de hecho, al conectarlos en polarización inversa son destruidos. Para distinguir un terminal del otro, podemos fijarnos en una franja pintada sobre el cuerpo del condensador, la cual indicará siempre el terminal negativo (de forma similar a lo que ocurre con los diodos). Otra pista que podemos usar para lo mismo es fijarnos en que el terminal negativo es más corto que el positivo (al igual que ocurre con los LEDs). Como características más reseñables, podemos decir que los condensadores polarizados tienen por norma una capacidad bastante

elevada (de un valor mayor de 1 microfaradio), y, teniendo en cuenta el modo de fabricación, suelen ser de tipo electrolítico (como el mostrado en la imagen) o de tantalio (o tántalo).



Los condensadores unipolares (no polarizados) pueden conectarse al circuito en ambos sentidos indiferentemente (al igual que las resistencias, por ejemplo). Pueden estar fabricados de muchos materiales, pero los más comunes son los de tipo cerámico (como el mostrado en la imagen). Por lo general, suelen tener una capacidad bastante menor que los condensadores polarizados.

Los condensadores muchas veces se utilizan en los circuitos para proporcionar la llamada "alimentación de desvío" o "desacople" (en inglés, "by-pass" o "decoupling"). Esta alimentación es necesaria cuando un componente que normalmente no requiere de mucha intensidad de corriente para funcionar, ha de realizar de forma puntual un consumo tan elevado de electricidad que la fuente de alimentación ordinaria no es capaz de ofrecerla con la celeridad suficiente. Esto normalmente ocurre cuando dicho componente (un microcontrolador, por ejemplo) pasa de estar en estado desactivado al de activado; en ese momento es cuando el condensador proporciona rápidamente la corriente transitoria necesaria al "soltar" la carga eléctrica que mantenía almacenada. Con este sistema de alimentación "alternativa", se logra dar una rápida respuesta al pico de consumo del componente mientras que la fuente de alimentación puede ir volviendo a cargar otra vez el condensador (a un ritmo menor) de cara al próximo pico. Para utilizar un condensador que realice esta función, uno de sus terminales ha de conectarse lo más cerca posible de la entrada de alimentación del componente a "gestionar" (cuanto más lejos, menor es el efecto) y el otro terminal a la tierra del circuito. Valores típicos de un condensador "by-pass" son 0,1 µF o 0,01µF.

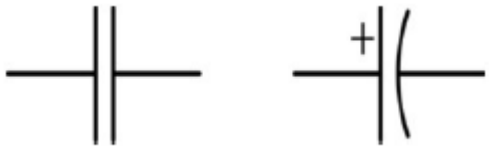
Otro uso muy frecuente de los condensadores es la eliminación del "ruido" de la señal de alimentación DC. Es decir, aunque una fuente sea etiquetada nominalmente como de 9 V, por ejemplo, en la realidad nunca ofrecerá esos 9 V exactos, sino que ese valor irá sufriendo variaciones más o menos amplias y aleatorias alrededor de su valor nominal. Por tanto, además de una alimentación DC tenemos siempre una pequeña alimentación AC alrededor de aquella. Dependiendo de la magnitud de esta alimentación AC (es decir, de las variaciones alrededor de los 9V del ejemplo), podríamos llegar a tener un problema en nuestro circuito, porque aparecerían efectos de corrientes de tipo AC que no deseamos. Un condensador es

capaz de estabilizar esas variaciones, permitiendo obtener de la fuente un valor de tensión más constante, gracias a que es capaz de regular convenientemente la carga que "suelta" o "acumula" en función del voltaje fluctuante al que es sometido.

Para utilizar un condensador que realice esta función de estabilización de la señal (los cuales se suelen llamar "condensadores de filtro"), uno de sus terminales se ha de conectar al borne positivo de la fuente de alimentación y el otro terminal se ha de conectar al borne negativo. Un valor típico de un condensador de filtro es 0,1 μF. A mayores frecuencias de corriente AC, se necesitan condensadores de menor capacidad. Incluso se pueden conectar varios condensadores en paralelo de diferente capacidad, para filtrar diferentes frecuencias.

Realmente, los condensadores son usados en multitud de aplicaciones: como baterías y memorias por su cualidad de almacenar carga, para realizar descargas rápidas (como la luz "flash" de una cámara fotográfica), para mantener corrientes estables (como por ejemplo las generadas por un rectificador), para evitar caídas de corriente puntuales en los circuitos (es decir, la función de "by-pass"), para aislar partes de un circuito (cuando están completamente cargados), etc.

Los símbolos utilizados en el diseño de los circuitos eléctricos para representar un condensador pueden ser dos:

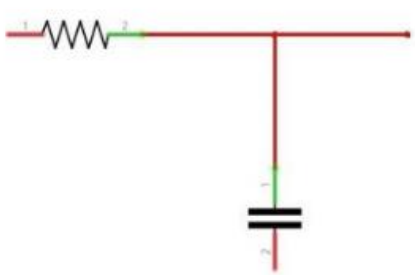


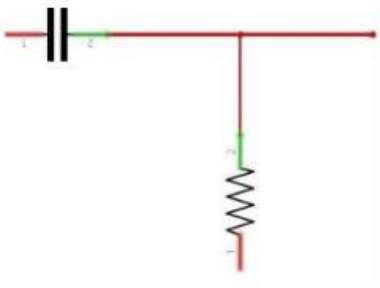
La representación de la izquierda es la de un condensador unipolar, y la de la derecha es la de un condensador polarizado. En este último, la línea recta simboliza el polo positivo (a veces el signo "+" se omite y/o la línea recta se pinta más gruesa) y la línea curva simboliza el polo negativo.

Filtros RC

Un filtro es un circuito que permite el paso de un conjunto de frecuencias, atenuando el resto. Su uso es fundamental en muchísimas aplicaciones. Por ejemplo, cuando sintonizas la radio, lo que estás haciendo es cambiar la capacitancia de un condensador variable (en las radios modernas se utilizan Varicaps, cuya capacitancia se puede alterar eléctricamente), con lo que modificas las frecuencias que pasan, permitiendo que se escuche una emisora u otra.

El diseño de filtros es toda una rama de la electrónica, así que no voy a extenderme mucho al respecto (en este post). Lo que debes saber es que con un condensador y una resistencia se pueden diseñar filtros sencillos (aunque no muy precisos).





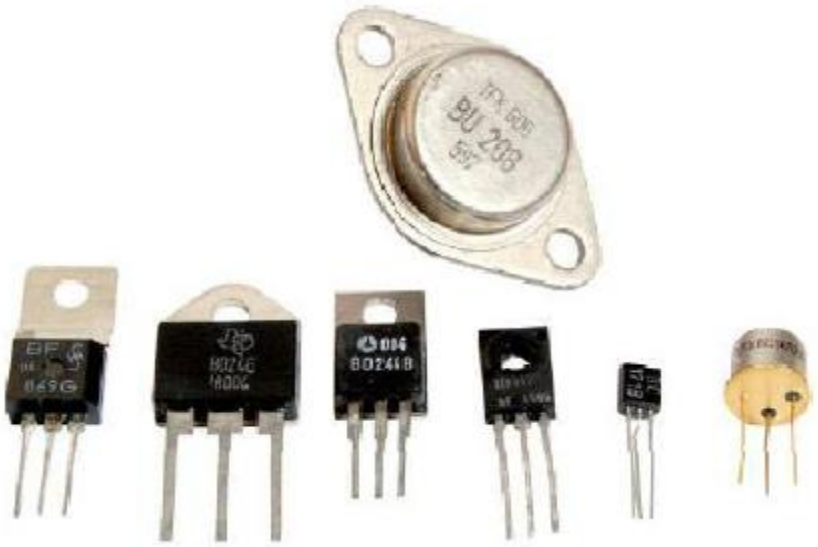
Si colocas una resistencia en serie y un condensador en paralelo consigues un filtro que permite el paso de las frecuencias bajas. Si cambias el condensador por la resistencia, permites el paso de las altas frecuencias.

Transistores

Como un buen ejercicio, podemos imaginar un transistor como un simple puente de tres pasos: con una entrada y dos salidas, o dos entradas y una sola salida. El transistor se comporta como un regulador. En electrónica, todos reconocemos los bits como una instrucción simple de 1 y 0, entrada y salida, abierto o cerrado; este concepto es el que jamás debemos olvidar al estudiar los transistores.

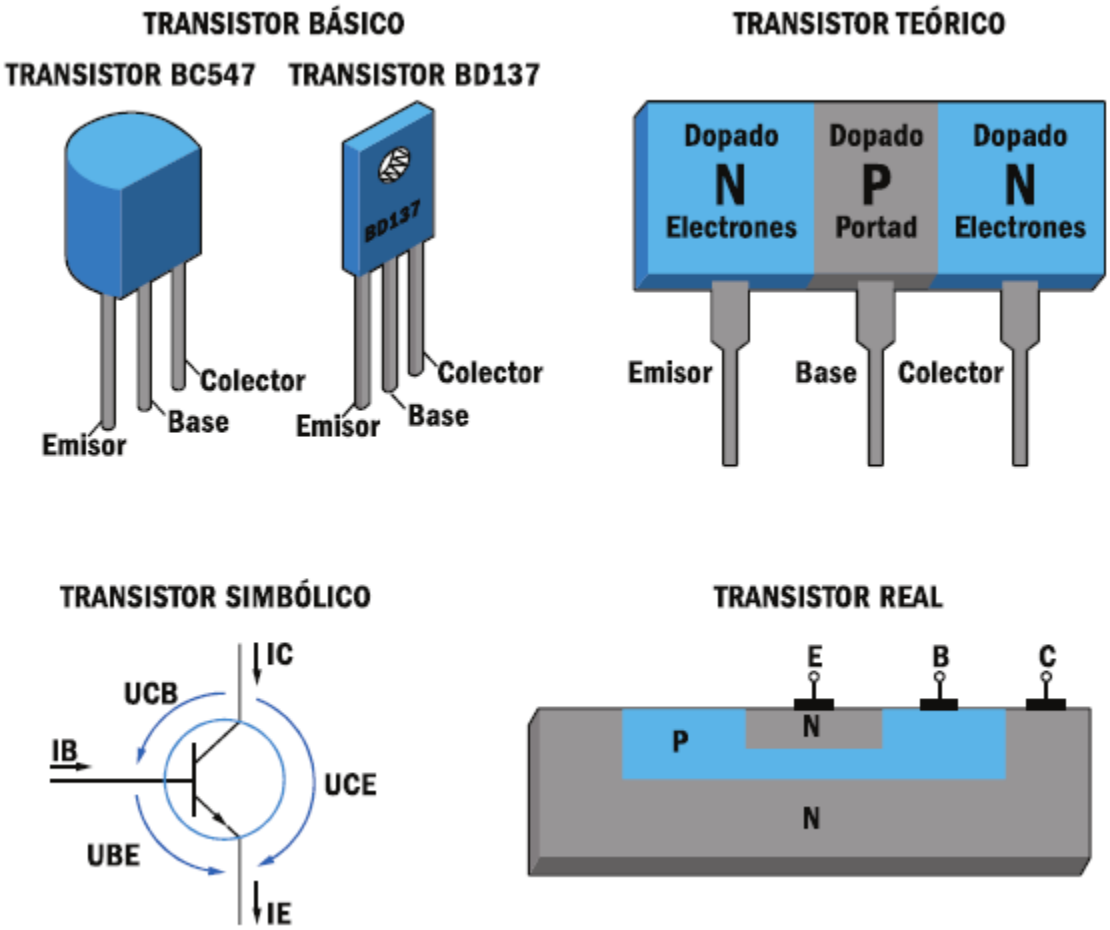
Transistor bipolar

Alrededor del 1947, en los laboratorios de Bell de la AT&T, se fabricó un dispositivo de tres terminales que funcionaba como un conmutador de estado solido (un solo componente), al que denominaron ***transistor bipolar*** (transfer Resistor; resistencia a la transferencia). Fue inventado por los ganadores del Premio Noble de Física John Bardeen, Walter Houser Brattain y William Bradford Shockley. Este reemplazo directamente a la válvula de vacío (tambien conocida como valvula temoiónica) que estaba presente en la mayoria de los componentes electronicos de la época.



Transistores bipolares

Transistor representado en todas sus formas: físicamente, cómo se entiende, cómo se debe leer electrónicamente y como se construye.



Un transistor es un dispositivo electrónico fabricado a partir de materiales semiconductores que cumple la función de permitir o impedir el paso de señales electrónicas a partir de una señal de mando, y funciona como elemento amplificador de señal. En su origen, se conocía que el contacto de un alambre metálico y el sulfuro de plomo II (galena) permitían el paso de la corriente en una sola dirección (que conforma el funcionamiento de un diodo), pero se necesitó incorporar luego una rejilla, el tercer electrodo, que funciona como un amplificador. Para conseguir este efecto, fue necesario modificar la conductividad de los semiconductores, utilizando el principio de niveles de energía de las átomos para controlar los materiales. De este modo, se lograron los materiales conocidos como tipo N y tipo P.

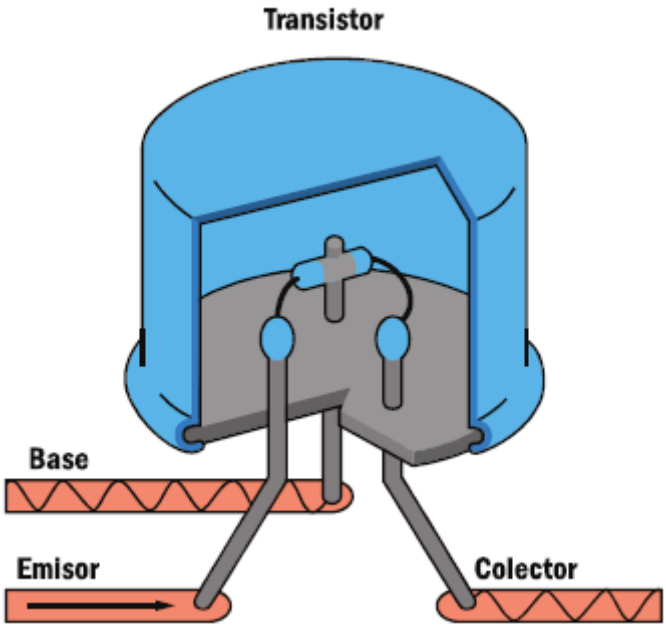
Los diodos son construidos a partir de la unión de materiales N y P; el transistor de PNP o NPN también es llamado ***triodo.***

A partir de los transistores, surgieron los transistores de efecto de campo (FET, Field Effect Transistor), que funcionaban a partir de un campo eléctrico que se establecía en un canal. Posteriormente, fueron mejorados con un semiconductor de óxido-metal denominado MOSFET (Metal Oxid Semiconductor Field Effect Transistor), que permitio la

miniaturización primordial para crear los circuitos integrados. En la actualidad, se utilizan los CMOS (Complementary MOS) que son la aplicación de dos MOSFET distintos.

Para un transistor convencional, vamos a encontrar un encapsulado o sustrato, por lo general, de cristales de silicio y tres segmentos (también denominados terminales) unidos entre sí: Emisor (E), Base (B) y Colector (C), cada uno dopado en distintas cantidades. El emisor tiene un dopaje mucho más alto que la base y rodea la región del emisor para que los electrones inyectados en la base no se escapen de ella; la base tiene un dopaje mayor que el colector, esta físicamente localizada entre el colector y el emisor, apenas dopado y posee una alta resistividad.

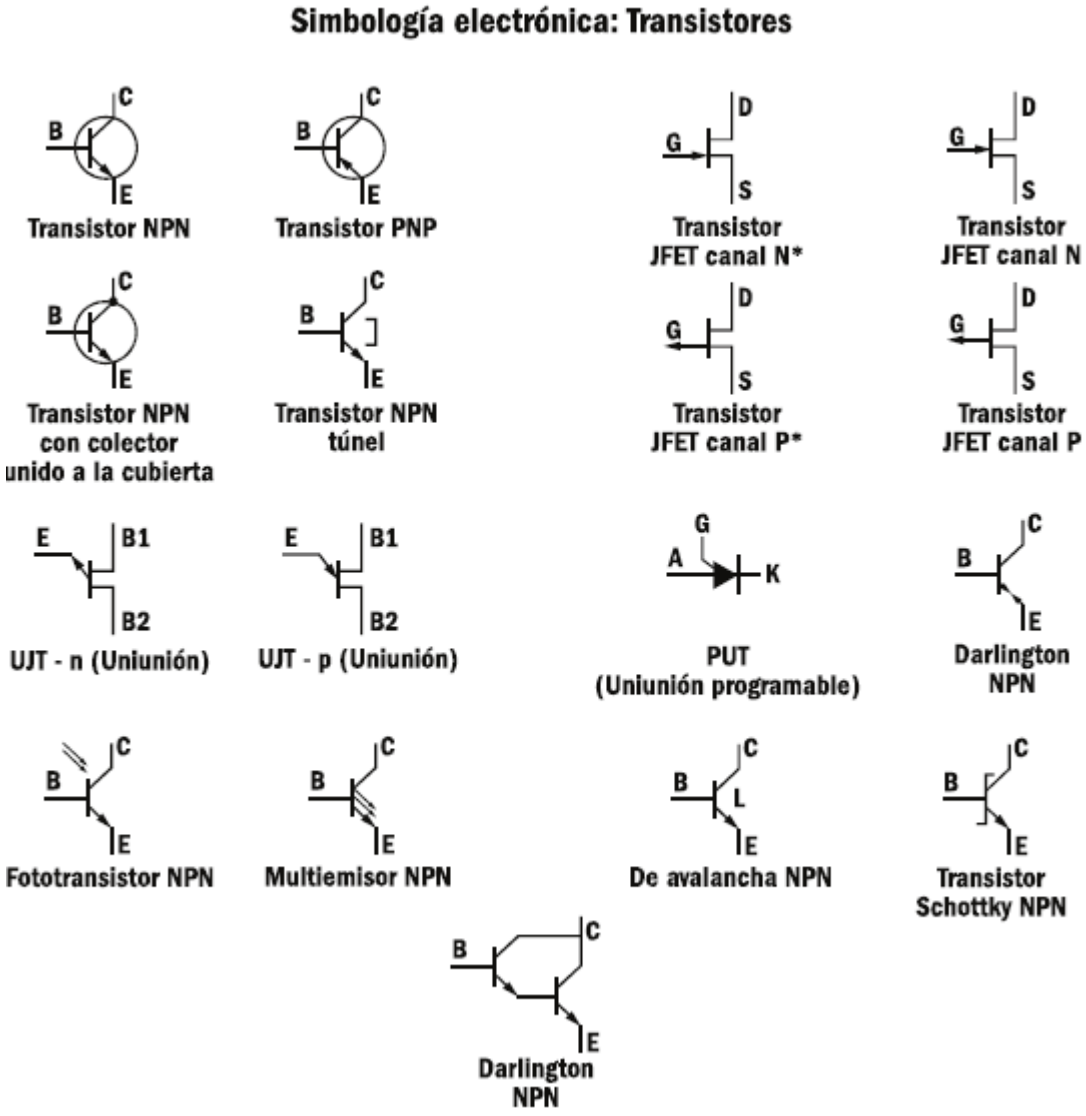
Interior de un transistor circular: Se puede observar la base de pequeño tamaño que controla al colector y al emisor.



El dopaje asignado es una contaminación intencional que se le realiza al material en cantidades específicas, con el fin de obtener un comportamiento deseado. El material dopado con estas cantidades obtiene propiedades eléctricas específicas, aumentando el número de portadores de carga libre. Para materiales tipo N, los portadores de carga son los electrones; para los materiales tipo P, los portadores son huecos que equivalen a cargas positivas. La unión de ellos produce los diodos. Para el transistor, el emisor emite portadores (huecos), el colector los recolecta, y la base modula el paso de los portadores. Mediante este funcionamiento, obtenemos un dispositivo que, controlado por corriente, consigue una nueva corriente amplificada.

"Se utilizan transistores como amplificadores analógicos de señal"

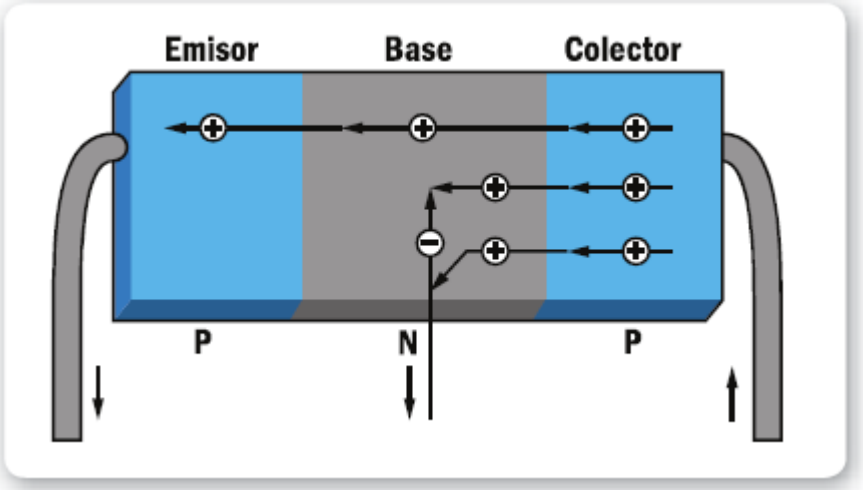
Simbología de transistores en todos sus usos: Cuando se diseñan circuitos electrónicos, es importante diferenciarlos unos de otros.



Funcionamiento

Un transistor funciona mediante la polarizacion adecuada de sus conexiones. Se utiliza corriente continua para que este cumpla su funcion; se situa una fuente de corriente entre PN (base-emisor), polarizada directamente, y, en la otra unión NP (base-colector), polarizada directamente, y, en la otra unión NP (base-colector), polarizada inversamente. Cuando la tension de la base-emisor supere los 0,7 V (barrera mínima), tendremos el transistor polarizado y, por lo tanto, funcionara de manera correcta, es decir, el transistor tendra la capacidad de conducir corriente desde la terminal colector hasta la terminal emisor.

Esquema del principio de funcionamiento de los transistores al paso de los electrones y los portadores, con los sentidos de circulación.



La corriente que circula por el colector es función amplificada de lo que finalmente pasara por el emisor y esta graduada por la corriente aplicada en la base y por la ganancia propia del transistor. Debido a la agitación térmica, los portadores del emisor atraviesan la barrera potencial entre el emisor-base y llegan a la base, donde son impulsados por el campo magnético que existe entre la base y el colector.

Cuando una tensión positiva se aplica entre emisor y base, se rompe el equilibrio entre los portadores generados térmicamente, y el campo eléctrico repelente de la región agotada se desbalance permitiendo que los electrones excitados térmicamente circulen a la base. Los electrones circulan por la base desde la región rica de portadores del emisor hasta la región pobre del colector. Los electrones que circulan por la base son llamados portadores minoritarios, ya que la base esta dopada con material P. la base es delgada, en comparación al colector y al emisor, debido a que es necesario que los portadores de esta puedan difundirse a gran velocidad y evitar que se recombinen antes de alcanzar la unión base-colector.

La ganancia de un transistor se conoce como beta (β), y funciona como amplificador logrado entre la corriente del colector y la corriente de la base. El beta es una constante que depende de cada transistor, que puede valer entre 50 y 300 (según el modelo y la aplicación puede llegar a 1000 o más), y nos da una idea de cuál es la capacidad de amplificación de corriente. A mayor ganancia o beta, mayor es la capacidad de amplificación de la corriente. Podemos advertir, entonces, que la corriente que circula por el colector es proporcional a la corriente aplicada en la base.

Existe otro parámetro denominado ganancia de corriente de base común (α) que se toma, según el transistor, a la ganancia de corriente desde el emisor al colector en la región activa directa (interruptor cerrado o pase libre). Su valor es aproximadamente cercano a la unidad y oscila entre 0.98 y 1. La relación entre ambos se da:

$$\propto = \frac{Ic}{Ie} \; ; \; \beta = \frac{Ic}{Ib}$$

Matematicamente, analizamos que: llamamos **Ie** a la corriente del emisor, Ic a la corriente del colector e ***Ib*** a la corriente de la base.

Si ***Ie = Ic + Ib***, la corriente aplicada en la base es muy pequeña, por lo que ***Ie=Ic*** (aproximadamente) se corrige mediante ***Ie=βIb***.

Mediante esta expresión, podemos obtener diversos estados:

- **Estado activo:** en este caso, circula corriente, y nuestro **β** es distinto de 0. Nuestro transistor amplifica la señal por el valor de **β**. Si **β=100**, la corriente del emisor **Ie = 100 Ib**; la corriente del emisor **Ie =100 Ib**; o sea, amplifica 100 veces. En este estado, la corriente de la base, del β y de las resistencias conectadas entre el emisor y el colector.
- **Estado inverso:** se invierten las condiciones de polaridad del estado activo. En este estado, las regiones del colector y del emisor invierten su funcionamiento. No maximiza el potencial del transistor.
- **Estado de corte**: si la corriente de base Ib=0, la expresión resulta en Ie=0 sin importar el valor de β, por lo que no conduce corriente y se considera el transistor como una llave abierta, sin paso.
  La tensión entre los terminales es la misma que la de alimentación; al no haber corriente circulando, no hay caída de tensión.
- **Estado de saturación**: cuando la corriente de base alcanza un valor muy alto para el transistor, la expresión no se cumple ya que, por más que Ib aumente, no aumentara la **Ic, e Ic=Ie=Imáx.**
  Se dice que el transistor está saturado, ya que no puede amplificar más la señal, y toda la corriente aplicada en el emisor circula por el colector como un interruptor cerrado (paso total).

En la electrónica analógica, se utiliza el estado activo ya que permite una amplificación de señal en varios puntos. Mientras que los estados de saturación y corte son útiles para electrónica digital, ya que representan los dos estados fundamentales: abierto y cerrado (1 y 0).

Estructura

Los transistores estructuralmente poseen sus tres regiones no simétricas, por lo que intercambiar el emisor con el colector implica que deje de funcionar de modo activo y funcione en modo inverso, ya que son construidos y optimizados para funcionar en modo activo, disminuyendo el β. La falta de simetría se debe a la tasa de dopaje entre emisor (altamente dopado) y colector (ligeramente dopado).

Se provee de un emisor altamente dopado para aumentar la eficacia de entrega de portadores en comparación con la base, que no debe influir mucho en la operación. De esta manera, obtenemos una gran ganancia de corriente siempre que los portadores inyectados provengan

del emisor. Existen transistores simétricos utilizados en CMOS que representan bajos desempeños, debido a que no hay diferencia entre la operación en modo activo o inverso.

La corriente que circula entre el emisor y el colector puede ser controlada por la corriente o la tensión base-emisor, ya que ambas están ligadas en su funcionamiento y se describen en curvas de funcionamiento.

Dependiendo del dopaje a las capas del transistor, podemos configurarlo como NPN o PNP, donde la base siempre estará representada por la letra del medio. La configuración NPN se caracteriza por ser la más utilizada actualmente. N y P hacen referencia a los portadores de carga mayoritarios dentro de las distintas capas del transistor; en ellas y en esta configuración, los electrones poseen mayor movilidad que los huecos, permitiendo mayores corrientes y velocidades de funcionamiento. La configuración PNP es poco usada, ya que su desempeño no es muy eficiente. Posee una capa dopada N y dos capas dopadas P, y son conectadas, mediante el colector a más y el emisor, a la terminal positiva de la fuente de corriente. Al excitar la base mediante una pequeña corriente se logra una corriente mayor desde el emisor al colector.

A partir de las necesidades de generar un modelo lineal para analizar circuitos electrónicos con transistores, se plantearon diversos modelos matemáticos para analizarlos. Entre estos modelos, encontramos el de Ebers y Moll, el de parámetros h y π que represente al transistor bipolar genérico y con cualquier tipo de polarización. Sin embargo, su modelo no lineal hace que cualquier circuito que se pretenda analizar utilice soluciones numéricas y cálculos con ordenador. Sin embargo, si se utiliza un punto de operación dado y una zona básica de funcionamiento, es posible restringir las variables y, de esta manera utilizar un modelo lineal que facilite el análisis de los circuitos.

El modelo Ebers y Moll se usaba previo a las aplicaciones computacionales. Se utiliza hoy para los transistores bipolares y puede ser utilizado en todos sus estados. Aplica los principios de dos diodos ideales y dos fuentes, cada diodo representa la unión emisor-base y base colector. Las fuentes de energía son las responsables de hacer circular los portadores a los huecos.

Más allá de sus variantes y modelos los transistores son utilizados, por lo general, en proyectos de pequeña escala para demostrar su funcionamiento, como los amplificadores de voz, que utilizan un micrófono o una salida de audio de baja intensidad. Se alimenta el emisor con una señal, luego se la potencia excitando la base y tomando como salida al colector. Este proceso es repetido varias veces para modular el funcionamiento.

En la electrónica de precisión, comúnmente llamada electrónica digital, los transistores son utilizados como llaves de paso; se los somete a estados de corte y de saturación para simular el comportamiento de puertas o interruptores abiertos y cerrados, gracias a una señal de saturación en la base.

Todos estos combinados logran darles la máxima utilidad a estos componentes, presentes en todos los dispositivos actuales.

Transistor de efecto de campo

Antes de la creación de los transistores bipolares, fueron inventados los transistores de efecto de campo, pero no se les encontró utilidad o aplicación inmediata hasta el desarrollo de los transistores bipolares. Recién décadas después de estos, se empezaron a desarrollar y aplicar en forma masiva.

Los transistores de efecto de campo (FET, *Field Effect Transistor*) son transistores basados en campos eléctricos, que controlan el paso de electrones por los canales gracias a una diferencia de potencial.

Tengamos en cuenta que los transistores bipolares controlan el flujo de electrones mediante una excitación de la base con corriente, mientras que los FET son controlados mediante este campo eléctrico y se plantean como resistencias controladas por diferencias de potencial.

En los FET, la corriente se controla mediante tensión. Si son utilizados como amplificadores, suministran una corriente de salida proporcional a la tensión aplicada en la entrada. En la base o terminal de control, no se absorbe corriente, lo que posibilita que la tensión que si controla sea muy pequeña (una señal de audio de baja intensidad, por ejemplo), permitiéndole a esta tensión generar el campo eléctrico.

Al igual que los transistores bipolares, que se dividen en NPN y PNP, los FET tienen dos tipos de canal, denominados n y p, estos dependen de la tensión en la puerta.

Disipación de calor: *debido al paso y la amplificación de la corriente que circula por los transistores de potencia, se producen altas temperaturas por la interacción de los electrones y los canales. Estructuralmente, los transistores de alta ganancia vienen fabricados con una placa que ayuda a la disipación del calor y están preparados para ser acoplados a disipadores físicos e impedir, así, que se quemen.*

Las características de los FET son particulares, principalmente porque, en la entrada, tienen una resistencia muy alta (100 MΩ). Además, no poseen un voltaje de unión cuando se utilizan como interruptores, son inmunes a la radiación, se aplican para proporcionar mayor estabilidad térmica y resultan menos ruidosos.

Entre los distintos tipos de FET, encontramos:

MOSFET o Metal-Oxide-Semiconductor-Field-Effect-Transistor: se aísla con óxido de silicio SiO2. Con respecto a los bipolares, ocupan menos espacio y son más utilizados en circuitos integrados. En los transistores MOSFET se denominan los tres conectores como: Puerta (**G**,*Gate*), Fuente (**S**, *Source*) y Drenaje (**D**, *Drain*).

- **JFET** o Juction – Field-Effect-Transistor: utiliza una unión P-N.
- **MESFET** o *Metal-Semiconductor-Field-Effect-Transistor*: sustituye la unión P-N con una barrera Schottky.
- **HEMT** o *High-Electron-Movility-Transistor:* conocido también como HFET, la banda dopada con portadores forma el aislante, la entrada y el cuerpo del transistor.

- **IGBT** o *Insulated-Gate-Bipolar-Transistor*: dispositivo para el control de potencia. Se utiliza cuando el rango de potencial entre el colector-base se ubica entre 200 y 3000V.
- **FREDBET:** es un FET especializado que se ha diseñado para brindar una recuperación máxima del transistor.
- **DNAFED:** otro tipo especializado de FET que actúa como biosensor para detectar cadenas de ADN idénticas.
- **TFT o Thin –**Film- Transistor: un tipo especial de FET fabricado a partir de capas finas de semiconductores, como de material dieléctrico y contactos metálicos, sobre un sustrato de soporte.

Principales usos

Los transistores poseen una gran cantidad de aplicaciones:

- Amplificación de todo tipo (radio, televisión, instrumentación).
- Generación de señal (osciladores, generadores de ondas, emisión de radiofrecuencia).
- Conmutación, actuando como interruptores (control de relés, fuentes de alimentación conmutadas, control de lámparas, modulación por anchura de pulsos PWM).
- Detección de radiación luminosa (fototransistores).
- Se usan generalmente en la electrónica analógica y en la electrónica digital como la tecnología TTL o BICMOS.
- Son empleados en conversores estáticos de potencia, controles para motores y llaves de alta potencia (en especial, inversores), aunque su principal uso está basado en la amplificación de corriente dentro de un circuito cerrado.

Un transistor puede trabajar de dos maneras:

- Permitir o cortar el flujo de corriente.
- Amplificando una señal de entrada

Cuando un transistor funciona de la primera manera, en modo pasa o no pasa, pero sin medias tintas, decimos que funciona al corte (no pasa) o a saturación (pasa sin restricciones). Y esto es el fundamento de toda tecnología digital moderna: Ordenadores, teléfonos, consolas, relojes digitales. De hecho un transistor en corte es un 0 y en saturación es un 1, (o TRUE / FALSE si preferís).

Recordemos que los transistores consta de tres partes, pero se llaman emisor, colector y base (E, C, B).

En un transistor hacemos circular en la Base una señal eléctrica variable, el flujo de corriente entre el Emisor y el Colector sigue la señal de la base pero amplificándola. Se pueden conseguir ganancias enormes con este sistema y es la base de todos los amplificadores electrónicos modernos.

Cada vez que se reproduce música, hay un transistor (o varios) amplificando una señal débil para que poder escucharla.

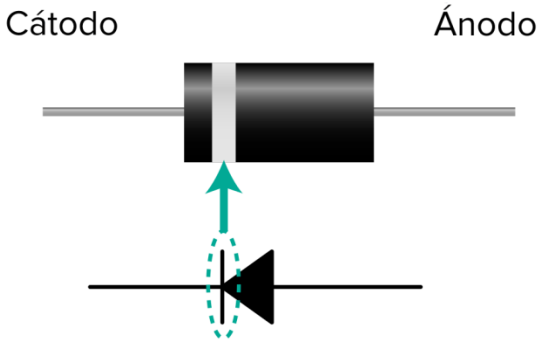
Todos tenemos clara la idea de lo que es un conductor y un aislante. Los semiconductores son un tipo de materiales que podemos convertir en conductores o aislantes a voluntad, mediante una señal eléctrica. Y que presentan ciertas propiedades interesantes bajo las condiciones adecuadas.

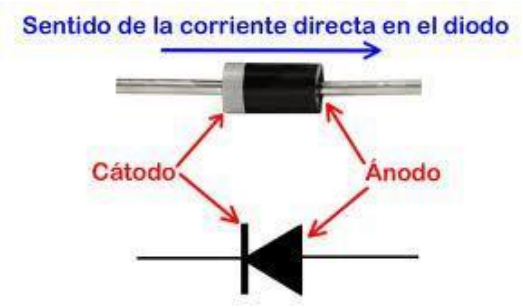
Los semiconductores más típicos y más extendidos en la fabricación electrónica son el Silicio y el arseniuro de Galio, pero son muchos los materiales, que en mayor o menor medida, presenta un efecto semiconductor

La mayor parte de los componentes que conocemos en electrónica, como LEDs, transistores y diodos son semiconductores, y muchos otros menos conocidos como tiristores y hasta láseres de estado sólido.

Diodos y LEDs

El diodo es un componente electrónico con dos extremos de conexión (o "terminales") que permite el paso libre de la corriente eléctrica solamente en un sentido, bloqueándolo si la corriente fluye en el sentido contrario. Este hecho hace que el diodo tenga dos posiciones posibles: a favor de la corriente (llamada "polarización directa") o en contra ("polarización inversa").





Por tanto, a la hora de utilizarlo en nuestros circuitos, debemos de tener en cuenta que la conexión de sus dos terminales se realice en el sentido deseado.
Normalmente, los fabricantes nos indicarán cuál es el terminal que ha de conectarse al polo negativo (suponiendo polarización directa) mediante una marca visible cerca de este pintada

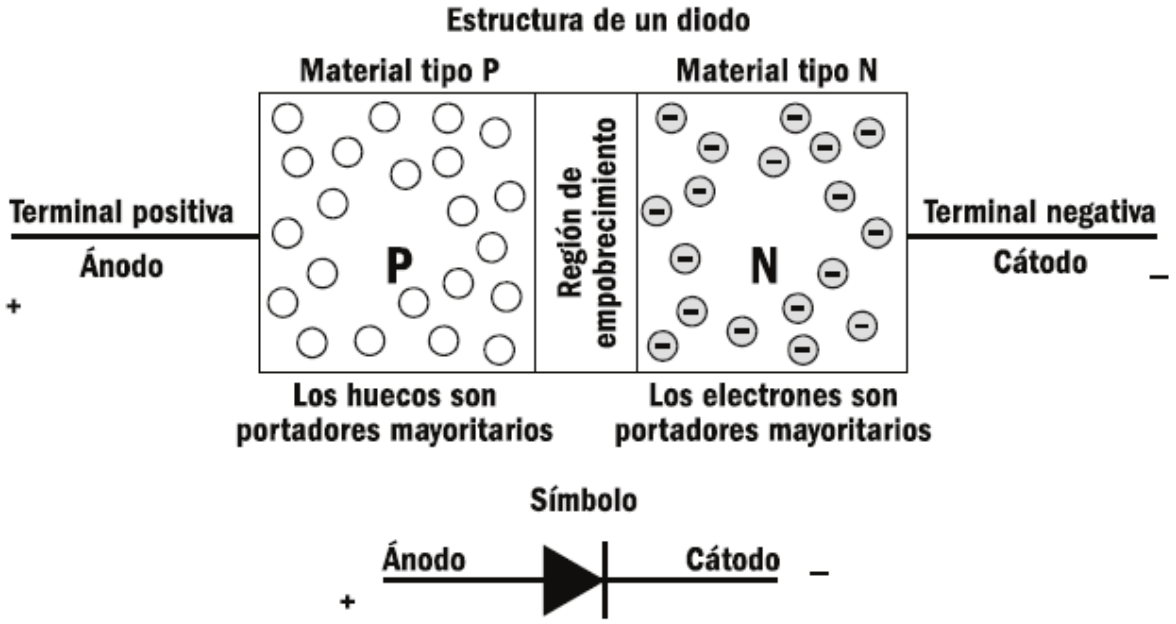
en el cuerpo del diodo. En la imagen mostrada, esta marca es la gruesa franja blanca a la derecha del cuerpo del diodo, por lo que el "terminal negativo" será, en este caso, el de la derecha. Técnicamente (siempre suponiendo polarización directa) a ese "terminal negativo" se le llama "cátodo", y al "terminal positivo" se le llama "ánodo".

El diodo se puede utilizar para muchos fines: un uso común es el de rectificador (para convertir una corriente alterna en continua), pero en nuestros circuitos lo usaremos sobre todo como un elemento suplementario conectado a algún otro componente para evitar que este se dañe si la alimentación eléctrica se conecta por error con la polaridad al revés.

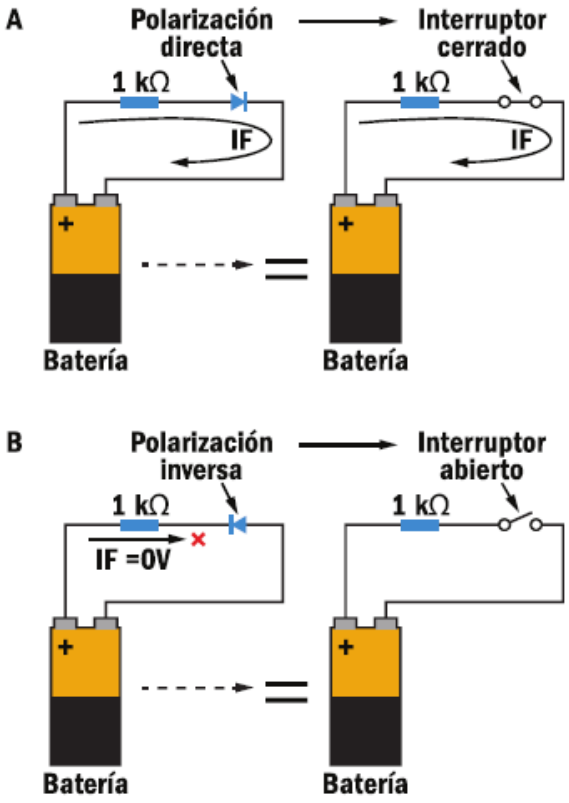
Es costumbre conectar un divisor de tensión (es decir, una resistencia en serie) a uno de los terminales del diodo (es indiferente si es el ánodo o el cátodo) para evitar que sea este precisamente el que se funda al recibir más tensión de la que pueda soportar. Para calcular el valor de esta resistencia, debemos tener en cuenta la intensidad que debe pasar por el diodo (I), la tensión que existiría entre sus terminales si no pusiéramos ninguna resistencia (V) y la tensión entre sus terminales que queremos conseguir para evitar daños (V_{DIO}); una vez conocido estos valores podemos calcular la resistencia adecuada usando la Ley de Ohm, así: $R = (V-V_{DIO})/I$.

Por otro lado, la potencia disipada por esa resistencia podríamos calcularla mediante la fórmula $P = (V-V_{DIO}) \cdot I$.

Estructura de un diodo



Polarización del diodo



Circuitos con diodos

Imaginemos un circuito con un diodo. Tenemos una resistencia de 1kΩ en serie con un diodo y una fuente de voltaje de 10 VDC y queremos saber:

a) ¿Cuál es la caída de voltaje en el diodo?
b) ¿Qué corriente circula por el diodo?
c) ¿Cuál es la caída de voltaje en la resistencia?
d) ¿Qué corriente circula por la resistencia?

Ya sabemos que el diodo tiene un potencial de barrera de 0.7V, que necesita para conducir. La caída de voltaje en un diodo es igual a su potencial de barrera, entonces, ya tenemos su caída de voltaje (a): 7V.

Para la corriente (b), debemos restar la caída de voltaje del diodo (0.7V) a la fuente (10V) y, luego, dividirlo entre la resistencia; para ello, usamos la Ley de Ohm.

$$IF = \frac{VFuente - Vdiodo}{R} = \frac{10V - 7V}{1K\Omega} = 9.3\ \text{mA}$$ b) 9.3mA

Por tratarse de un circuito serie, la intensidad que circula por el circuito es la misma para todos los elementos: 9.7 mA es la corriente que también circulara por la resistencia de 1KΩ; por lo tanto, d) es 9.3mA. Ya solo falta obtener la caída de voltaje de la resistencia (c) de

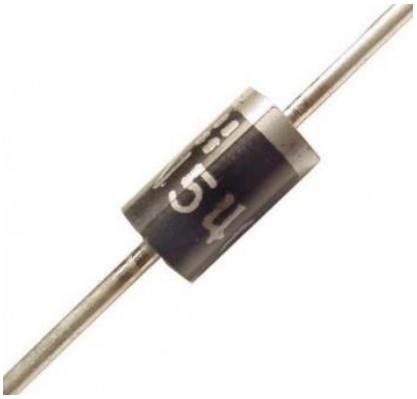
1KΩ, con la Ley de Ohm. La obtenemos multiplicando la corriente por la resistencia y nos queda:

$$VR = 9.3mA\ x\ 1K\Omega = 9.3\text{V}$$

Tipos

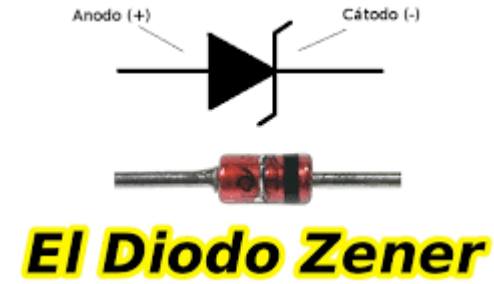
A continuación, se hace una breve descripción de algunos de los diodos que existen y sus tipos de encapsulados.

Diodo rectificador: es un dispositivo que permite el paso de la corriente en un solo sentido; se utiliza principalmente para rectificar señales.

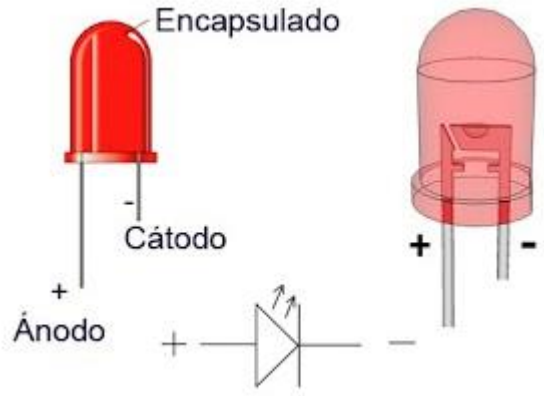


Diodo Rectificador 1N5408

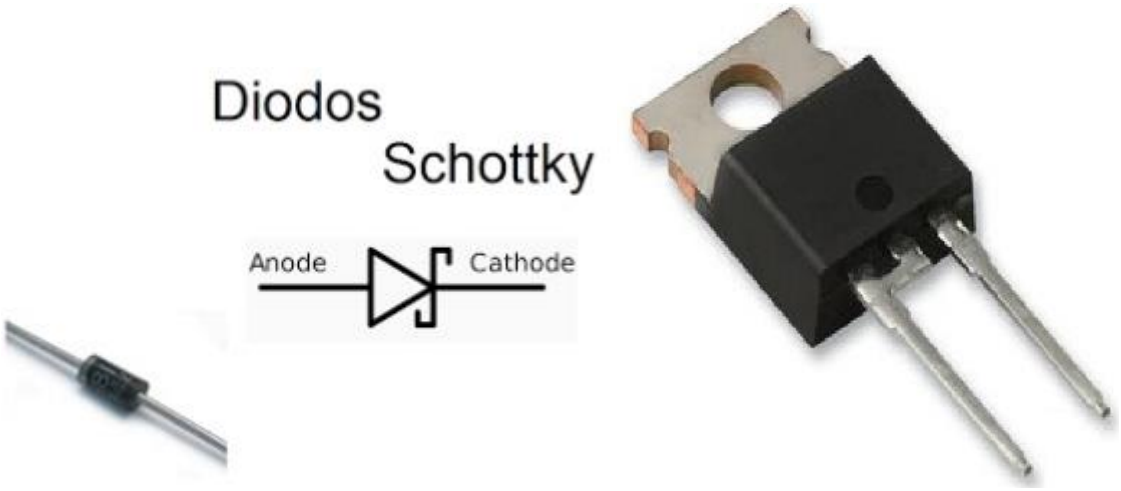
Diodo zener: este diodo mantiene un voltaje constante entre sus terminales cuando se polariza inversamente; si se polariza en forma directa, funciona como un diodo común.



Diodo led: este diodo emite una luz cuando le aplicamos un voltaje determinado, debe ser polarizado directamente. Se utiliza en aparatos electrónicos como indicador, en lámparas, autos, etcétera.

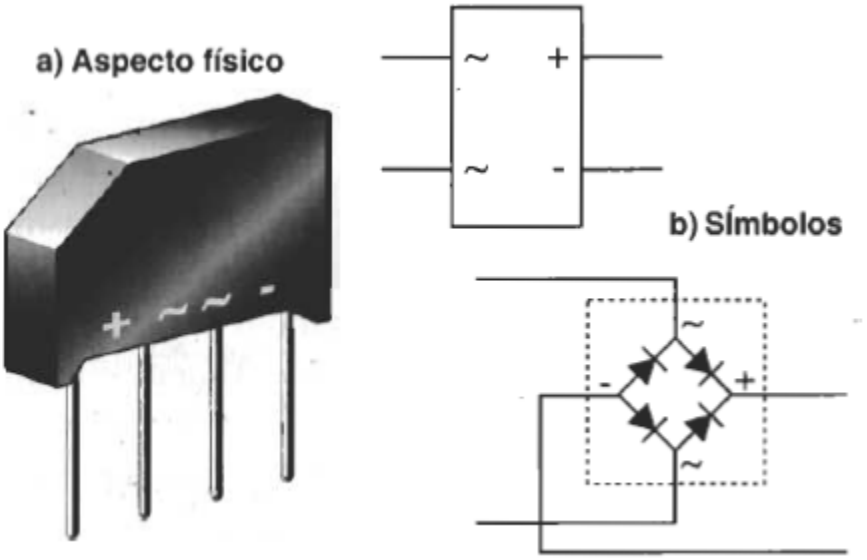


Diodo Schottky: estos diodos hechos de silicio son llamados también diodos de recuperación rápida, ya que tienen una caída de voltaje de 0.25V o menos; son utilizados en aplicaciones donde se manejan altas frecuencias.



Puente Rectificador o puente de diodos

Un puente rectificador es un dispositivo que contiene internamente 4 diodos conectados de la forma que se muestra en el diagrama. Se ha fabricado de esta forma debido a la gran utilización que tiene el circuito del puente rectificador, los cuales, si no se dispone del puente encapsulado en un solo paquete, tendrían que implementarse con 4 diodos independientes; lo que implicaría mayor demora en el montaje y seguramente mayor espacio en el circuito impreso.



Diodos emisores de luz

Un “Light Emitting Diode” (LED) es, como su nombre indica, un diodo que tiene una característica peculiar: emite luz cuando la corriente eléctrica lo atraviesa. De hecho, lo hace de forma proporcional: a más intensidad de corriente que lo atraviesa, más luz emite.

Ya que no deja de ser un tipo concreto de diodo, también puede ser conectado en polarización directa o inversa, teniendo en cuenta que solo se iluminarán si están conectados en polarización directa. Por ello, cuando diseñemos nuestros circuitos hay que seguir teniendo la precaución de conectar cada terminal del LED en la polaridad adecuada. No obstante, como a un LED no se le puede pintar una marca encima, la manera de distinguir el ánodo

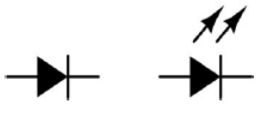
("terminal positivo" en polarización directa) del cátodo (el "terminal negativo" en polarización directa) es observando su longitud: el ánodo es de una longitud más larga que el cátodo.

Es igualmente muy recomendable conectar una resistencia en serie a un LED para limitar la intensidad de corriente que lo atraviesa y así mantenerla por debajo del valor máximo más allá del cual el LED puede dañarse. Para calcular qué resistencia debemos colocar, podemos utilizar la fórmula mencionada en un par de párrafos anteriores. Hemos de saber que normalmente la intensidad que suele venir bien para el funcionamiento óptimo de un LED es de unos 15 mA, y que la tensión V_{DIO} apropiada varía según el color del LED: va de 3 V a 3,6 V para el ultravioleta (UV), blanco o azul, de 2,5 V a 3 V para el verde, de 1,9 V a 2,4 V para el rojo, naranja, amarillo o ámbar y de 1 V a 1,5 para el infrarrojo. A partir de aquí, el cálculo es sencillo. No obstante, para mayor seguridad es recomendable consultar siempre las especificaciones que proporciona el fabricante (el "datasheet" del componente) para conocer toda la información necesaria sobre intensidades y tensiones máximas soportadas.

Además de por sus diferentes colores (consecuencia del material de fabricación usado, diferente para cada tipo de LED), podemos clasificar estos componentes según si emiten la luz de forma difusa o clara. Los primeros (que normalmente tienen un tamaño de 3 mm de diámetro) se suelen utilizar para indicar presencia, ya que emiten una luz suave y uniforme que no deslumbra y que puede verse bien desde cualquier ángulo. Los segundos (que normalmente tienen un tamaño de 5 mm de diámetro) sirven para irradiar en una dirección muy concreta con luz directa y potente, por lo que no se ven bien en todos los ángulos pero iluminan mucho más que los otros. En cualquier caso, sea un LED de tipo difuso o claro, para saber en términos cuantitativos lo "brillante" que es su luz, será necesario conocer la cantidad de milicandelas (mcd) que ese LED concreto es capaz de emitir; este dato lo debe ofrecer el fabricante en el datasheet.

Finalmente, debemos tener en cuenta al menos tres aspectos más a la hora de usar diodos y LEDs en nuestros proyectos: la corriente máxima que puede atravesar el diodo en polarización directa sin que este se funda debido al calor generado por la potencia disipada; el voltaje de ruptura (cuando los diodos están conectados en polarización inversa hemos dicho que no dejan pasar el flujo de la corriente pero dicho comportamiento es así solamente mientras al diodo se le aplique un voltaje menor del llamado "voltaje de ruptura") y la caída de tensión en polarización directa (como cualquier otro dispositivo electrónico, los diodos poseen una resistencia interna que provoca la existencia de una determinada diferencia de potencial entre sus terminales).

El símbolo que se suele utilizar en el diseño de circuitos electrónicos para representar un diodo estándar es el mostrado a la izquierda en la imagen siguiente, y el de un LED es el de la derecha.



El vértice del triángulo secante con la línea perpendicular de ambos símbolos representa el cátodo.

Ventajas de la iluminación LED

Las ventajas de la iluminación LED frente a la iluminación incandescente son muchísimas, pero sólo vamos a listar tres de las más representativas:

- Consumen menos energía, ya que no se desperdicia energía en calor para generar la iluminación. Si lo comparamos con calentar un filamento para hacerlo brillar nos damos cuenta que estamos empleando solo la energía que se necesita para dar iluminación sin calentar absolutamente nada.
- Tienen mayor vida útil que cualquier otro tipo de iluminación.
- Podemos obtener diferentes tipos de colores con solo variar la corriente que circula por ellos en el caso de los LEDs RGB. Esto es una ventaja increíble, sobre todo en los conciertos y espectáculos, algo que actualmente también encontramos en las fachadas de algunos monumentos y museos.

Tabla de voltajes de LEDs según el color

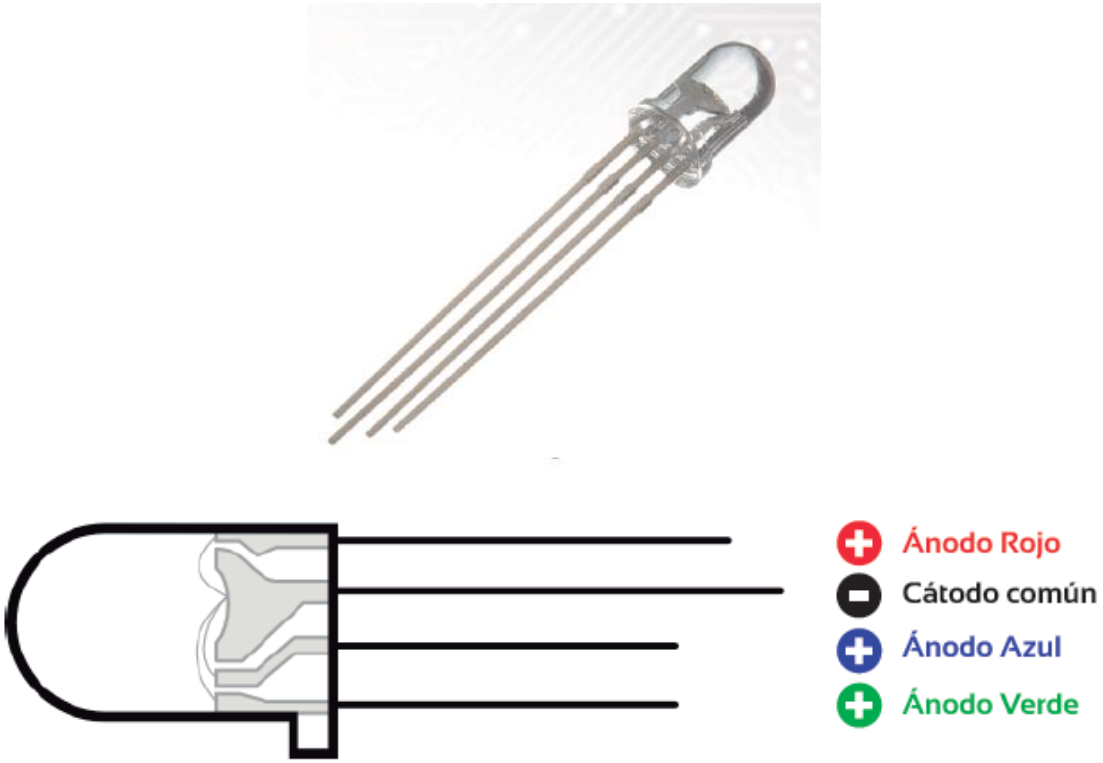
LED	VF V	IF A
Rojo std	1,5	0,015
Verde std	1,8	0,015
Amarillo std	1,8	0,015
Blanco	2,8	0,02
Amarillo brillante	2	0,02
Verde brillante	3	0,02
Azul brillante	3	0,02
Rojo brillante	2	0,02

LEDs RGB

Es un LED con tres diodos en su interior: uno rojo, uno verde y otro azul. De ahí su nombre RGB, el cual proviene de las siglas inglesas para Red (rojo), Green (verde) y Blue (azul).

Estos LEDs poseen cuatro patas y pueden ser de dos tipos: con un ánodo común o con un cátodo común, lo cual determinará la circulación de la energía en su circuito. En los proyectos de BOTS trabajamos con LEDs RGB de cátodo común.

Un LED RGB de cátodo común significa que su terminal más larga es un cátodo (polo negativo) mientras que las otras tres -todas de diferente largo, pero más cortas que el cátodo- son los ánodos que representan cada color, tal y como podemos ver a continuación.



La principal ventaja de los LED RGB es que pueden reproducir casi cualquier color de una manera perfecta, pudiéndose utilizar para reproducir imágenes y videos, o para iluminar una sala con un color determinado. Jugando con la cantidad aditiva de cada uno de los tres colores básicos se pueden obtener infinidad de colores y tonos diferentes.

Síntesis aditiva del color

Cuando nos referimos a la síntesis aditiva hablamos de la formación de los colores a través de la suma de diferentes luces en sus distintas longitudes de onda. Este modelo de colores considera el blanco como la suma de toda luz en máxima proporción del espectro visible, y es el que se usa para la separación del color. Gracias a la síntesis aditiva somos capaces de ver y reproducir los colores de las diferentes pantallas.

Hay cinco premisas fundamentales que debes tener en cuenta:

1. Los colores primarios aditivos son: Rojo, Verde y Azul (RGB).
2. La suma de dos colores primarios a partes iguales origina un color secundario:
   - Rojo + Verde = Amarillo
   - Rojo + Azul = Violeta (Magenta)
   - Azul + Verde = Celeste (Cyan)
3. El blanco teórico se forma por la unión de los tres colores primarios a partes iguales con la máxima saturación posible (255). Esta suma de todas las luces en partes iguales da por resultado la luz blanca (la cual contiene a todos los colores aditivos).
   - Azul + Verde + Rojo = Blanco

4. La ausencia de colores primarios de síntesis aditiva origina el negro. El negro es la ausencia de luz, sin luz el ojo no percibe color.
5. El color complementario o inverso de cada primario aditivo se puede definir como el color que le falta a ese primario para ser blanco:
   - Rojo Complementario: Cian
   - Verde Complementario: Magenta
   - Azul Complementario: Amarillo

Nota: para que puedas crear tus propios colores puede ser útil utilizar un mezclador digital. Estos abundan en la web y te ayudarán a saber qué luces debes usar y en qué proporción para obtener el color que deseas de manera rápida. Para que pruebes, te recomendamos usar la siguiente:

	RGB teórico			RGB real placa leds		
Color	R	G	B	R	G	B
blanco	255	255	255	255	64	120
rosa	255	179	183	17	0	7
amarillo	255	255	0	255	48	0
naranja	255	128	0	255	18	0
turquesa	245	0	116	255	0	20
violeta	166	0	220	36	0	54
magenta	0	220	156	0	255	105
rojo	255	0	0	255	0	0
verde	0	255	0	0	255	0
azul	0	0	255	0	0	255

El uso de las resistencias con LEDs

Para limitar la corriente que fluye a un LED, se debe usar una resistencia en una conexión en serie. Esto significa que debes conectar el ánodo del LED a uno de los terminales de la resistencia y debes conectar el otro terminal de la resistencia al positivo de la fuente de alimentación. Luego debes conectar el terminal del cátodo del LED al negativo de la fuente de alimentación. Ya que los dos terminales del LED no están directamente conectados a la alimentación, la electricidad debe fluir a través de la resistencia, lo que limita la corriente.

En el caso del LED RGB es necesario utilizar tres 3 resistencias, una por cada cátodo de color.

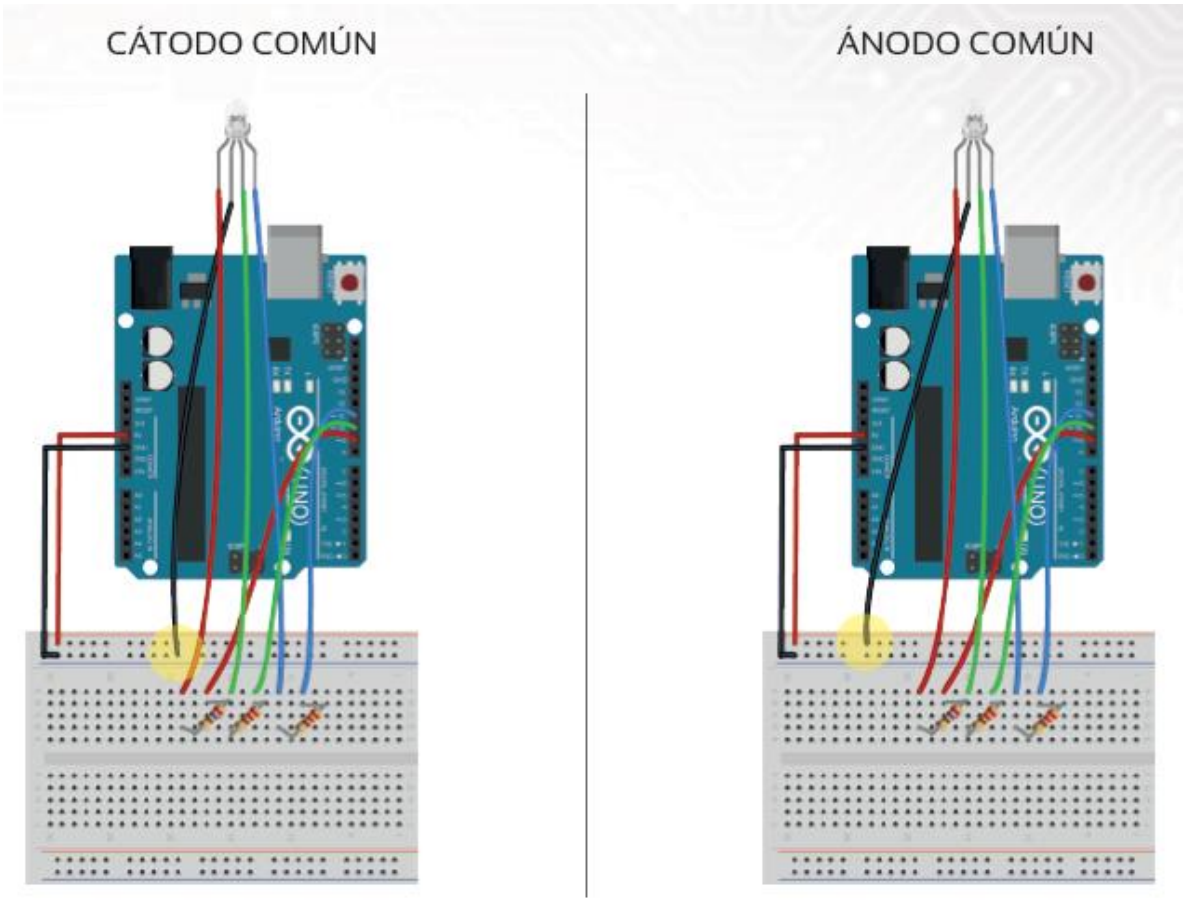
Diferencias entre LED RGB de cátodo común y ánodo común

Hasta aquí hemos visto que la principal diferencia entre estos LEDs es la disposición de sus terminales. El LED de cátodo común tiene una terminar negativa (el cátodo) y tres positivas

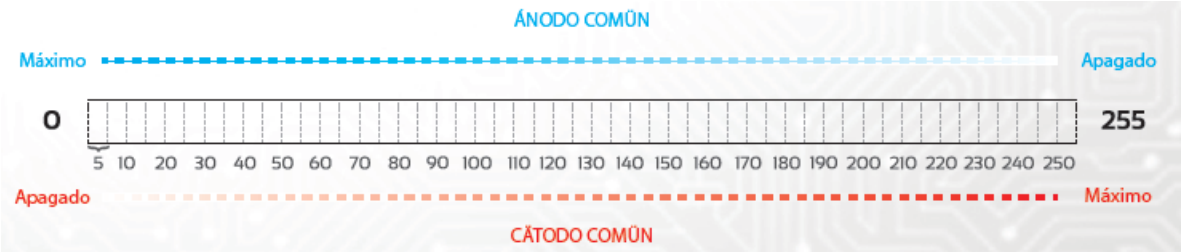
(un ánodo para cada color); mientras que los LEDs de ánodo común poseen una terminal positiva (el ánodo) y tres terminales negativas para cada color.

A continuación vamos a desarrollar el esquema del circuito electrónico y el código de programación de cada uno de ellos.

Ejemplo realizado en placa arduino:



A simple vista, la conformación del circuito eléctrico es la misma, sin embargo, si prestamos atención, la terminal más larga del LED RGB de cátodo común se encuentra conectada al GND (-), mientras que en el otro lo conectamos a 5v (+).

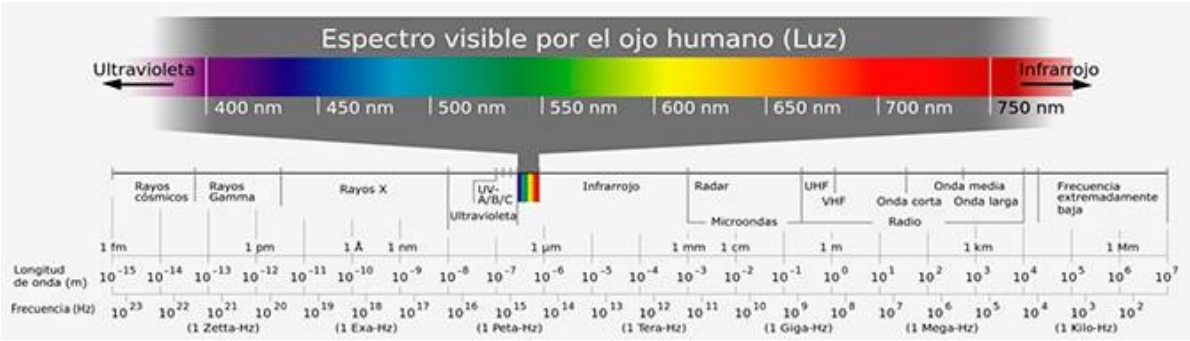


Leds infrarrojos (IRLED's)

Los LED`s Infrarrojos son bien conocidos por la mayoría de personas que elaboran proyectos de comunicación infrarroja, esta tecnología también se puede apreciar en algunos controles remotos para las televisiones o en los puertos infrarrojos que poseen algunos celulares que se utilizan para transferir información entre un dispositivo a otro.

La palabra Led por si sola significa Diodo emisor de luz, mientras tanto IR significa rayos infrarrojos, la unión de estas palabras forma IRLED's que significa LED`s Infrarrojos.

Cuando trabajamos con LED`s Infrarrojos debemos saber que no podremos ver a simple vista si estos están trabajando correctamente, esto se debe a que la luz o el espectro que emiten estos dispositivos es infrarrojo y no puede ser captada por los ojos humanos, en la siguiente escala se puede apreciar lo que se comenta en este párrafo:



Como puedo saber si un LED Infrarrojo está funcionando

La respuesta y solución a esta pregunta es muy sencilla, como se comentó en el párrafo anterior los ojos humanos no pueden ver el espectro infrarrojo, sin embargo las cámaras convencionales si pueden verlo, basta con iniciar la aplicación cámara de nuestro celular y podremos ver en tiempo real si el LED está funcionando.

LED`s Infrarrojos encendido y apagado

Características y funcionamiento de los LED`s Infrarrojos (IRLED's):

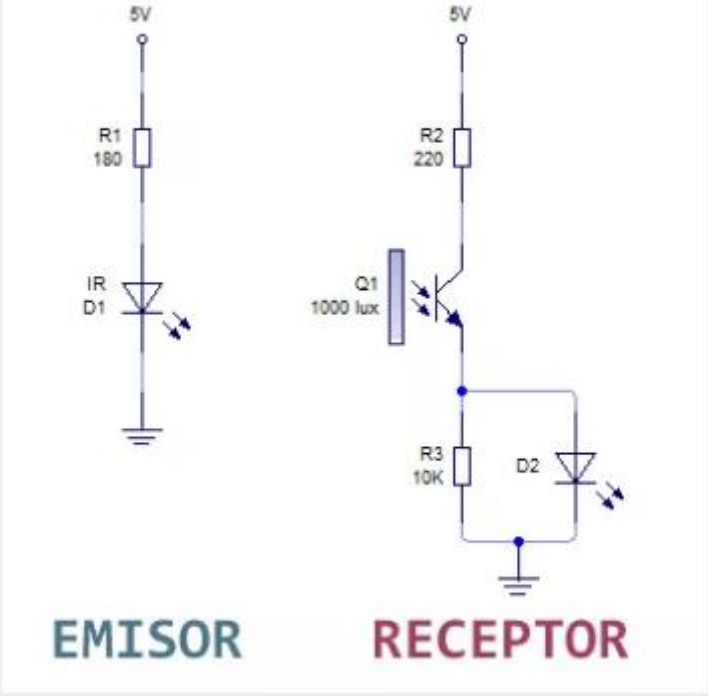
Cuando hablamos de una comunicación o transferencia de datos vía infrarrojo se debe tener en cuenta que dicha comunicación solo se podrá llevar acabo si existe un emisor y un receptor, cuando tenemos una línea de comunicación de un solo sentido el emisor solo transferirá sus datos al receptor y este último se encargara de interpretar los datos recibidos. Al utilizar un emisor y un receptor para un mismo procedimiento, estos caen dentro de la clasificación de Sensores activos.

Si tenemos un circuito más complejo en donde halla 1 vía de comunicación de ida y vuelta entonces los elementos podrán tener una retroalimentación entre sí (aunque por lo general se utilizan 2 emisores y 2 receptores para estos circuitos).

Dependiendo de la configuración, el voltaje que se emplee, el ángulo de posicionamiento y la longitud de onda, el emisor podrá emitir una señal más fuerte, esto se traduciría en un recorrido más amplio, por ejemplo, un Led infrarrojo de 940 nm con un ángulo de posicionamiento de 12 grados y alimentado a 1.2 Volts, puede alcanzar una distancia máxima de 5 metros en condiciones óptimas.

Conexión del emisor y receptor

En la siguiente imagen se puede apreciar perfectamente el diagrama de conexión para elaborar un circuito emisor y un receptor, utilizando LED`s Infrarrojos.



Emisor y receptor de un led infrarrojo

Una desventaja que poseen los LED`s Infrarrojos (IRLED's) es que su señal puede ser interrumpida muy fácilmente, basta con colocar un objeto enfrente del emisor para que la señal no pueda llegar a su destino, debido a esto se dejó de utilizar estos sensores para algunas aplicaciones y fueron remplazados con tecnologías Bluetooth y Wifi.

Usos que se le pueden dar a los LED`s Infrarrojos (IRLED's)

Debido a que la comunicación entre el emisor y el receptor puede ser interrumpida muy fácilmente se utiliza a estos elementos para la elaboración cualquier sistema de presencia o detector de movimiento esto se puede apreciar en: La construcción de cámaras de seguridad, sensores de detección de movimiento, contadores, etc.

Diodo láser, Definición, características y usos

Diodo láser

En la actualidad muchos siguen confundiendo (por el nombre) al Led con el Diodo Láser, si bien poseen características similares, el Diodo láser posee la habilidad de emitir un haz de luz el cual puede o no ser visible (Esto depende del tipo de diodo), este has puede transmitir información o incluso algunos tipos de energía como la calorífica.

Para la correcta emisión de la luz láser, el cristal semiconductor del diodo debe poseer la forma de una lámina extremadamente delgada, esta debe poseer un lado altamente reflectante y otro reflectante en menor medida, este factor es muy importante ya que un correcto funcionamiento garantiza una unión PN de grandes dimensiones con las caras exteriores perfectamente paralela y reflectante. Entre mejor sea la unión PN mayor será la longitud de onda a emitir.

Características y usos del Diodo láser

Debido a la poca complejidad que presentan estos dispositivos y a su gran rendimiento, ha podido ser utilizado en muchas aplicaciones prácticas hasta el día de hoy, algunas de sus características más importantes son:

Poseen una gran eficiencia: La vida útil de un láser dándole un uso convencional puede durar de 1 a 10 años (siempre y cuando el resto del equipo se encuentre en perfectas condiciones y no halla elevaciones de voltajes o cortos circuitos).

Son muy confiables: Estos dispositivos son tan precisos y confiables que incluso han sido llevados al mundo de la medicina, estos son montados en máquinas que sirven para realizar operaciones oculares y dentales, algunos son utilizados como herramientas de corte, sin embargo no se ha experimentado completamente con esto último.

Son económicos y no son difíciles de conseguir: Esto es una gran característica ya que estos elementos pueden ser comprados en cualquier casa de electrónica e incluso pueden ser reciclados de objetos viejos como lectoras de disco CD o DVD.

Permiten la modulación directa de la radiación emitida, pudiéndose modular a décimas de Gigahercio.

Su volumen y peso son pequeños: Esto es algo relativo, si bien un láser convencional es del tamaño de una moneda de 10 centavos (Descontando el largo de sus terminales), algunos pueden llegar a ser mucho más pequeño o mucho más grandes, todo depende del uso que se piense dar al láser.

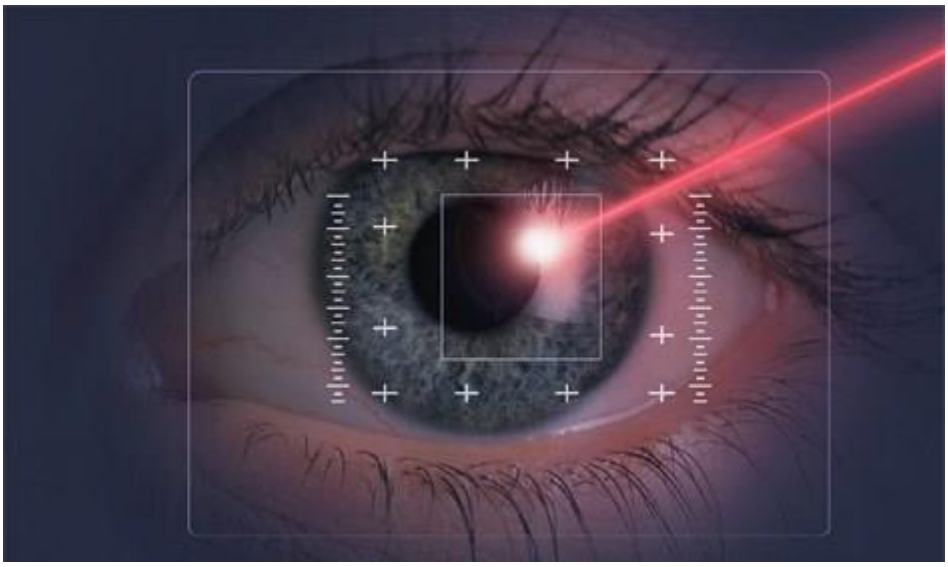
Los diodos láser no necesitan tanta corriente para funcionar, además su consumo de energía es bajo si se compara con otros elementos emisores de luz.

El ancho de banda de su espectro de emisión es angosto (puede llegar a ser de sólo algunos kHz)

En cuantos a los usos que se le pueden dar al Diodo láser podemos encontrarnos con:

Láser odontología: Este compacto láser sirve para realizar cortes en la piel que se encuentra pegada a nuestros dientes, con este láser se realizan incisiones que serían muy dolorosas si se hicieran con otras herramientas.

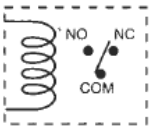
Láser para realzar operaciones oculares: Debido a la gran precisión y exactitud del láser, mucho oftalmólogos que realizan operaciones de corrección de vista, utilizan estos dispositivos para realizar cortes en las bolsas que protegen a los ojos, además estos mismos dispositivos pueden realizar operaciones sin perjudicar la estabilidad del paciente ya que la luz que emiten es tan fina que realmente no se siente nada cuando te están operando.

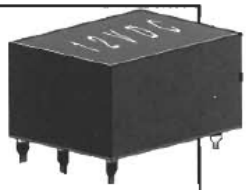


El relé

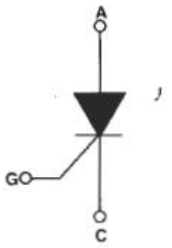
Es un dispositivo electromecánico que actúa como un interruptor controlado por voltaje. Su funcionamiento consiste en cerrar o unir sus contactos común (COM) y normalmente abierto (NO) cada vez que se energiza o se le da el voltaje adecuado en los pines de su bobina. Cuando no se aplica voltaje en ella, el contacto común se une al normalmente cerrado (NC). Los contactos mecánicos del relevo son independientes de la bobina; por lo tanto, este componente se puede utilizar para manejar señales o cargas de alta potencia (por ejemplo lámparas y motores), las cuales pueden ser controladas desde circuitos de baja potencia.

Símbolo





Aspecto físico



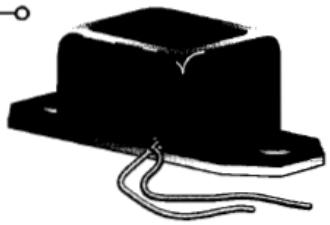
(a) Símbolo

(b) Aspecto físico

El SCR

El rectificador controlado de silicio o SCR es un dispositivo semiconductor de tres terminales, llamados **compuerta** (G), **ánodo** (A) y **cátodo** (C), que se comporta como un interruptor controlado por voltaje. Para "cerrar" un SCR, es decir permitir la circulación de corriente entre el ánodo y el cátodo, debe aplicarse un voltaje positivo entre la compuerta y el cátodo. El dispositivo se mantiene "cerrado" incluso después de retirar el voltaje de compuerta. Para "abrirlo" debe interrumpirse la corriente de ánodo o reducirse por debajo de cierto valor.

(a) Símbolo



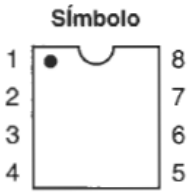
(b) Forma física

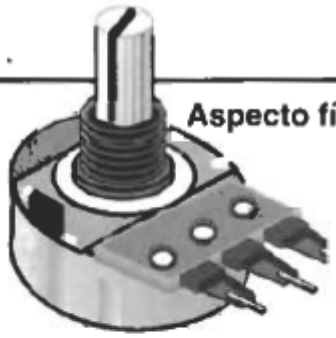
El zumbador piezoeléctrico

El zumbador piezoeléctrico es un dispositivo electrónico que emite un sonido audible distintivo cuando se aplica un voltaje directo (DC) entre sus terminales («+» o positivo al rojo y «-» o negativo al negro). Un zumbador puede también operar con un voltaje alterno (AC) convirtiéndolo en un voltaje directo mediante un diodo rectificador.

Circuito integrado 555

El 555 es un circuito integrado de ocho pines; su modo de funcionamiento depende de los componentes externos que le sean conectados. Cada pin del integrado cumple una función específica, por ello es muy importante hacer una correcta identificación de los mismos; para esto se tiene un círculo o una pequeña muesca al lado de la pata número uno. Este integrado se puede utilizar como temporizador, oscilador, generador, etc.





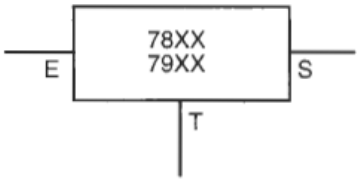
El potenciómetro

Un potenciómetro es una resistencia cuyo valor puede cambiar cuando se gira un eje mecánico. Es un dispositivo de tres terminales, entre los extremos se tiene la máxima resistencia y entre el pin central (llamado cursor) y alguno de los extremos se tiene un resistencia variable.

El regulador de voltaje de 3 terminales
Es un circuito integrado que tiene 3 pines: entrada, tierra y salida. Su función es entregar en la salida un voltaje fijo, el cual sirve para alimentar circuitos electrónicos sin peligro de que sufran daños provocados por cambios de tensión. Los más populares son los de voltaje positivo de 5V (7805), los de 9 voltios (7809), los de 12 voltios (7812) y en voltaje negativo se consiguen los mismos valores, pero su referencia cambia, por ejemplo de -5V (7905), -9V (7909) y -12V (7912).

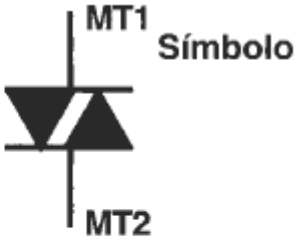
a) Aspecto físico

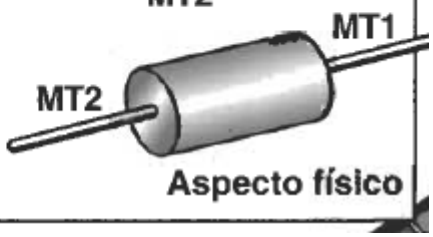
b) Símbolo



El Diac

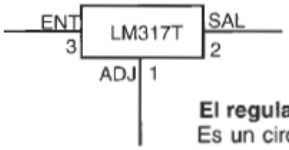
Es un dispositivo semiconductor de dos terminales, llamados MT1 y MT2. Actúa como un interruptor bidireccional, el cual se activa cuando el voltaje entre sus terminales alcanza un cierto valor llamado *voltaje de ruptura*, dicho voltaje puede estar entre 20 y 36 voltios según la referencia. Es muy utilizado para disparar los SCR o Triacs en circuitos de potencia.



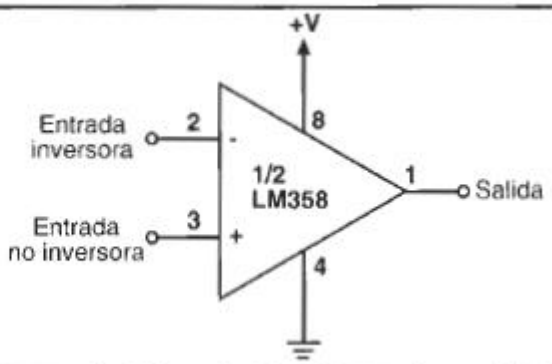


Aspecto físico

Símbolo



El regulador de voltaje variable
Es un circuito integrado que permite construir fuentes de voltaje cuyo valor de salida se puede ajustar según los requerimientos del usuario. Para su correcto funcionamiento, debe estar acompañado por unos elementos externos, como resistencias, diodos y condensadores. El que utilizamos en este caso es un LM317, el cual viene en un encapsulado del tipo TO-220 y puede manejar corrientes hasta de 1,5 amperios.

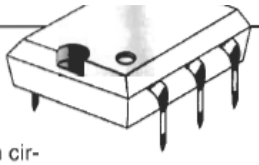


El amplificador operacional

Es un circuito integrado que puede cumplir diferentes funciones dependiendo de la forma en que esté conectado en el circuito. Su tarea básica, o para la que fue diseñado, es amplificar señales, aunque, dadas sus excelentes características, es utilizado en casi todas las aplicaciones de audio. Existe gran variedad de amplificadores operacionales, los cuales tienen diferentes características eléctricas y diferentes presentaciones físicas.

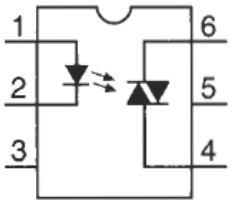
El módulo básico de amplificador operacional posee 5 terminales, dos para la fuente de alimentación, uno para la salida y dos para las entradas. El que utilizamos en este proyecto es el LM358. Este incluye dos módulos amplificadores dentro de un sólo encapsulado de 8 pines.

El optoacoplador



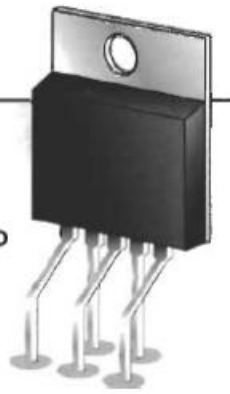
Aspecto físico

Es un componente electrónico que combina en el mismo empaque un LED y un fotodetector. Su principio de funcionamiento es el siguiente: El LED emite un rayo de luz cuando es excitado por una corriente que proviene de un circuito de control. Este es recibido por el detector, el cual a su vez es activado por dicho estímulo, haciendo que el circuito de salida o de potencia en que está conectado entre en funcionamiento. La principal ventaja de un optoacoplador es el aislamiento eléctrico entre los circuitos de entrada y salida ya que el único contacto entre ellos es un rayo de luz. Adicionalmente, existen diferentes clases de optoacoplador, algunos de ellos tienen salida por fototransistor, por fotodarlington, por fototriac, etc.. El que usamos en este proyecto es un optoacoplador MOC3010, el cual tiene salida por fototriac y es especial para manejar circuitos con triacs de potencia.

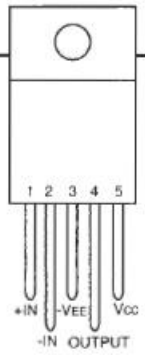


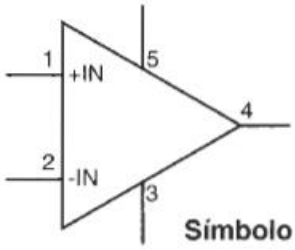
MOC3010

Símbolo



Aspecto físico

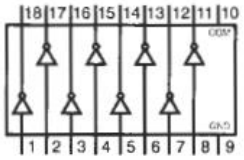


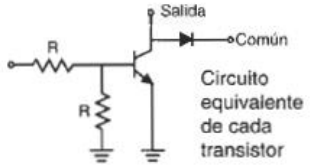


Símbolo

El circuito integrado LM1875

El LM1875 es un amplificador de potencia de 20W desarrollado por National Semiconductor para aplicaciones de audio de consumo. Este dispositivo es ofrecido en cápsula de potencia TO-220 de 5 pines. Posee características muy especiales como son: un amplio rango de voltajes de alimentación, desde ±10V hasta ±30V con fuente dual, y desde 20V hasta 60V con fuente sencilla. El consumo de corriente en estado de reposo, sin carga, es típicamente de 70mA. Su potencia de salida va desde 5W con fuente de ±10V hasta 30W con fuente de ±30V. Este dispositivo incluye un circuito de protección que limita automáticamente la corriente de salida en caso de cortocircuito o sobrecarga.

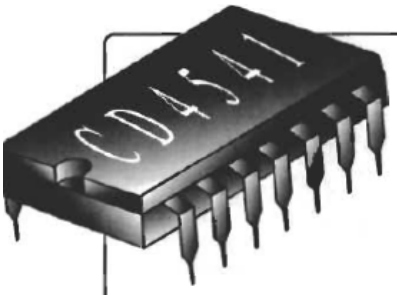




Circuito equivalente de cada transistor

El circuito integrado ULN2803

Este es un circuito integrado que posee internamente un grupo de transistores NPN, los cuales tienen el emisor unido a tierra, la base conectada a la entrada a través de una resistencia y el colector se lleva directamente a la salida. Con esta configuración, el transistor se comporta como un inversor. Por lo tanto, si se aplica en la base una señal positiva, el colector pone su salida en un nivel bajo. Estos transistores o *buffers* tienen capacidad de corriente hasta de 500 mA, lo que los hace aptos para el manejo de cargas como relés, entre otros. Además, los diodos que unen los colectores de los transistores y el punto común, que se conecta a la fuente positiva, protegen los transistores de posibles daños al manejar cargas inductivas.



Aspecto físico

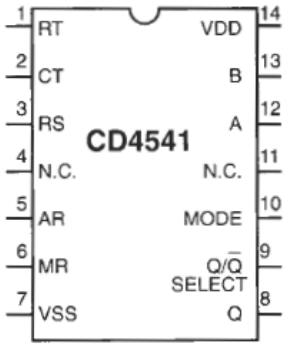
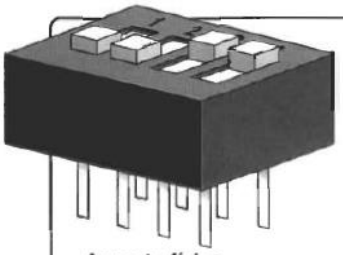


Diagrama de pines

El circuito integrado CD4541

Este es un circuito integrado diseñado especialmente como temporizador y posee algunos pines de entrada que permiten configurar su funcionamiento y programar el tiempo durante el que se activará su salida. Está construido en tecnología CMOS, lo que permite que pueda trabajar con una fuente de alimentación desde 3 hasta 12 voltios. Para realizar su trabajo, se vale de un conjunto de módulos digitales que conforman su estructura interna, además del oscilador que genera la temporización y que se ajusta con varios componentes externos.

una polaridad adecuada.



Aspecto físico

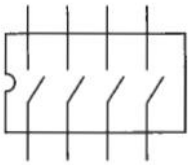
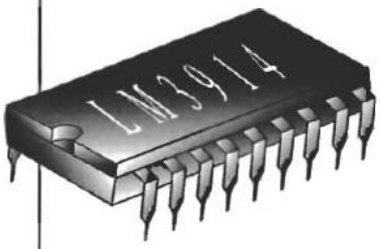


Diagrama de pines

El dipswitch
Es un componente electromecánico que posee varios interruptores, cada uno de los cuales se puede manejar de forma independiente. Su principal ventaja es que están totalmente integrados y ocupan poco espacio en el circuito impreso. Los dipswitch se pueden conseguir con diferente número de interruptores (4, 6, 8, 12, etc.). Dado su tamaño, no pueden soportar altas corrientes por lo que se utilizan en circuitos digitales o circuitos análogos de baja potencia.

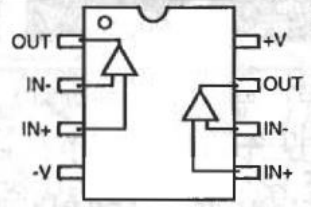


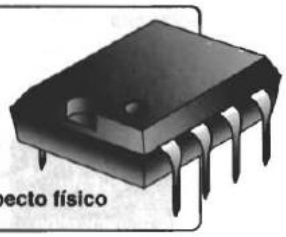
Aspecto físico

Diagrama de pines

El circuito integrado LM3914
Está diseñado especialmente para medir voltajes e indicar su lectura en una barra de LED. Posee internamente una red de comparadores de voltaje, los cuales determinan los niveles adecuados para encender los LED correspondientes. Posee dos modos de funcionamiento, el primero, es en forma de barra y consiste en encender todos los LED que estén por debajo del nivel de voltaje medido. El segundo, es el modo punto y consiste en encender únicamente el LED que indica el voltaje más cercano al voltaje medido. La fuente de alimentación del LM3914 puede variar desde 3 hasta 25 voltios.

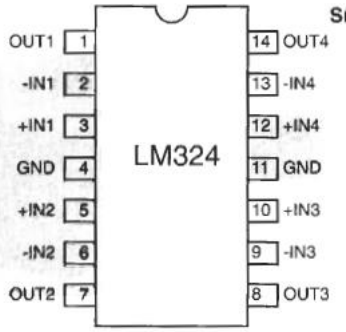
El amplificador operacional LF353
Este circuito integrado contiene dos amplificadores operacionales. Su principal característica es que poseen entradas con alta impedancia, algo fundamental en muchas aplicaciones. La fuente de alimentación aplicada debe ser de polaridad positiva y negativa (+V y -V).

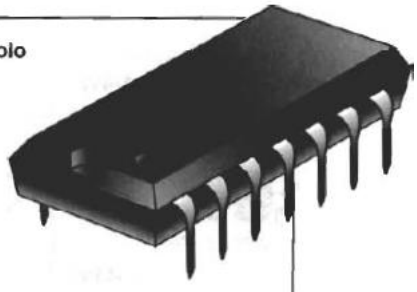




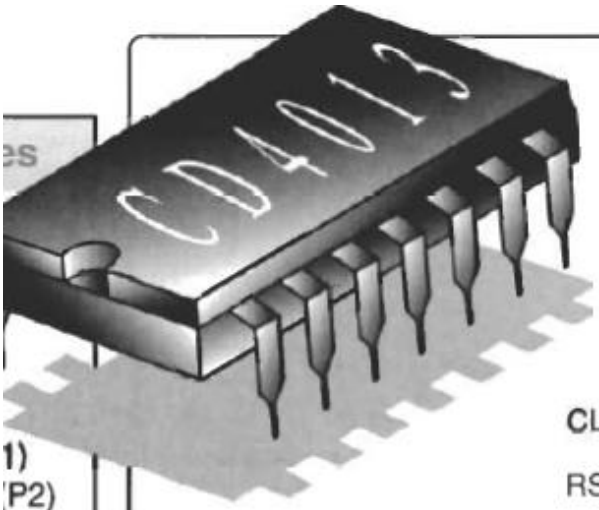
Aspecto físico

El amplificador operacional LM324
Este circuito integrado contiene cuatro amplificadores operacionales en un encapsulado de 14 pines, sus características son similares a las del tradicional LM358. Su principal ventaja es que trabaja con una fuente de alimentación sencilla, es decir con +V y GND.



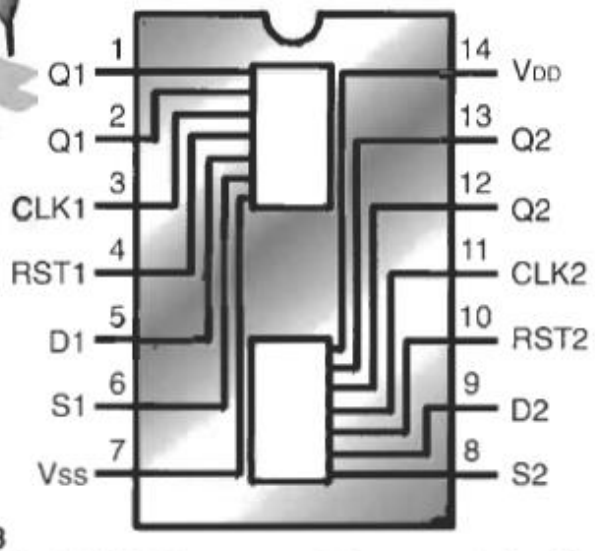


Aspecto físico



Aspecto físico

Diagrama de pines



El circuito integrado CD4013

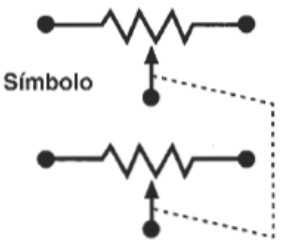
Es un circuito construido en tecnología CMOS que posee internamente dos *flip-flop*, los cuales son módulos de amplia utilización en electrónica digital. Sus aplicaciones son muy variadas, entre ellas se cuentan la transmisión o envio de datos digitales en forma serial (uno detrás de otro), construcción de bases de tiempo, contadores digitales y conmutación de señales de control, entre otros. En este proyecto, utilizamos un flip-flop para construir un monoestable y el otro para conmutar la señal de control que activa y desactiva la carga. La fuente de alimentación del CD4013 puede estar entre 3 y 15 voltios.

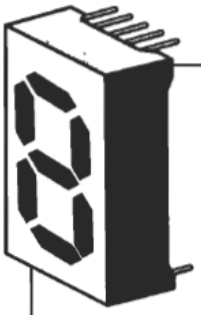
Aspecto físico

El potenciómetro doble

Este componente es similar a un potenciómetro normal, la diferencia radica en que tiene dos resistencias variables manejadas por el mismo eje giratorio. Su principal aplicación son los sistemas de audio ya que con él se pueden ajustar, al mismo tiempo, parámetros de los canales izquierdo y derecho de un sistema de sonido estéreo.

Símbolo



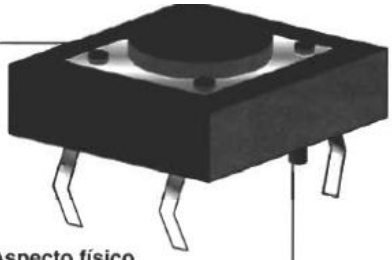


El display de siete segmentos

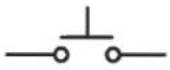
Este componente está formado por un conjunto de LEDs distribuidos de tal forma que, cuando se encienden algunos de ellos, se pueden formar los números del 0 al 9. Este dispositivo es muy utilizado en electrónica ya que permite mostrar números o datos provenientes de algún proceso. Se consiguen en dos versiones, de ánodo común y de cátodo común. El primero, tiene unidos los ánodos de todos los LEDs lo que implica que para encender uno de ellos se deba poner una señal de nivel bajo en el cátodo correspondiente y un nivel alto en el pin común. Para el segundo, la conexión es inversa.

El pulsador para circuito impreso

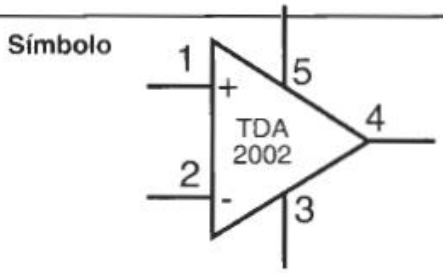
Este componente es básicamente un interruptor cuyos contactos se cierran cada vez que el usuario ejerce una presión sobre el accionador. Su principal ventaja es que puede ser ubicado en el circuito impreso lo que permite una mayor seguridad en su operación. En el mercado, se pueden encontrar pulsadores de diferentes formas y tamaños, esto garantiza que se pueda encontrar un modelo para cada necesidad.

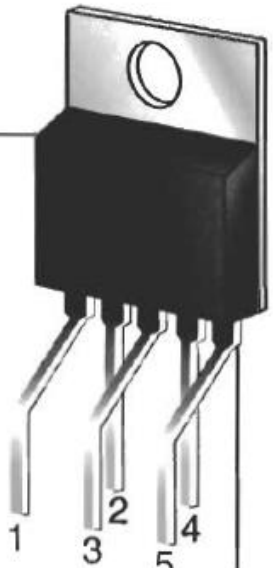


Aspecto físico



Símbolo





Aspecto físico

El circuito integrado TDA2002

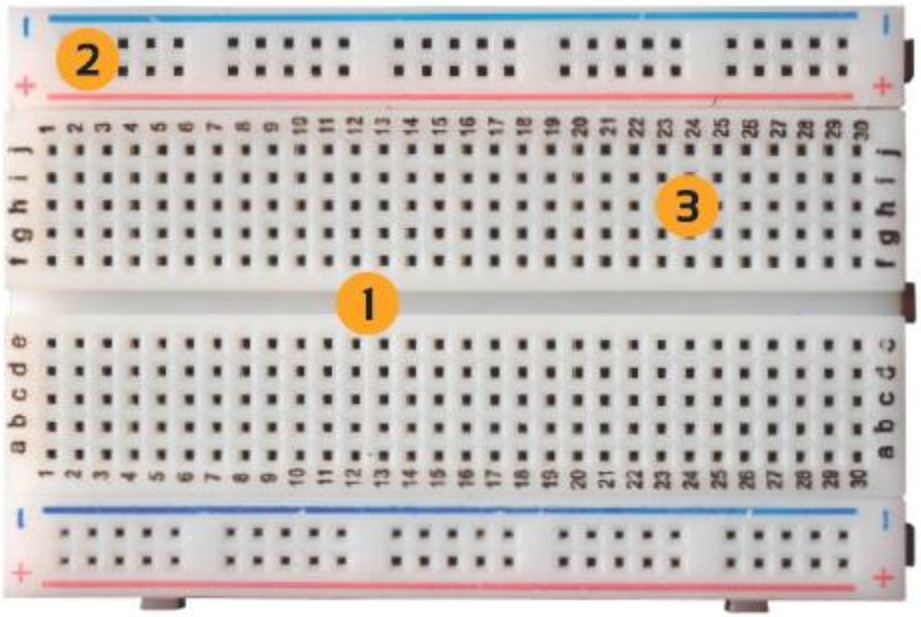
El TDA2002 es un amplificador de potencia de 8W desarrollado para aplicaciones de audio de consumo. Este dispositivo es ofrecido en cápsula de potencia TO-220 de 5 pines lo que representa una gran ventaja ya que permite ahorrar espacio y dinero en el diseño del circuito impreso.

El protoboard

Como el nombre lo indica, se trata de una tableta para montar prototipos, lo que significa que estos montajes son eventuales, por lo que probamos y volvemos a desmontar los componentes, quedando así la protoboard libre y lista para el próximo experimento.

La protoboard, esencialmente, es una placa agujereada con conexiones internas dispuestas en hileras de modo que forman una matriz de taladros a los que podemos directamente "pinchar" componentes y así formar el circuito electrónico deseado. En esta gran cantidad de orificios es donde se pueden insertar con facilidad los terminales de los elementos que conforman el circuitoEstructura de una protoboard

Si observamos con detenimiento veremos que los orificios están etiquetados con números en forma horizontal (1,2,3,…) y con letras (a,b,c,d…,j) en forma vertical. Esto es así para evitar errores en la interconexión de los diferentes elementos del circuito.



Internamente las protoboard están compuestas por láminas que unen diferentes líneas de orificios. En base a esto, podemos dividirla en tres regiones:

• **Canal central:** es la región localizada en el medio de la tableta. Se utiliza para colocar los circuitos integrados.

• **Buses:** estos se localizan en ambos extremos de la protoboard. Las líneas rojas representan los buses positivos o de voltaje (5V), mientras que las líneas azules representan los buses negativos o de conexión a tierra (0V). Los buses conducen de acuerdo a esas líneas y no existe conexión física entre ellas. Normalmente la fuente de poder se conecta en estos buses para proveer de corriente eléctrica a toda la protoboard.

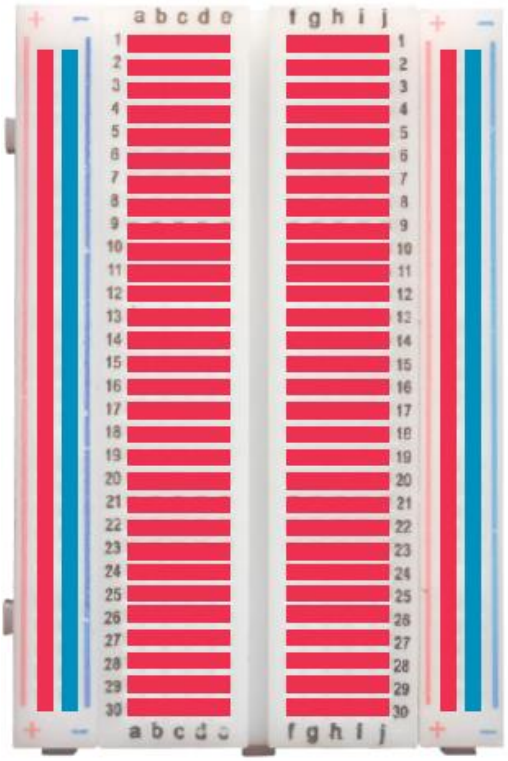
Nota: Los circuitos integrados se colocan en la parte central de la protoboard con una hilera de patas en la parte superior del canal central y la otra hilera en la parte inferior del mismo.

Es habitual conectar los buses de una sección con los de la otra para que ambos lados de la tableta reciban alimentación eléctrica.

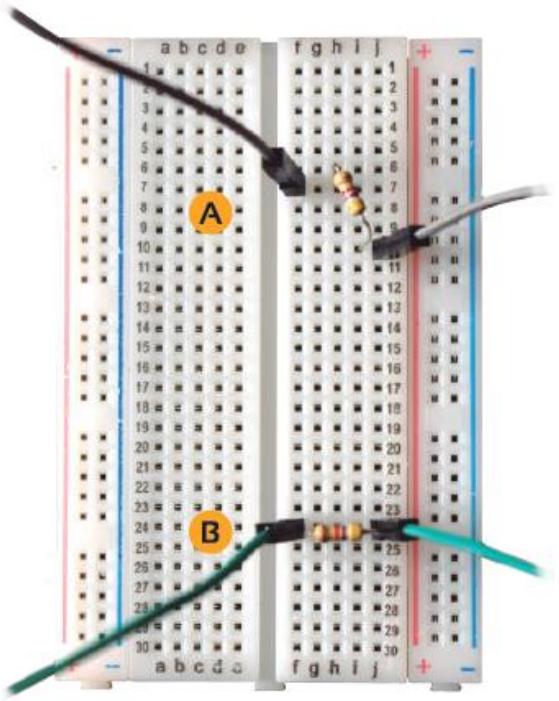
Pistas: estas se localizan en la parte central de la tableta y, a diferencia de los buses, conducen según la hilera en que se encuentran. Es decir que, mientras los buses recorren la proto de manera horizontal, las pistas lo hacen de manera vertical.

¿Cómo se conduce la energía en las protoboards?

Para que se entienda mejor, en el siguiente diagrama veremos el sentido en el que viaja la corriente eléctrica a través de la tableta perforada ya que estas vías están determinadas por una serie de laminillas internas que se encuentran recubiertas por el plástico de la carcasa y no pueden verse a simple vista.



Referencias
Conexión a tierra (0V)
Corriente eléctrica (5V)



Nota: Al trabajar en una misma hilera (B) la corriente tiende a circular por el paso de menor resistencia, por lo que si colocamos una resistencia en la misma hilera que los cables la electricidad correrá de cable a cable sin pasar por la resistencia. Por lo tanto, **recomendamos trabajar con los cables en dos hileras diferentes, usando las resistencias como puente entre ambas** como se puede ver en (A)

Ventajas de las protoboards

Las protoboard tienen la ventaja de ser de rápida ejecución, sin necesidad de realizar soldaduras, ni empalmes ni tampoco utilizar otras herramientas. Si el circuito bajo prueba no funciona de manera satisfactoria, se puede modificar sin afectar los elementos que lo conforman. Sin embargo los circuitos que montemos deberán ser más bien sencillos para evitar fallos y complicaciones en exceso al tener cruzados demasiados cables y complementos.

Se les puede conectar casi cualquier tipo de componente electrónico, incluyendo diferentes tamaños de circuitos integrados. Los únicos elementos que no se pueden conectar a la protoboard son elementos que tienen terminales muy gruesos. Normalmente los elementos se conectan sin problemas en forma externa, a veces con ayuda de cables.

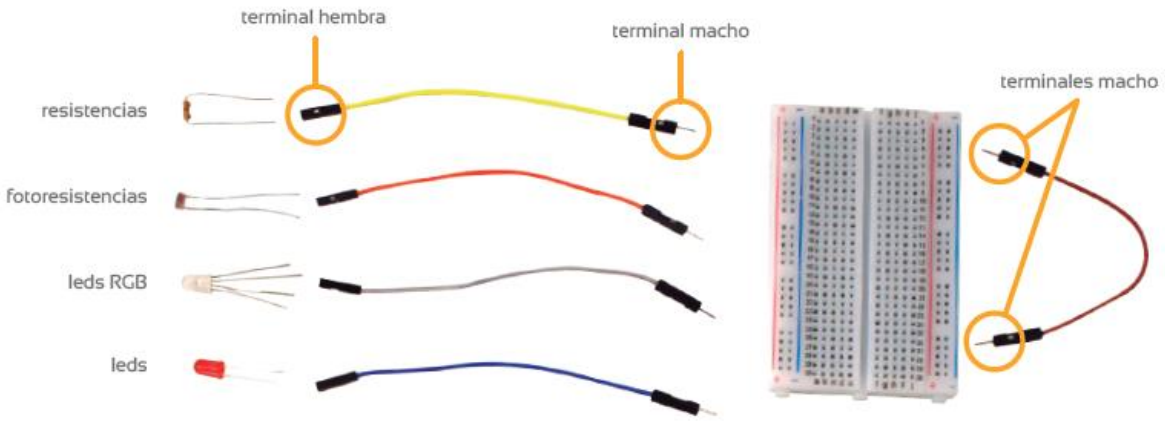
Cable puente

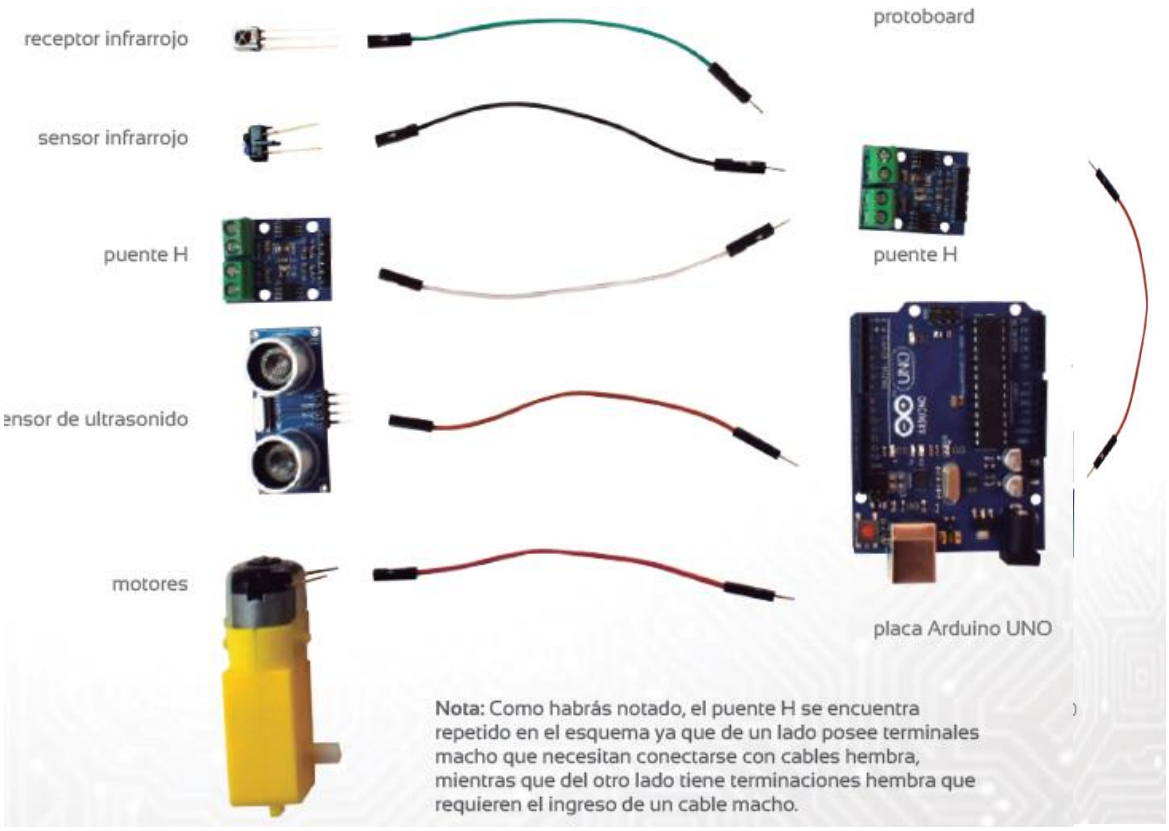
Al igual que cualquier enchufe de nuestra casa, encontramos terminales hembras (el enchufe clásico de pared) y machos, como los enchufes de los electrodomésticos. Su conexión es intuitiva: el macho y el hembra se conectan entre sí, mientras que hembra-hembra o macho-macho no lo hacen.

Un cable puente es un cable con un conector en cada punta (ya sea macho o hembra), que se usa normalmente para interconectar entre sí los componentes en un circuito electrónico.

En el kit vamos a encontrar cables de 10cm. y 20cm. los cuales nos van a facilitar los distintos ensambles eléctricos. Algunos tienen una terminación macho y otra hembra, y otros tienen ambos terminales machos.

A continuación veremos qué componentes de nuestro robot precisan un conector hembra y cuáles un conector macho.





Nota: Como habrás notado, el puente H se encuentra repetido en el esquema ya que de un lado posee terminales macho que necesitan conectarse con cables hembra, mientras que del otro lado tiene terminaciones hembra que requieren el ingreso de un cable macho.

CIRCUITOS RECTIFICADORES

La mayoría de los dispositivos electrónicos como las televisiones de alta definición, los reproductores de DVD/CD y las computadoras necesitan una tensión continua para funcionar correctamente. Como la red eléctrica proporciona tensión alterna, lo primero que tenemos que hacer es convertir la tensión alterna de la red en tensión continua.

La parte del dispositivo electrónico que genera esta tensión continua se denomina fuente de alimentación. Dentro de las fuentes de alimentación hay circuitos que permiten que la corriente fluya sólo en una dirección. Estos circuitos son los rectificadores. En esta parte del apunte nos ocuparemos de los circuitos rectificadores, filtros, recortadores, cambiadores de nivel y multiplicadores de tensión.

El rectificador de media onda

La Figura muestra un circuito rectificador de media onda. La fuente de alterna produce una tensión sinusoidal.

Suponiendo un diodo ideal, el semiciclo positivo de la tensión de fuente polarizará el diodo en directa. Dado que el interruptor está cerrado, como se muestra en la Figura 1b, el semiciclo positivo de la tensión de la fuente aparecerá en la resistencia de carga. En el semiciclo negativo, el diodo está polarizado en inversa. En este caso, el diodo ideal se comportará como un interruptor abierto, como se ve en la Figura 1c, y no caerá tensión en la resistencia de carga.

En el rectificador de media onda de la Figura 2b, el diodo conduce durante los semiciclos positivos pero no durante los semiciclos negativos. A causa de esto, el circuito recorta los semiciclos negativos, como se muestra en la Figura 2c. Una forma de onda como ésta se denomina señal de media onda. Esta tensión de media onda produce una corriente de carga unidireccional. Esto significa que sólo circula en una dirección. Si se invirtiera el diodo, los pulsos de salida serían negativos.

Una señal de media onda como la mostrada en la Figura 2c es una tensión continua pulsante que crece hasta un máximo, decrece hasta cero y permanece en 0 durante el semiciclo negativo. Éste no es el tipo de tensión continua que se necesita para los equipos electrónicos. Lo que se necesita es una tensión constante, la misma que se obtiene de una batería. Para obtener este tipo de tensión, necesitamos filtrar la señal de media onda.

Figura1:

(*a*) Rectificador de media onda ideal. (*b*) Semiciclo positivo. (*c*) Semiciclo negativo.

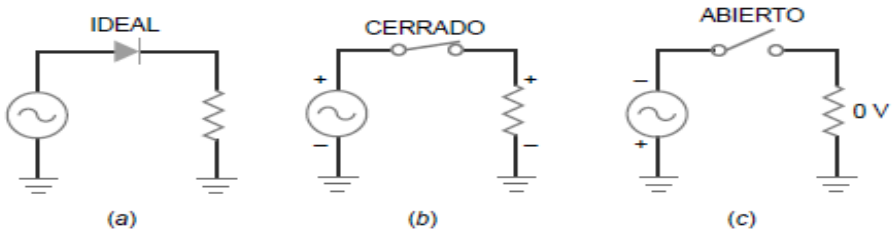
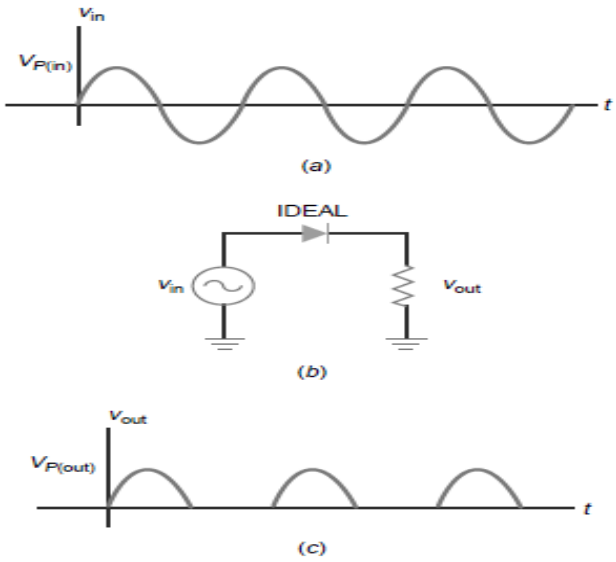


Figura 2:

(*a*) Entrada al rectificador de media onda. (*b*) Circuito. (*c*) Salida del rectificador de media onda.



El rectificador de onda completa

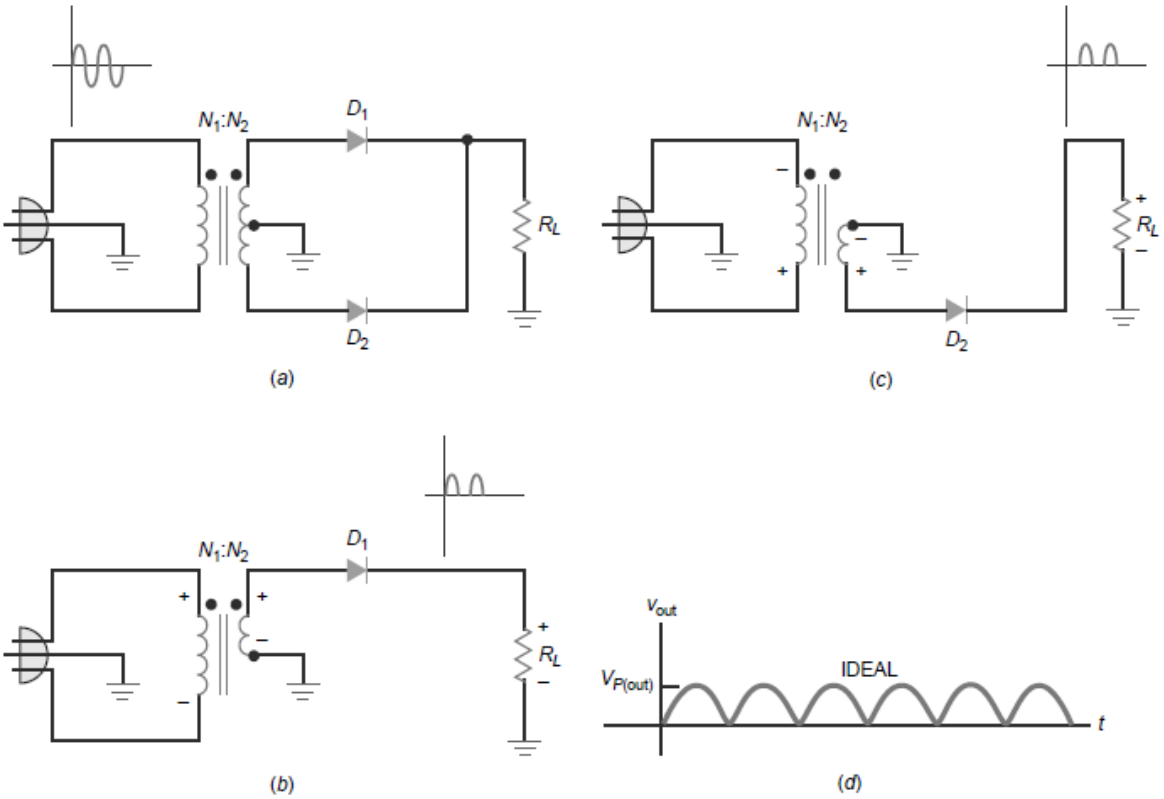
La Figura 3a muestra un rectificador de onda completa. Observe que la conexión intermedia del devanado del secundario está conectada a masa. El circuito de onda completa es equivalente a dos rectificadores de media onda.

Debido a la conexión central, cada uno de estos rectificadores tiene una tensión de entrada igual a la mitad de la tensión del secundario. El diodo D1 conduce durante el semiciclo positivo y el diodo D2 conduce durante el semiciclo negativo. Como resultado, la corriente de carga rectificada fluye durante ambos semiciclos. El rectificador de onda completa se comporta como dos rectificadores de media onda en oposición.

La Figura 3b muestra el circuito equivalente para el semiciclo positivo. Como se puede ver, D1 está polarizado en directa, lo que produce una tensión positiva en la carga, como se indica mediante la polaridad más-menos en la resistencia de carga. La Figura 3c muestra el circuito equivalente para el semiciclo negativo. Esta vez, D2 está polarizado en directa. Como se puede comprobar, esto también produce una tensión de carga positiva.

Durante ambos semiciclos, la tensión en la carga tiene la misma polaridad y la corriente por la carga circula en la misma dirección. El circuito se denomina rectificador de onda completa, porque ha transformado la tensión alterna de entrada en una tensión de salida pulsante continua como la mostrada en la Figura 3d. Esta forma de onda tiene algunas propiedades interesantes que se exponen a continuación.

Figura 3: (a) Rectificador de onda completa. (b) Circuito equivalente para el semiciclo positivo. (c) Circuito equivalente para el semiciclo negativo. (d) Salida de onda completa.



El rectificador en puente

La Figura 4a muestra un rectificador en puente. El rectificador en puente es similar a un rectificador de onda completa porque genera una tensión de salida de onda completa. Los diodos D1 y D2 conducen en el semiciclo positivo y los diodos D3 y D4 conducen en el semiciclo negativo. Como resultado, la corriente por la carga rectificada circula durante ambos semiciclos.

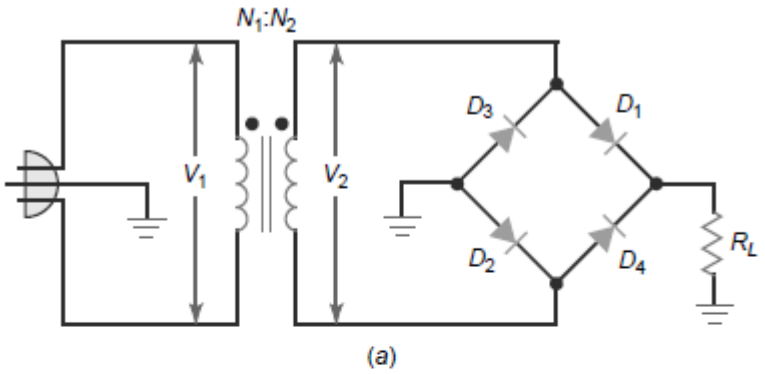
La Figura 4b muestra el circuito equivalente para el semiciclo positivo. Como puede ver, D1 y D2 están polarizados en directa, lo que produce una tensión positiva en la carga, como se indica mediante la polaridad másmenos en la resistencia de carga. Para recordar esta idea, imagine D2 cortocircuitado. De este modo, el circuito que nos queda es un rectificador de media onda, con el que ya estamos familiarizados.

La Figura 4c presenta el circuito equivalente para el semiciclo negativo. Esta vez, D3 y D4 están polarizados en directa, lo que también produce una tensión positiva en la carga. Si imagina ahora D3 cortocircuitado, el circuito será similar a un rectificador de media onda. Por tanto, el rectificador en puente actúa como dos rectificadores de media onda en oposición.

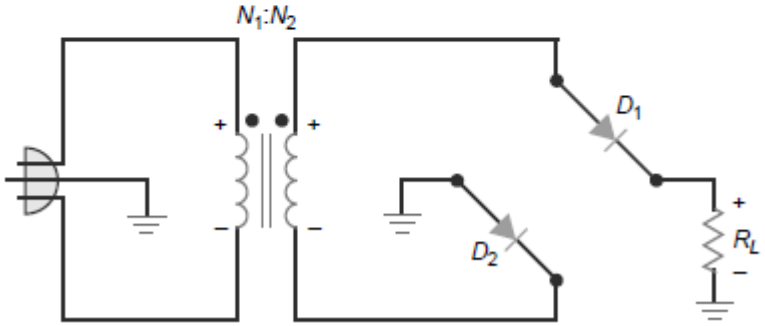
Durante ambos semiciclos, la tensión en la carga tiene la misma polaridad y la corriente de carga circula en la misma dirección. El circuito ha transformado la tensión de entrada alterna en una señal de salida continua pulsante, como se muestra en la Figura 4.8d. Observe la ventaja de este tipo de rectificación de onda completa sobre la versión con conexión central estudiada en la sección anterior: puede emplearse toda la tensión del secundario.

La Figura 4e muestra encapsulados de rectificadores en puente que contienen cuatro diodos.

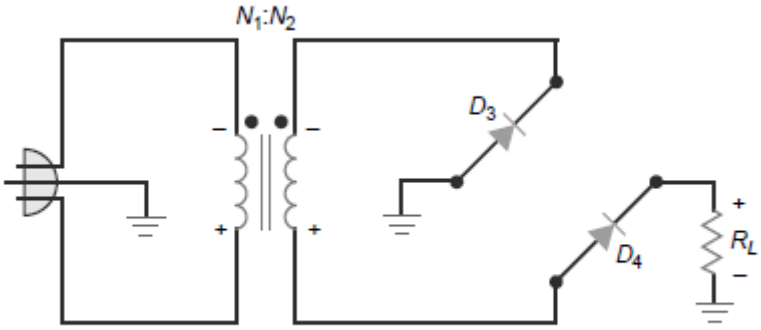
Figura 4: (a) Rectificador en puente. (b) Circuito equivalente para el semiciclo positivo. (c) Circuito equivalente para el semiciclo negativo (d) Salida de onda completa. (e) Encapsulados de rectificadores en puente.



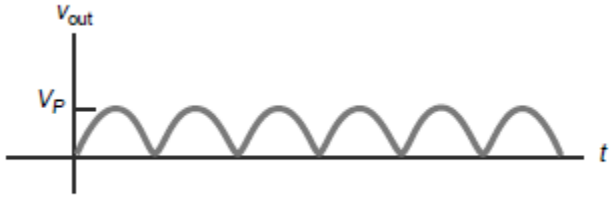
(a)



(b)



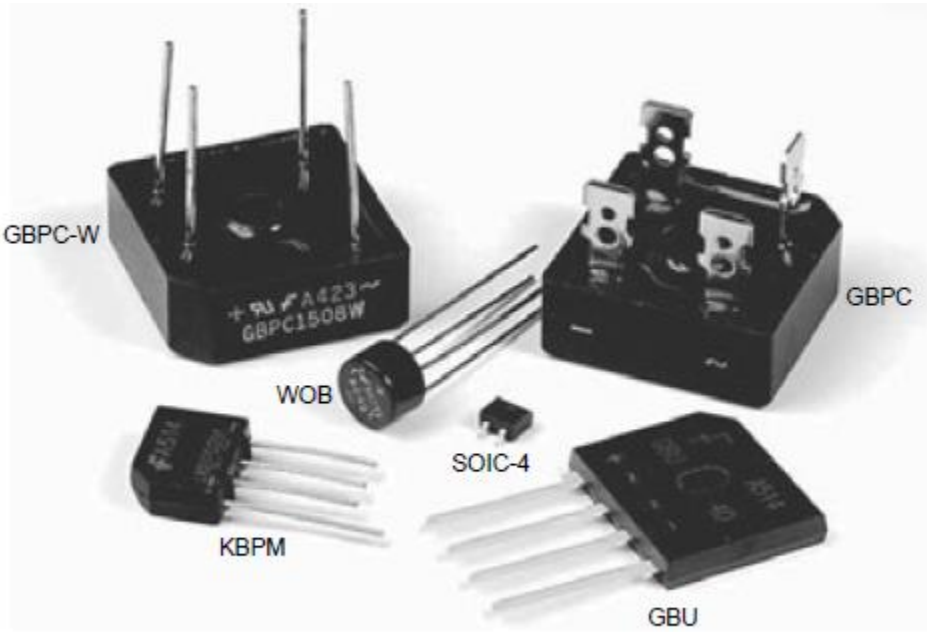
(c)



(d)

PROFESOR TÉCNICO Y DE MATEMÁTICAS MELGAREJO EMANUEL

ELECTRÓNICA – 5° AÑO – EETP N° 285



(e)

Fuentes

Todos los dispositivos electrónicos vistos en los capítulos anteriores necesitan estar alimentados para funcionar.

Tanto los componentes pasivos (resistencias, condensadores, etc.) como los activos (aquellos con una respuesta no lineal, el ejemplo más claro son los transistores) son, esencialmente, consumidores de potencia. Por lo tanto, es necesaria la existencia de algún otro componente capaz de proporcionarles esa potencia: las fuentes de alimentación.

Es importante aclarar aquí que el término "fuente" de alimentación puede dar lugar a cierto malentendido. Aunque muchas veces se considera que esa fuente es la que genera la potencia para hacer funcionar un determinado circuito, lo cierto es que la fuente a su vez necesita estar alimentada. En sentido estricto, la fuente de alimentación no genera la corriente eléctrica, si no que transforma un tipo de corriente determinado en otro apropiado para alimentar el circuito. Así, las fuentes que se van a estudiar en este capítulo transformarán la corriente alterna (apropiada para la distribución) en corriente continua de baja tensión. Este tipo de fuentes son las más habituales al trabajar con circuitos electrónicos.

Se van a estudiar los dos grandes tipos de fuentes de corriente continua, con sus diferencias y características propias, las etapas que las forman y las consideraciones a tener en cuenta para su diseño y utilización.

TIPOS Y LIMITACIONES

La práctica totalidad de las fuentes de alimentación discretas reales son fuentes de tensión. Si bien para la polarización de componentes activos dentro de un circuito integrado es frecuente el uso de fuentes de intensidad, es harto improbable encontrarse con una fuente de este tipo en forma de dispositivo en un laboratorio de electrónica. Se van a considerar por lo tanto aquí, únicamente, las fuentes de tensión.
Como su propio nombre indica, una fuente de tensión ha de ser capaz de mantener una tensión de salida constante para cualquier valor de la carga que esté alimentando. Así, en la Figura 5(a), aparece una fuente de 5V proporcionando alimentación a una carga con una resistencia equivalente de 1 K, es decir que la fuente estará generando una intensidad de corriente eléctrica de:

$$I = \frac{5V}{1 \cdot 10^3 \Omega} = 5 \cdot 10^{-3} A = 5mA$$

Y la potencia que estará proporcionando al circuito será:

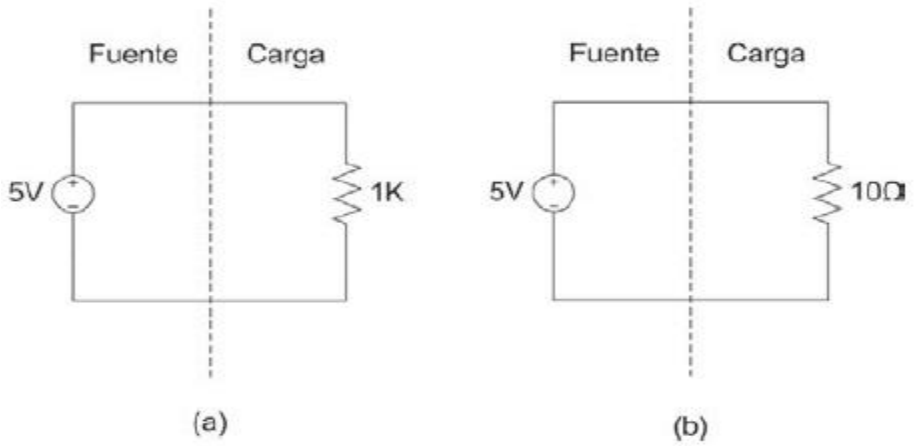
$$P = V \cdot I = 5V \cdot 5 \cdot 10^{-3} A = 25 \cdot 10^{-3} W = 25mW$$

Ahora bien, si cambiamos la carga por una de 10 □, tal y como aparece en la Figura 5(b), los valores de intensidad y potencia generados por la fuente cambiarán:

$$I = \frac{5V}{10\Omega} = 5 \cdot 10^{-1} A = 500mA$$

$$P = V \cdot I = 5V \cdot 5 \cdot 10^{-1} A = 25 \cdot 10^{-1} W = 2,5W$$

Figura 5: Fuente de tensión alimentando diferentes cargas



Para lograr esta independencia de la tensión de salida con la intensidad solicitada por la carga, las fuentes de alimentación utilizan un regulador lineal, que no es otra cosa que un componente con una relación i-v casi vertical, es decir, de tensión prácticamente constante para cualquier valor de la intensidad. Estos reguladores lineales pueden ser de muchas clases, desde aquellos basados en transistores hasta diodos zener; a lo largo del presente capítulo se estudiarán las diferentes técnicas de regulación. Es a causa del empleo de estos reguladores lineales que a este tipo de fuentes de alimentación se las denomina fuentes de alimentación lineales.

Lógicamente, el que la fuente proporcione un nivel de tensión constante no quiere decir que sea capaz de generar potencias arbitrariamente altas. Toda fuente tiene un límite de potencia máxima que es capaz de entregar a la carga, por encima de la cual se correría el riesgo de dañar los componentes internos de la fuente. De este modo, si a la fuente de tensión de los ejemplos anteriores (Figura 5) se le supone un límite de potencia de 3 W, y se le conecta una carga de 5Ω, tendríamos:

$$P = V \cdot I = \frac{V^2}{R} = \frac{(5V)^2}{5\Omega} = 5W$$

Y la fuente podría resultar dañada. Para evitar esto, muchas fuentes tienen limitadores de intensidad, que disminuyen la tensión de salida cuando se alcanza una determinada intensidad, y así evitan que se sobrepasen la potencia máxima soportada por la fuente. Es responsabilidad del operador de la fuente ajustar el limitador de intensidad a un valor adecuado para la tensión que esté proporcionando la fuente.

En el caso del ejemplo, si la tensión entregada a la carga es de 5 V, y la potencia límite de la fuente son 3 W, la intensidad máxima que puede generar la fuente sin resultar dañada es de:

$$I = \frac{P}{V} = \frac{3W}{5V} = 0,6A = 600mA$$

Y el usuario de la fuente debe asegurarse de ajustar el limitador a ese nivel.

¿Qué ocurre si colocamos una carga que requiera una intensidad mayor de la permitida por el limitador? Si a la fuente considerada se le conecta una resistencia de 5 ohm como carga, la intensidad que saldría de la fuente (en ausencia de limitación de intensidad) sería:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{5V}{5\Omega} = 1A$$

Por lo que el limitador entrará en efecto, limitando la intensidad a 600 mA. Como la relación i-v en la resistencia siempre viene dada por el valor de ésta, el efecto que esta limitación produce no es otro que una caída de tensión en la salida de la fuente, que no proporcionará ya 5 V sino:

$$V = I \cdot R = 600mA \cdot 5\Omega = 6 \cdot 10^{-1} A \cdot 5\Omega = 3V$$

Con lo cual la potencia generada por la fuente (y disipada en la carga) será:

$$P = V \cdot I = 3V \cdot 6 \cdot 10^{-1} A = 1{,}8W$$

Por debajo de la potencia máxima generable por la fuente.

Si a una fuente de tensión se le conecta una carga tal que la intensidad proporcionada por la fuente al circuito debería ser mayor a la que le permite el limitador de intensidad, el resultado es una caída de tensión en los bornes de la fuente.

Aunque también utilizan un regulador lineal, hay un tipo de fuente que se considera diferenciado de las fuentes lineales y que también se estudiará en este capítulo: las fuentes conmutadas. La diferencia con las anteriores estriba en la forma en que la corriente alterna de entrada se escala a valores de tensión apropiados para el resto de las etapas de la fuente. Mientras que las fuentes lineales, en sentido estricto, utilizan un transformador operando sobre la señal alterna de entrada, las fuentes conmutadas elevan la frecuencia de esta señal alterna mediante el una serie de transistores cambiando muy rápidamente entre sus zonas de corte y saturación; esta señal de muy alta frecuencia puede ser posteriormente transformada con un transformador mucho más pequeño (y barato). En el apartado correspondiente se verá con más detalle el funcionamiento de este tipo de fuentes.

Los elementos principales que forman una fuente de alimentación conmutada son: rectificación, filtrado, circuito de regulación, circuito de control, fuente primaria y convertidor cc/cc.

FUENTES DE ALIMENTACIÓN LINEALES

Una fuente de alimentación que proporcione un determinado nivel de tensión de corriente continua a partir de corriente alterna de distribución tiene que estar formada, como mínimo, por las etapas de transformación, rectificación, y filtrado. Como se verá en detalle al estudiar cada una de ellas, la combinación de estas tres fases proporciona una tensión de corriente continua dependiente del valor de intensidad entregado por la fuente. Es decir, que dependiendo de la carga que se conecte a la fuente de alimentación, la tensión de salida puede sufrir variaciones.

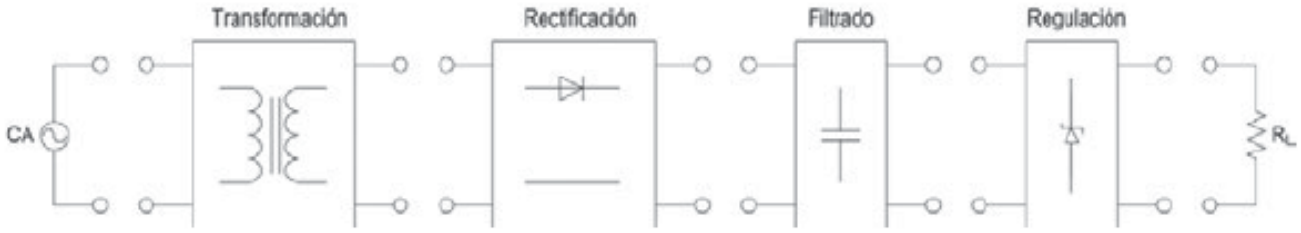
Esta dependencia no es apropiada para una fuente de tensión, que por definición ha de proporcionar un valor de tensión en sus bornes independiente de la intensidad entregada (siempre que la potencia generada por la fuente esté dentro de sus parámetros máximos). Para lograr esto, se introduce una cuarta etapa en las fuentes de alimentación, la etapa de regulación. Para ello se emplean los reguladores lineales, de donde proviene el nombre de fuentes de alimentación lineales o incluso fuentes de alimentación reguladas lineales.

De este modo, una fuente de alimentación lineal estará formada siempre por cuatro etapas (Figura 6.2):

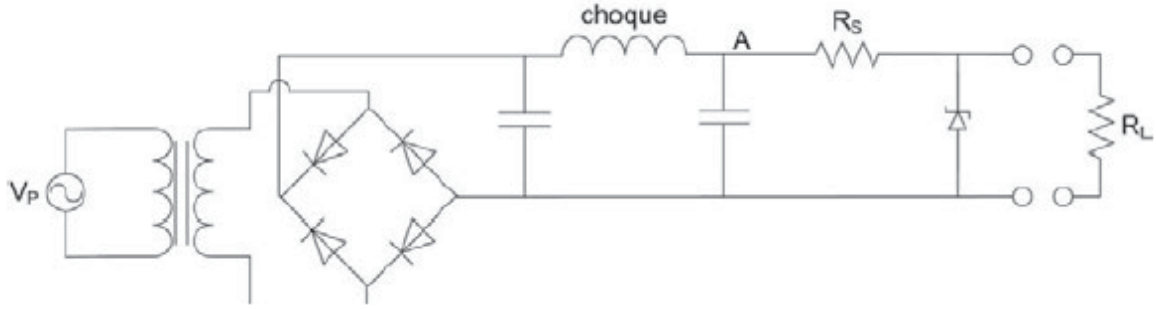
- Transformación.

- Rectificación.
- Filtrado.
- Regulación.

Etapas de una fuente de alimentación lineal



Fuente completa con regulador paralelo a diodo zener



FUENTES CONMUTADAS

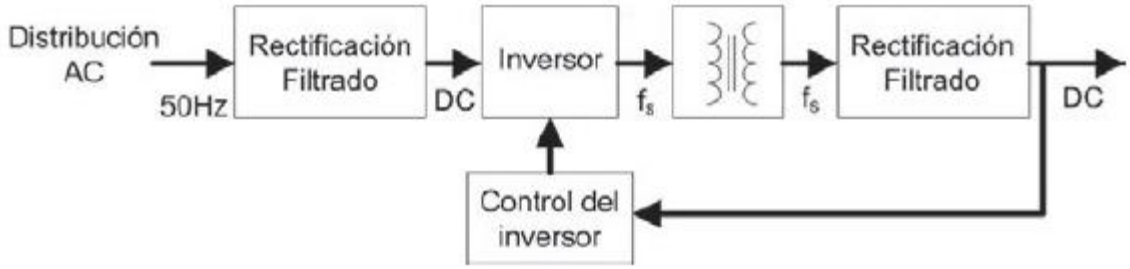
Las fuentes de alimentación lineales que se han estudiado hasta ahora tienen la ventaja de ser relativamente simples en su diseño, y comparativamente baratas cuando se utilizan para bajas potencias (menos de unos 25 W). Sin embargo tienen dos problemas importantes:

- Necesitan un transformador de baja frecuencia (50 Hz en Europa). Un transformador es más grande y pesado cuanta menor es su frecuencia de funcionamiento, por lo cual en estas fuentes se pueden llegar a tamaños considerables.
- La regulación se realiza mediante disipación de calor. En las fuentes lineales la tensión que alcanza la etapa de regulación está por encima de la tensión de salida, y esta diferencia es disipada en el propio regulador. Sería deseable hallar un sistema de regulación que minimizase ese exceso de tensión sin consumir tanta potencia.

Las fuentes conmutadas, que se verán a continuación, solucionan estos problemas mediante el empleo de conversores
DC-DC. En estas fuentes, la señal de entrada proveniente de la distribución es rectificada y filtrada en primer lugar, obteniendo una señal continua (no regulada). A continuación esta señal se introduce en un inversor, que mediante el empleo de transistores funcionando en sus zonas de corte y saturación “trocea” la señal continua generando una señal cuadrada a muy alta frecuencia. Esta señal de alta frecuencia pasa después a un transformador, que la escala al nivel de salida deseado (además de proporcionar aislamiento eléctrico) para ser

posteriormente rectificada y filtrada de nuevo, obteniéndose así una tensión continua de salida al nivel deseado. La Figura 6.24 muestra un diagrama general de una fuente conmutada.

Etapas de una fuente conmutada típica



Las fuentes de alimentación conmutadas suponen una mejora debido a que su rendimiento es bastante mejor, ya que consume menos y ocupa menos espacio al no necesitar un transformador reductor de potencia a la entrada.

PROFESOR TÉCNICO Y DE MATEMÁTICAS MELGAREJO EMANUEL

ELECTRÓNICA – 5° AÑO – EETP N° 285

Sensores y Transductores

En todo proceso a controlar, es preciso obtener mediciones de distintas variables del mismo para poder tomar acción sobre estas u otras variables.

Las variables más comúnmente medidas y monitoreadas son: Temperatura, nivel, presión y caudal. En menor medidas otras como humedad, etc.

Sensores

Los sensores (latín: sensus = sensación, percepción) son también denominados como sensores de valor a medir o receptores de valor a medir (transductores). Su función es medir magnitudes físicas y convertirlas en diferentes magnitudes – en la mayoría de los casos eléctricas-. Estas magnitudes eléctricas frecuentemente tienen que ser preparadas y posteriormente procesadas en circuitos subsecuentes. Los sensores son por lo tanto los primeros miembros en las cadenas de medición, los cuales, debido al creciente grado de automatización, se están volviendo cada vez más importantes.

Un amplio rango de componentes es clasificado como sensores. Así, por ejemplo, interruptores mecánicos simples, los cuales pueden solamente entregar información digital SI/NO son denominados sensores, así como las muy complejas estructuras que contienen toda la electrónica de condicionamiento y procesamiento de la señal, en adición al elemento sensor real.

Los sensores pueden ser clasificados de acuerdo a diferentes criterios. Estos pueden ser clasificados, por ejemplo, como sensores *pasivos* y *activos*. Los sensores pasivos requieren energía auxiliar para realizar las mediciones, mientras que los sensores activos pueden hacerlo sin ella. Un método más ventajoso de clasificación de los sensores es de acuerdo a la magnitud de influencia física utilizada. La figura 1 muestra este sistema de clasificación. En la tabla, diferentes tipos de sensores están clasificados bajo cinco magnitudes de influencia importantes. Sin embargo, el diagrama solo representa un pequeño extracto de un rango mucho más amplio de sensores.

En la mayoría de los sensores mostrados en la figura, la resistencia del material sensor es cambiada por el efecto físico concerniente. Así el **varistor** (del inglés = variable resistor), el cuál frecuentemente es denominado también como VDR (Voltage Dependent Resistor = resistencia dependiente de la tensión), varia su resistencia en función de la tensión aplicada.

Contrariamente, los sensores de medición por resistencia (termómetros) y los termistores varían su resistencia en función de la temperatura ambiental. Esta dependencia es utilizada principalmente también en sensores de temperatura de Si y en sensores de temperatura integrados, tomándose en cuenta que se debe medir la tensión variable en la juntura PN. El funcionamiento de las placas de campo y de los generadores Hall se basa en una ley

electrodinámica elemental de acuerdo a la cual los electrones en movimiento son desviados por un campo magnético bajo ciertas condiciones. La fuerza que aparece se la denomina fuerza de Lorentz. Este efecto se aprovecha en las placas de campo como una variación de resistencia. Cuanto más fuerte es el campo magnético, más baja se vuelve la resistencia de la placa de campo, pero no hay ninguna proporcionalidad entre la densidad de flujo magnético y el valor de la resistencia.

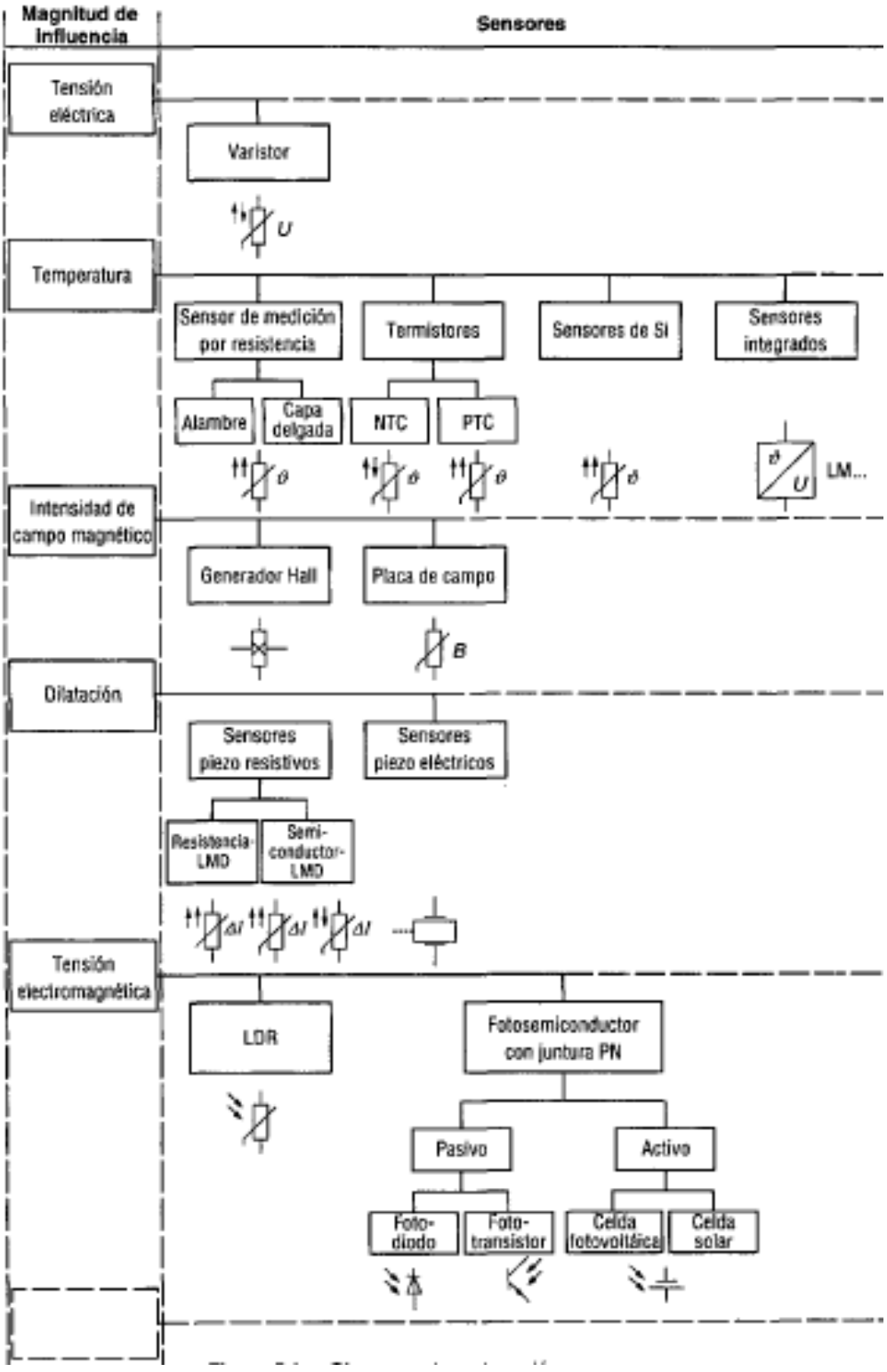
Como consecuencia de la desviación de los electrones en movimiento por la fuerza de Lorentz, en algunos materiales semiconductores se da una tensión útil, llamada “tensión Hall”. Esta fue denominada en honor al descubridor de este efecto, el físico norteamericano Hall, y de allí también la denominación de generador Hall.

Las placas de campo y los generadores Hall son utilizados especialmente para mediciones de campos magnéticos, pero también como sensores dependientes del campo magnético en la técnica de control. En los sensores piezo-resistivos (griego: piezein =presionar), aparece una variación de la resistencia del material sensor como resultado de la extensión de una placa de Si bajo esfuerzo de compresión o de tracción.

Por otra parte, en los sensores ***piezo – eléctricos*** se genera una tensión eléctrica entra las dos superficies opuestas del material sensor por medio de una fuerza aplicada externamente.

Los sensores sensibles a la luz pueden también ser clasificados como pasivos o activos. En los LDRs (Light Dependent Resistor = resistencia dependiente de la luz) por ejemplo, la resistencia varía en función de la intensidad de la luz. Por lo tanto, estos son denominados como fotorresistencias. En los fotosemiconductores con una juntura PN se genera una corriente eléctrica a causa de luz incidente. Por lo tanto la radiación electromagnética en energía eléctrica.

Fig 1: Diagrama de ordenación para sensores.



Sensores de Temperatura

Los sensores más comunes son: **Termocupla, termorresistencia** y elementos de estado sólido.

A fin de seleccionar el mejor sensor para una aplicación dada, se deben considerar varios factores, como ser rangos de temperatura, exactitud, velocidad de respuesta, costo y requerimientos de mantenimiento. Estos factores serán analizados a continuación en relación a aquellos dispositivos de uso más común en las industrias de proceso: termocuplas, termorresistencias, termistores, sistemas de dilatación y pirómetros de radiación u ópticos.

En la Tabla se listan los rangos de temperatura medidos normalmente mediante sensores estándar.

Estos rangos no representan los extremos alcanzables, sino los límites que pueden medirse con los dispositivos disponibles por lo general en el mercado y que son suministrados por la mayoría de los fabricantes. Se pueden medir mayores y menores temperaturas, pero generalmente con una menor exactitud y a un mayor costo.

SISTEMA	RANGO EN ºC
Termocuplas	-200 a 2800
Sistemas de dilatación (capilares o bimetálicos)	-195 a 760
Termorresistencias	-250 a 850
Termistores	-195 a 450
Pirómetros de radiación	-40 a 4000

Termorresistencias

El principio de medición de la temperatura con termómetros de resistencia está basado en la variación de valor de la resistencia eléctrica de un conductor metálico en función de la temperatura.

De una forma aproximada, pero no por ello lejos de lo real, la variación de la resistencia eléctrica de un metal a raíz de la temperatura puede presentarse mediante la expresión:

$$R(t) = R_0 (1 + \alpha t)$$

Donde:

R(t): Resistencia eléctrica a la temperatura “t”

R0: Resistencia eléctrica a la temperatura de 0 Cº

α: Coeficiente de variación de la resistencia eléctrica en función de la temperatura medida en ºC;

t: Temperatura medida en ºC.

El coeficiente "**α**" varía a raíz de la temperatura y ese hecho debe considerarse en los termómetros de resistencia, sobre todo cuando éstos se utilizan para medición en un intervalo de temperatura superior a los 100ºC.

Entre los metales más adecuados que se utilizan para termometría de resistencia están:

Aleación de Rh 99,5% + Fe 0,5%:

Se usa en la medición de temperatura en la franja de 0,5K a 25K (-272,65ºC a -248,15ºC);

Cobre:

Se utiliza en la medición de temperatura en la franja de 193,15K a 533,15 K (-80ºC a 260ºC).

Posee una linealidad de 0,1ºC en un intervalo de temperatura de 200ºC.

Sin embargo, su baja resistencia a la oxidación limita su franja de temperatura de utilización.

Níquel:

Utilizado para medición de temperatura en la franja de 213,15K a 453,15K (-60ºC a 180ºC).

Los principales atractivos en su utilización son su bajo costo y la alta sensibilidad. Su principal desventaja es la baja linealidad.

Platino:

Utilizado para medición de temperaturas en la franja de 25K a 1235K (-248ºC a 962ºC). Es el metal más utilizado en la construcción de termómetros de resistencia por su amplia franja de utilización, tiene buena linealidad y mejor resistencia a la oxidación. De este material está construido el sensor más conocido, llamado PT100. Debe su nombre a que a 0ºC tiene una resistencia de 100 Ω.

Tipos de Bulbos

Bulbos de Cerámica

El cable es bobinado en forma helicoidal y encapsulado en cerámica. Entre todos los tipos de bulbos es el que permite utilizarse en toda franja de temperatura, proporciona mayor estabilidad y hay versiones para ser utilizadas con aplicaciones sujetas a choques mecánicos y vibración.

Bulbos de Vidrio

El cable es bobinado en forma bifilar directamente sobre una base de vidrio y posteriormente revestido también con vidrio. Este ensamblaje permite su utilización en condiciones severas de choque mecánico y vibración y la cápsula de vidrio permite la utilización directa en soluciones ácidas, alcalinas y líquidos orgánicos.

Bulbos de Película Fina

En este tipo de bulbo, el platino se deposita en un substrato cerámico que permite la fabricación de bulbos con dimensiones reducidas tanto en la versión plana como en la versión cilíndrica.

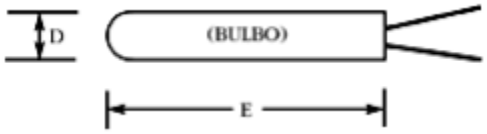
Sistemas de Conexiones

Configuración básica del elemento sensor.

Esta figura representa el elemento sensor de un TRPI, el cual tiene como dimensiones típicas:

- E: 10 mm a 40 mm;

- D: 1 mm a 4 mm;



En la extremidad del bulbo van soldados los cables de conexión acondicionados en un soporte adecuado. El conjunto es introducido en el interior de un tubo metálico.

Como el valor de resistencia que permite determinar la temperatura es solamente la resistencia del bulbo y no a la resistencia de los cables de conexión, existen tres esquemas básicos de conexión del bulbo.

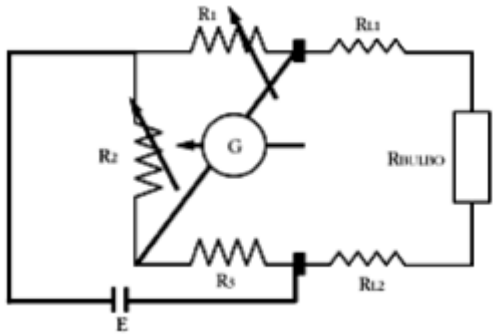
Justificamos a cada uno de ellos:

Conexión a Dos Cables

Se tendrá la siguiente relación entre las resistencias.

$R_{BULBO} + RL1 + RL2 = R1.R3 / R2$

Si R3 = R2 entonces $R_{BULBO} + RL1 + RL2 = R1$. Una vez que se conoce R1, queda determinado el valor de $R_{BULBO} + RL1 + RL2$.



Es evidente que al valor de la resistencia del bulbo se suman los valores de la resistencia de los cables de conexión, hecho que disminuye la calidad de la medición con el consecuente error en la determinación de temperatura.

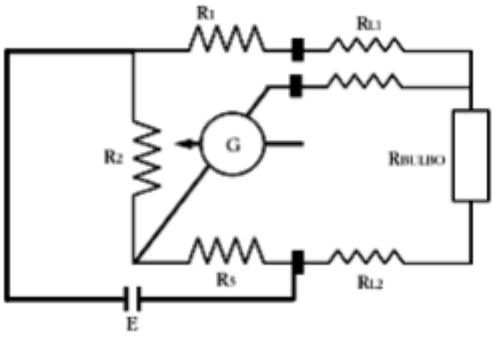
Conexión a Tres Cables

Considerando nuevamente que R2 = R3, el equilibrio del puente resultará de la condición:

$R_{BULBO} + RL2 = R1 + RL1$

Como es posible, con buena aproximación considerar RL1 aproximadamente igual a RL2 el cual es aproximadamente igual a RL3, el efecto de los cables de conexión es muy acentuado.

Este es el tipo de conexión más utilizado en termómetros de resistencia para aplicaciones industriales.



Conexión a Cuatro Cables

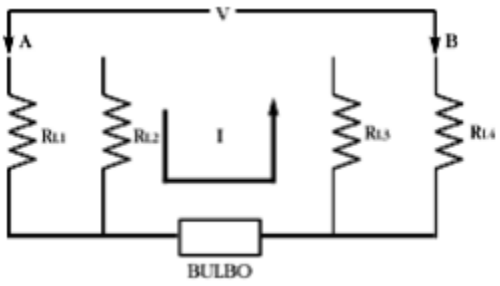
El sistema de conexión a cuatro cables elimina completamente las resistencias de los cables de conexión y se utiliza en situaciones que requieren mediciones muy precisas. Los TRPP's se muestran con conexiones a cuatro cables, por ejemplo:
De acuerdo con la figura, una corriente de excitación de valor conocido (usualmente 1mA)

circula por el bulbo por dos de los cables de conexión mientras que por los otros dos se mide la diferencia de potencial entre los terminales A y B del sensor. Mediante Ley Ohm tenemos que:

$V=R_{BULBO}.I$

Por tanto:

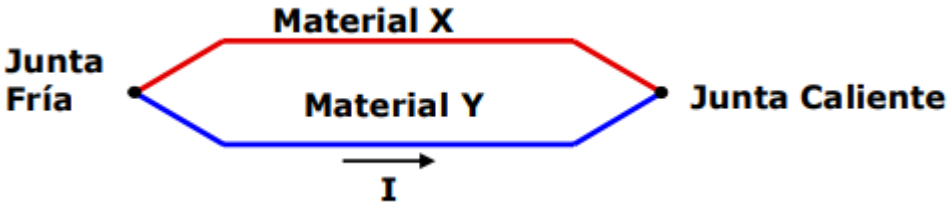
$R_{BULBO}=V/I$



El sistema de conexión a cuatro cables elimina completamente las resistencias de los cables de conexión y se utiliza en situaciones que requieren mediciones muy precisas.

TERMOCUPLAS

En el año 1821, Seebeck notó que al juntar dos conductores de metales distintos, de manera que se forme un circuito eléctrico cerrado, fluía una corriente eléctrica que dependía de la diferencia de temperatura entre las junturas.

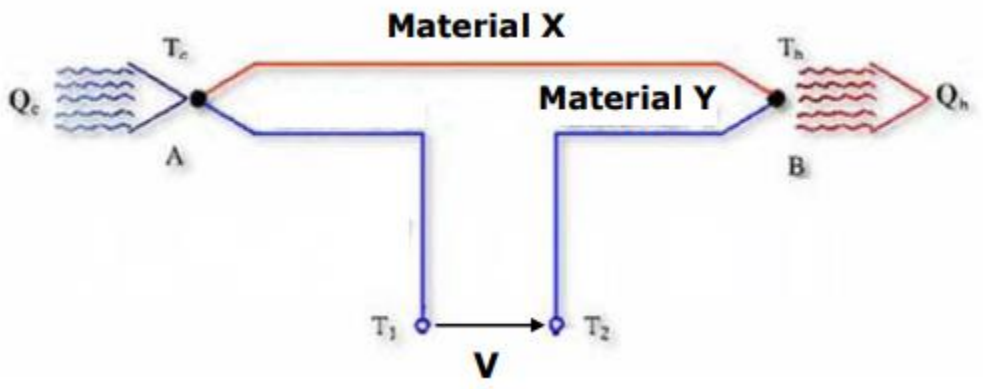


El principio de medición de temperatura utilizando termocuplas se basa en tres principios físicos, que son:

1.- Efecto Seebeck: al unir dos cables de materiales diferentes formando un circuito, se presenta una corriente eléctrica cuando las junturas se encuentran a diferente temperatura.

2.- Efecto Peltier: consiste en que cuando una corriente eléctrica fluye a través de una juntura de dos metales diferentes, se libera o absorbe calor. Cuando la corriente eléctrica fluye en la misma dirección que la corriente Seebeck, el calor es absorbido en la juntura caliente y liberado en la juntura fría.

3.- Efecto Thomson: un gradiente de temperatura en un conductor metálico está acompañado por un gradiente de voltaje, cuya magnitud y dirección depende del metal que se esté utilizando.



Es importante destacar que las termocuplas funcionan con un punto frío y otro caliente. La "juntura fría" suele ser parte del instrumento amplificador, asunto que debe ser verificado al seleccionar equipos.

Existen varios tipos de termocupla, puesto que cualquier par de metales conformaría un tipo determinado. Sin embargo, la empírica ha llevado al uso de ciertos tipos estandarizados, a los que se les cita por una letra (las más típicas son las tipo J, K y T). Cada tipo difiere en el material de los metales A y B. Al diferir los materiales de construcción difieren los rangos de trabajo, el voltaje generado por unidad de grado y la máxima temperatura útil (antes que se funda).

Termocuplas metálicas					Límite de error	
Tipo ANSI-ISA	Combinación de metales	Códigos de los termo-elementos	Composición química	Rangos de temperatura	Standard	Especial
J	Hierro/ constantan	JP JN	Fe 44 Ni:55 Cu	- 73ºC a 427ºC 427ºC a 760ºC	±2,2ºC (± ¾ %)	±1,1ºC (±1/3%)
K	Cromel/ Alumel	KP KN	90 Ni:9 Cr 94 Ni:A1:Mn:Fe	0ºC a 277ºC 277ºC a 1149ºC -101ºC a -60ºC	±2,2ºC (±¾ %) ±1.7ºC	±1,1ºC (±3/8 %) (±1%)
T	Cobre/ constantan	TP TN	Cu 44 Ni:55 Cu	-75ºC a 93ºC 99ºC a 371ºC	±0,8ºC (±¾ %)	(±¾ %) (±3/8 %)
E	Cromel/ constantan	EP EN	90 Ni:9 Cr 44 Ni:55 Cu	0ºC a 316ºC 316ºC a 871ºC	±1,7ºC (±1/2 %)	±1,1ºC (±3/8 %)
N	Nicrosil/ Nisil	NP NN	Ni:14.2 Cr:1.4Si Ni:4Si:0.15Mg	0ºC a 277ºC 277ºC a 1149ºC	±2,2ºC (±3/4 %)	--

Por su naturaleza, las termocuplas presentan una resistencia prácticamente nula y su capacidad de generar potencia es muy débil. El amplificador a utilizar debe solicitar el mínimo posible de corriente desde la termocupla.

Puesto que la fem neta generada por una termocupla es función de las temperaturas de ambas juntas, se requiere el control o la compensación de la temperatura de la junta de referencia (o junta fría), lo cual se puede lograr de tres maneras distintas.

El método básico y más exacto es el de controlar la temperatura de la junta de referencia, normalmente colocando la junta en un baño de hielo (0ºC).

Otro método consiste en medir la temperatura en la junta de referencia utilizando cualquier tipo de dispositivo de medición de temperatura, y luego, en base a esa temperatura y a la salida eléctrica de la junta de medición compensar la lectura de la temperatura de la junta de medición.

Cables compensados y de extensión

Como se verá más adelante, es de fundamental importancia la prolongación de los alambres termopares, muchas veces hasta la junta de referencia que puede estar lejos de la junta de

medición y no siempre afectada por altas temperaturas como en el caso de los alambres de termocupla. Es allí donde aparece el uso de los conocidos cables compensados. Su misión es únicamente la de trasladar la junta de referencia hasta un lugar adecuado (de temperatura estable o conocida) y luego utilizar, para compensar el error, cualquiera de los dos primeros sistemas de compensación de junta fría mencionados.

Los cables compensados reproducen las misma curvas de respuesta y de tolerancia mV/ºC, que las termocuplas entre 0 y 200º C. Se las utiliza sólo por razones económicas ya que su composición química difiere de las aleaciones de termocupla, buscándose entonces que los materiales sustitutivos sean más económicos que éstos.

Resumiendo entonces:

Alambres o cables de extensión son pares termoeléctricos con aleaciones iguales a las del termopar utilizado en la medición de temperatura del proceso.

La diferencia básica entre el alambre o el cable está en la rigidez del mismo.

Alambres o cables de compensación son pares termoeléctricos con aleaciones diferentes de aquellas que constituyen el termopar, pero que tienen un comportamiento termoeléctrico muy próximo al del termopar, en las franjas de temperatura en que el mismo tendrá que trabajar.

Los alambres/cables de extensión/compensación están disponibles en varios diámetros y tipos de aislación, cada una de ellas adecuadas a las condiciones que quedaran sometidas.

Además del tipo de aleación que debe ser utilizada, la elección del aislamiento, es dato esencial en la especificación correcta del cable o alambre que debe ser utilizado.

Un dato a destacar, es que cuando el cable es muy largo, o queda sometido a campos electromagnéticos intensos, pude actuar como una antena, ocasionado, fuerzas electromotrices inducidas en el circuito termoeléctrico, que se adicionan a la f.e.m. termoeléctrica, lo cual es indeseable.

Tipo	Aleación		ANSI		IEC 584-3	DIN 432710
	Conductor +	Conductor -	Clase Especial	Extensión		
Jx	Hierro (Fe) (magnesio)	Constantan (Cu - Ni)				
Kx	Níquel-Cromo (Ni - Cr)	Níquel-Alumínio (Ni - Al) (magnético)				

En estas situaciones se recomienda el uso de alambres/cables con una trenza metálica, puesta a tierra, con el fin de evitar estas inducciones.

Al conectar una termocupla, es muy fácil incurrir en un error de cableado, que nos llevara a un error en la medición de la temperatura del proceso.

Existen dos posibilidades de hacer incorrectamente la conexión entre la junta de referencia del termopar y el instrumento de medición con un cable de extensión/compensación:

La inversión ***simple.***

La inversión ***doble.***

Termistores

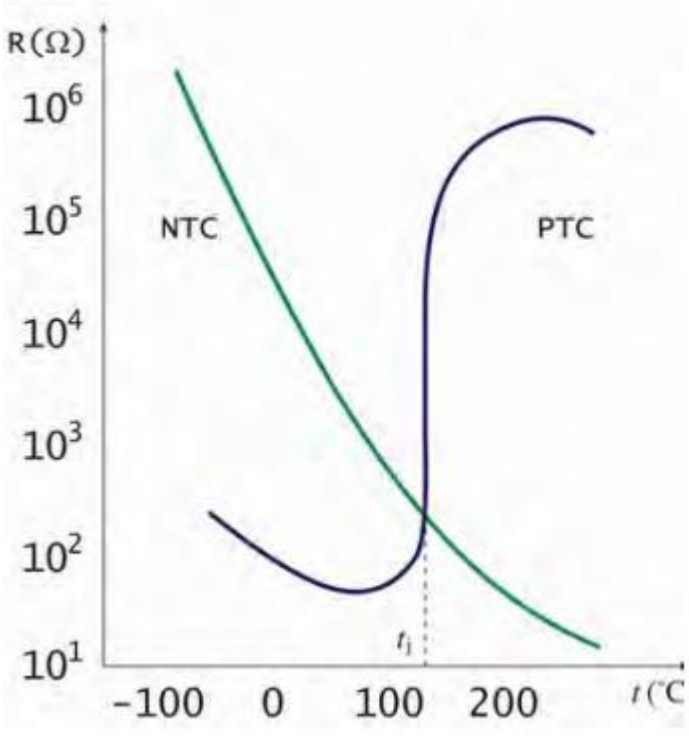
Compuesto de una mezcla sintetizada de óxidos metálicos, el termistor es esencialmente un semiconductor que se comporta como un "resistor térmico" con un coeficiente térmico de temperatura de valor muy elevado.

En algunos casos, la resistencia de un termistor a la temperatura ambiente puede disminuir en hasta 6% por cada 1ºC de aumento de temperatura.

Esta elevada sensibilidad a variaciones de temperatura hace que el termistor resulte muy adecuado para mediciones precisas de temperatura, utilizándoselo ampliamente para aplicaciones de control y compensación en el rango de 150ºC a 450ºC.

El termistor se fabrica a partir de óxidos metálicos comprimidos y sintetizados.

Los metales utilizados son níquel, cobalto, manganeso, hierro, cobre, magnesio y titanio, como típicas se pueden considerar las preparaciones de óxido de manganeso con cobre y óxido de níquel con cobre. Modificando las proporciones de óxido se puede variar la resistencia básica un termistor; se dispone de termistores con resistencias básicas a 25ºC desde unos pocos cientos hasta varios millones de ohms.



Los termistores sirven para la medición o detección de temperatura tanto en gases, como en líquidos o sólidos. A causa de su muy pequeño tamaño, se los encuentra normalmente montados en sondas o alojamientos especiales

que pueden ser específicamente diseñados para posicionarlos y protegerlos adecuadamente cualquiera sea el medio donde tengan que trabajar.

Se los puede adosar fácilmente o montar con tornillos, ir roscados en superficies o cementados.

Los alojamientos pueden ser de acero inoxidable, aluminio, plástico, bronce u otros materiales.

Las configuraciones constructivas del termistor de uso más común son los glóbulos, las sondas y los discos. Los glóbulos se fabrican formando pequeños elipsoides de material de termistor sobre dos alambres finos separados unos 0,25 mm. Normalmente recubiertos con vidrio por razones de protección, son extremadamente pequeños (0,15 mm a 1,3 mm de diámetro) y ofrecen una respuesta extremadamente rápida a variaciones de temperatura.

En comparación con las termocuplas y las termorresistencias, el termistor no ofrece ventajas de exactitud de salida y estabilidad. Posiblemente, una ventaja importante esté en la extremadamente elevada sensibilidad del termistor a variaciones de temperatura

Los termistores no sirven para la medición de temperatura dentro de alcances amplios puesto que sus variaciones de resistencia son demasiado grandes para que puedan medirse de una manera adecuada con un solo instrumento; alcances de alrededor de 100K suelen ser lo máximo admisible.

Los termistores resultan particularmente útiles para medir alcances reducidos de temperatura justamente a causa de sus grandes variaciones de resistencia; por ejemplo, la resistencia de un termistor típico varía 156 ohms de 0ºC a 1ºC, mientras la del platino varía tan sólo 0,385 ohm.

La elevada resistencia de los termistores no sólo hace aumentar la sensibilidad, posibilitando la medición de alcances reducidos de temperatura, sino también permite la conexión bifilar. La resistencia del alambre de conexión y los efectos de la temperatura ambiente son despreciables si se los compara con la resistencia del termistor y las variaciones de resistencia.

Existen dos clases de termistores: **NTC y PTC**.

Un **Termistor NTC (Negative Temperature Coefficient)** es una resistencia variable cuyo valor va decreciendo a medida que aumenta la temperatura. Son resistencias de coeficiente de temperatura negativo, constituidas por un cuerpo semiconductor cuyo coeficiente de temperatura es elevado, es decir, su conductividad crece muy rápidamente con la temperatura.

Se emplean en su fabricación óxidos semiconductores de níquel, zinc, cobalto, étc.

PROFESOR TÉCNICO Y DE MATEMÁTICAS MELGAREJO EMANUEL

ELECTRÓNICA – 5° AÑO – EETP N° 285

La relación entre la resistencia y la temperatura no es lineal sino exponencial:

$$R = A * e^{\frac{B}{T}}$$

Donde A y B son constantes que dependen del termistor.

La característica tensión-intensidad (V/I) de un termistor NTC presenta un carácter peculiar ya que, cuando las corrientes que lo atraviesan son pequeñas, el consumo de potencia (R * I2) será demasiado pequeño para registrar aumentos apreciables de temperatura, o lo que es igual, descensos en su resistencia óhmica; en esta parte de la característica, la relación tensión-intensidad será prácticamente lineal y en consecuencia cumplirá la ley de Ohm.

Si seguimos aumentando la tensión aplicada al termistor, se llegará a un valor de intensidad en que la potencia consumida provocará aumentos de temperatura suficientemente grandes como para que la resistencia del termistor NTC disminuya apreciablemente, incrementándose la intensidad hasta que se establezca el equilibrio térmico. Ahora nos encontramos, pues, en una zona de resistencia negativa en la que disminuciones de tensión corresponden aumentos de intensidad.

Un termistor PTC (Positive Temperature Coefficient) es una resistencia variable cuyo valor se ve aumentado a medida que aumenta la temperatura.

Los termistores PTC se utilizan en una gran variedad de aplicaciones: limitación de corriente, sensor de temperatura, desmagnetización y para la protección contra el recalentamiento de equipos tales como motores eléctricos. También se utilizan en indicadores de nivel, para provocar retardos en circuitos, como termostatos, y como resistores de compensación.

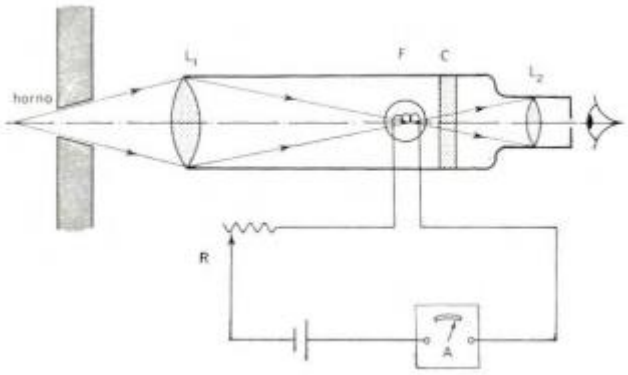
El termistor PTC pierde sus propiedades y puede comportarse eventualmente de una forma similar al termistor NTC si la temperatura llega a ser demasiado alta.

Las aplicaciones de un termistor PTC están, por lo tanto, restringidas a un determinado margen de temperaturas.

Hasta un determinado valor de voltaje, la característica I/V sigue la ley de Ohm, pero la resistencia aumenta cuando la corriente que pasa por el termistor PTC provoca un calentamiento y se alcanza la temperatura de conmutación. La característica I/V depende de la temperatura ambiente y del coeficiente de transferencia de calor con respecto a dicha temperatura ambiente. En ambos casos (PT100 y termistores), dado que se mide resistencia, se debe cuidar, en primer lugar, que la resistencia de los cables de conexión (que también cambia con la temperatura) no incida sobre la medición y, en segundo lugar, que la corriente que circule por el elemento para medir su resistencia sea lo suficientemente pequeña como para calentar sólo mínimamente el propio sensor. A ese fin se utilizan sistemas de

compensación que incorporan cables idénticos pero sin el sensor, en el brazo adyacente de un puente de Wheaston, amén de circular una corriente nula por el sensor.

Pirómetros



Cabe, naturalmente, preguntarse cómo medir la temperatura en equipos de proceso cuya temperatura exceda la de fusión del elemento sensor (por ejemplo, hornos de fundición de metales). En tal caso, se recurre a los pirómetros ópticos. Estos sensores se basan en la radiación de cuerpos negros y contienen en su interior un filamento que debe poder alcanzar la misma temperatura del cuerpo medido (al menos). Al dirigir el pirómetro al cuerpo caliente, se observa un filamento (frío) que destaca contra la radiación del objeto observado. El filamento recibe potencia y se calienta hasta que "desaparece" del campo visual. En ese momento la temperatura del filamento y del cuerpo radiante son la misma. Si se gradúa el control de potencia (una perilla) en los grados Kelvin del filamento a una u otra posición, se podrá leer la temperatura en esta escala. En el caso de pirómetros automáticos, la temperatura se conoce por el voltaje y corriente (es decir, potencia) que se aplica al filamento cuando las radiaciones son iguales. (En el caso de cuerpos que viajan a alta velocidad se debe corregir su efecto Doppler).

Ventajas:

- Rangos de medición de temperaturas superiores al de cualquier otro instrumento.
- No requieren conexión física con el medio
- En el pirómetro óptico se compara el brillo de un filamento de una lámpara calibrada con el del objeto caliente.
- En el pirómetro de radiación se mide la energía neta irradiada por el objeto
- Poseen respuesta rápida y su exactitud es excelente.

Pueden utilizarse para:

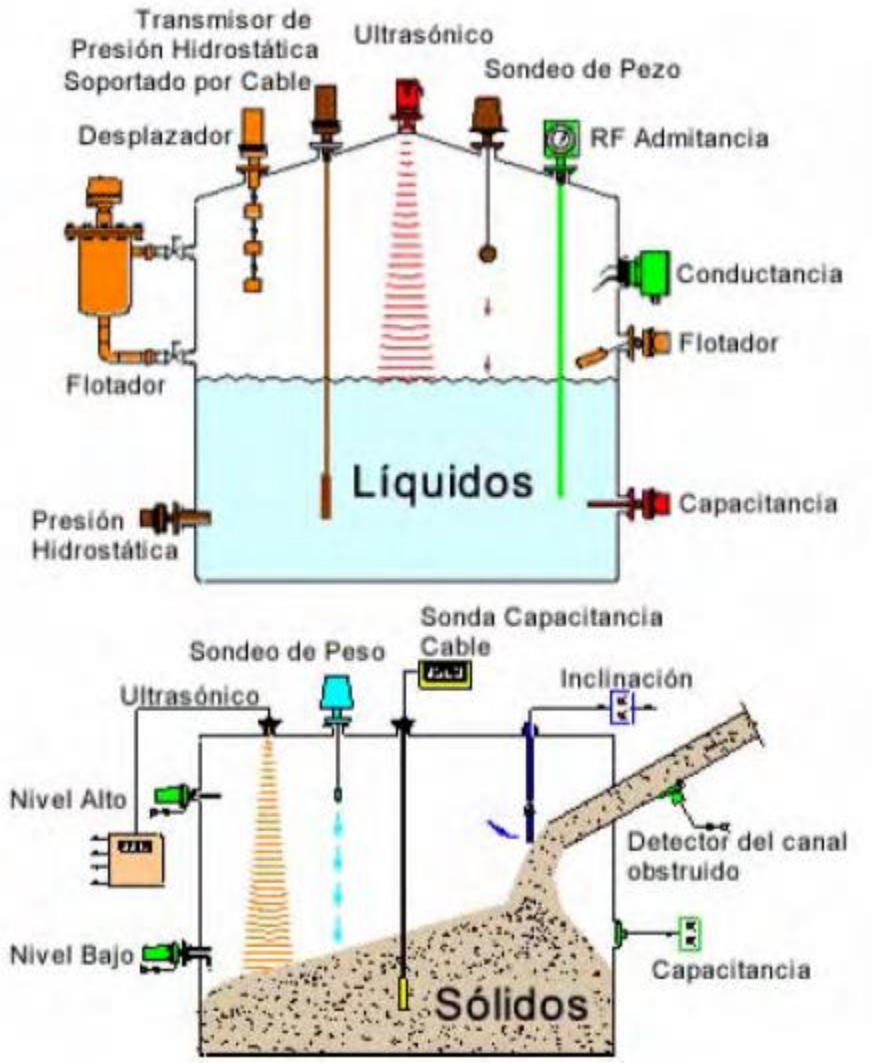
- Medir temperaturas que están por encima de las que pueden medir las termocuplas o termoresistencias.
- Medir temperaturas donde la atmósfera o las condiciones impidan el uso de otro método.
- Medir temperaturas de objetos que se mueven.
- Medir temperaturas de objetos que no son accesibles.
- Medir temperaturas de objetos que sería dañado si se les conecta un elemento primario.

- Medir temperaturas promedio de superficies muy grandes

Pirómetros de baja temperatura

Gracias a los grandes avances en microelectrónica y en sensibilidad instrumental, se comercializan comúnmente termómetros sin contacto, basados también en la radiación infrarroja de los cuerpos según su temperatura. Este tipo de termómetros son muy útiles para medir la temperatura de sistemas en movimiento (por ejemplo un rodamiento) en los que no se podría instalar un termómetro que requiera equilibrio térmico.

Sensores de Nivel



En la industria, la medición de nivel es muy importante, tanto desde el punto de vista del funcionamiento del proceso como de la consideración del balance adecuado de materias primas o de productos finales.

La utilización de instrumentos electrónicos con microprocesador en la medida de otras variables, tales como la presión y la temperatura, permite añadir "inteligencia" en la medida del nivel, y obtener precisiones de lectura altas, del orden del 0,2 %, en el intervalo de materias primas o finales o en transformación en los tanques del proceso. El transmisor de nivel "inteligente" hace posible la interpretación del nivel real (puede eliminar o compensar la influencia de la espuma en flotación del tanque, en la lectura), la eliminación de las falsas alarmas (tanques con olas en la superficie debido al agitador de paletas en movimiento), y la fácil calibración del aparato en cualquier punto de la línea de transmisión.

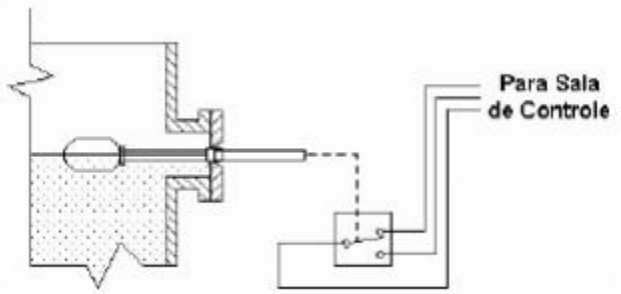
El transmisor o varios transmisores pueden conectarse, a través de una conexión RS-232, a un ordenador personal, que con el software adecuado, es capaz de configurar transmisores inteligentes.

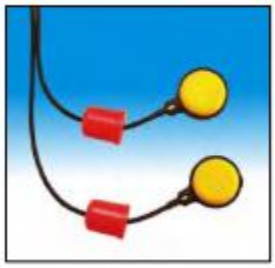
Son muchas las maneras de medir nivel, desde las indicativas (sensor de cristal, de plomada) hasta las más desarrolladas, pero en este curso veremos solo algunas de ellas, que tienen la capacidad de entregar una salida eléctrica, que nos permita ejercer un control sobre el sistema.

Sensores de Nivel de Líquidos

Los Sensores de nivel de líquidos trabajan midiendo, bien directamente la altura de líquido sobre una línea de referencia, bien la presión hidrostática, bien el desplazamiento producido en un flotador por el propio líquido contenido en el tanque del proceso, o bien aprovechando características eléctricas del líquido.

Sensor de flotador; consiste en un flotador ubicado en el seno del líquido y conectado al exterior del estanque indicando directamente el nivel sobre una escala graduada. Es el modelo más antiguo y el más utilizado en estanques de gran capacidad tales como los de petróleo y gasolina. Tiene el inconveniente de que las partes móviles están expuestas al fluido y pueden romperse, además el flotador debe mantenerse limpio.





Hay que señalar que en estos instrumentos, el flotador puede tener formas muy variadas y estar formados por materiales muy diversos según sea el tipo de fluido.

Los instrumentos de flotador tienen una precisión de 0,5 %. Son adecuados en la medida de niveles en estanques abiertos y cerrados a presión o a vacío, y son independientes del peso específico del líquido. Por otro lado, el flotador puede agarrotarse en el tubo guía por un eventual depósito de los sólidos o cristales que el líquido pueda contener y además los tubos guía muy largos pueden dañarse ante olas bruscas en la superficie del líquido o ante la caída violenta del líquido en el estanque.

El Sensor de nivel conductivo o resistivo; consiste en uno o varios electrodos y un relé eléctrico o electrónico que es excitado cuando el líquido moja a dichos electrodos.

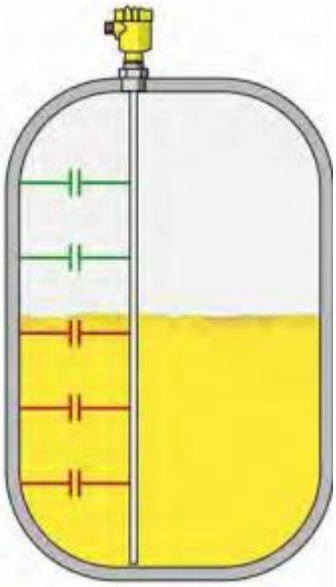
El líquido debe ser lo suficientemente conductor como para excitar el circuito electrónico, y de este modo el aparato puede discriminar la separación entre el líquido y su vapor, tal como ocurre, por ejemplo, en el nivel de agua de una caldera de vapor.

La impedancia mínima es del orden de los 20 MΩ/cm, y la tensión de alimentación es alterna para evitar fenómenos de oxidación en las sondas por causa del fenómeno de la electrólisis. Cuando el líquido moja los electrodos se cierra el circuito electrónico y circula una corriente segura del orden de los 2 mA; el relé electrónico dispone de un temporizador de retardo que impide su enclavamiento ante una ola del nivel del líquido o ante cualquier perturbación momentánea o bien en su lugar se disponen dos electrodos poco separados enclavados eléctricamente en el circuito.

El instrumento se emplea como alarma o control de nivel alto y bajo, utiliza relés eléctricos para líquidos con buena conductividad y relés electrónicos para líquidos con baja conductividad. Montado en grupos verticales de 24 o más electrodos, puede complementar los típicos niveles de vidrio de las calderas, y se presta a la transmisión del nivel a la sala de control y a la adición de las alarmas correspondientes.

Sensor de nivel capacitivo; mide la capacidad del condensador formado por el electrodo sumergido en el líquido y las paredes del estanque. La capacidad del conjunto depende linealmente del nivel del líquido.

En fluidos no conductores se emplea un electrodo normal y la capacidad total del sistema se compone de la del líquido, la del gas superior y la de las conexiones superiores.



En fluidos conductores el electrodo está aislado usualmente con teflón interviniendo las capacidades adicionales entre el material aislante y el electrodo en la zona del líquido y del gas. La precisión de los transductores de capacidad es de ± 1 %.

Se caracterizan por no tener partes móviles, son ligeros, presentan una buena resistencia a la corrosión y son de fácil limpieza. Su campo de medida es prácticamente ilimitado. Tiene el inconveniente de que la temperatura puede afectar las constantes dieléctricas (0,1 % de aumento de la constante dieléctrica / °C) y de que los posibles contaminantes contenidos en el líquido puedan adherirse al electrodo variando su capacidad y falseando la lectura, en particular en el caso de líquidos conductores.

Sensor de Presión Diferencial

Consiste en un diafragma en contacto con el líquido del estanque, que mide la presión hidrostática en un punto del fondo del estanque. En un estanque abierto esta presión es proporcional a la altura del líquido en ese punto y a su peso específico, es decir:

$$\mathbf{P = h\ \gamma\ g}$$ en la que:

P = presión

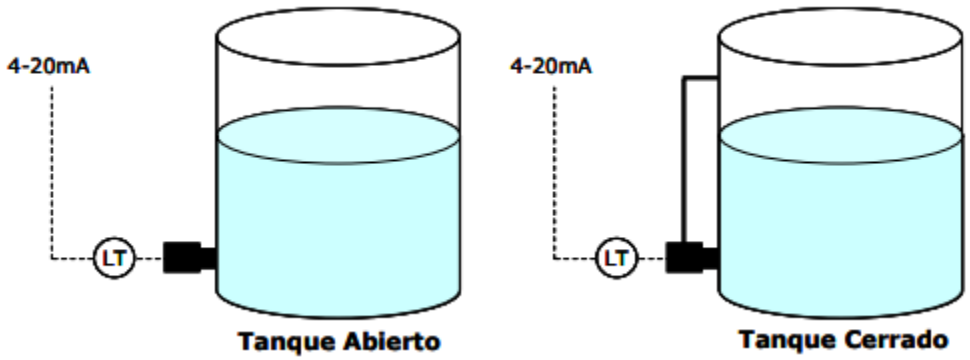
h = altura del líquido sobre el instrumento

γ = densidad del líquido

g = 9,8 m/s2

El diafragma forma parte de un transmisor neumático, electrónico o digital de presión diferencial.

En el tipo más utilizado, el diafragma está fijado en un flanje que se monta rasante al estanque para permitir sin dificultades la medida de nivel de fluidos, tales como pasta de papel y líquidos con sólidos en suspensión, pudiendo incluso ser de montaje saliente para que el diafragma enrase completamente con las paredes interiores del estanque tal como ocurre en el caso de líquidos extremadamente viscosos en que no puede admitirse ningún recodo.



La precisión de los instrumentos de presión diferencial es de ± 0,5 % en los neumáticos, ± 0,2 % a ± 0,3 % en los electrónicos, y de ± 0,15 % en los “inteligentes” con señales de salida de 4-20 mA CC.

Hay que señalar que el material del diafragma debe ser el adecuado para resistir la corrosión del fluido (existen materiales de acero inoxidable 316, monel, tantalio, hastelloy B, inoxidable recubierto de teflón).

Sensor de Nivel Ultrasónico

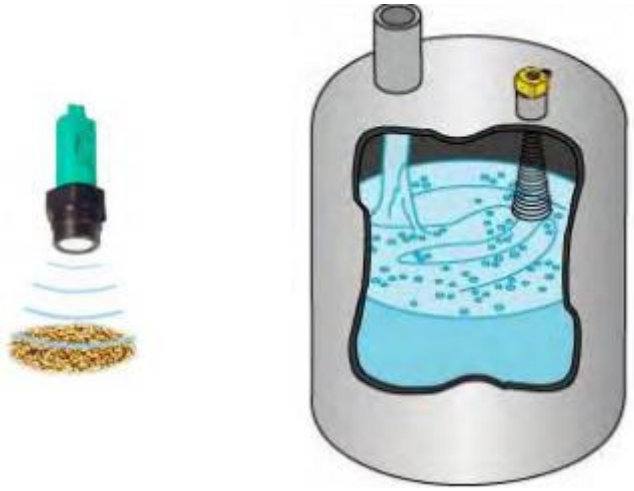
Se basa en la emisión de un impulso ultrasónico a una superficie reflectante y la recepción del eco del mismo en un receptor. El retardo en la captación del eco depende del nivel del estanque.

Los sensores trabajan a una frecuencia de unos 20 KHz. Estas ondas atraviesan con cierto amortiguamiento o reflexión el medio ambiente de gases o vapores y se reflejan en la superficie del sólido o del líquido.

La precisión de estos instrumentos es de ± 1 a 3 %. Son adecuados para todos los tipos de estanques y de líquidos o fangos pudiendo construirse a prueba de explosión.

Presentan el inconveniente de ser sensibles a la densidad de los fluidos y de dar señales erróneas cuando la superficie del nivel del líquido no es nítida como es el caso de un líquido que forme espuma, ya que se producen falsos ecos de los ultrasonidos.

La utilización de la computadora permite, a través de un programa, almacenar el perfil ultrasónico del nivel, y así tener en cuenta las características particulares de la superficie del líquido, tal como la espuma, con lo cual se mejora la precisión de la medida.



Sensores de Presión

Junto con la temperatura, la presión es la variable más comúnmente medida en plantas de proceso.

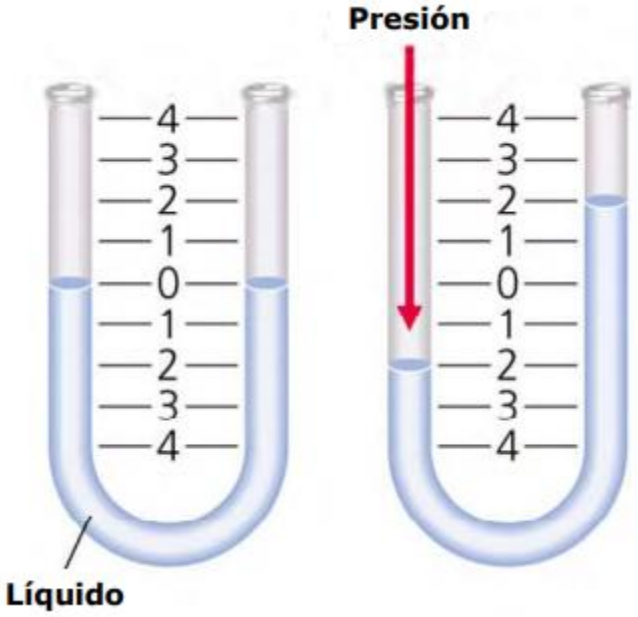
Su persistencia se debe, entre otras razones, a que la presión puede reflejar la fuerza motriz para la reacción o transferencia de fase de gases; la fuerza motriz para el transporte de gases o líquidos; la cantidad másica de un gas en un volumen determinado; etc. Es también común medir la presión en una línea para cuantificar caudal, cuando se conoce la pérdida de carga; o pérdida de carga cuando se conoce el caudal.

La presión queda determinada por la razón de una fuerza al área sobre la que actúa la fuerza. Así, si una fuerza F actúa sobre una superficie A, la presión P queda estrictamente definida por la razón P=F/A. Dado que tanto la fuerza como el área son de naturaleza vectorial, la presión es una magnitud escalar (es decir, sólo tiene magnitud, no dirección).

Manómetro de Tubo en Forma de "U"

Los instrumentos utilizados para medir presión reciben la denominación: "manómetros".

La forma más tradicional de medir presión en forma precisa utiliza un tubo de vidrio en forma de "U", donde se deposita una cantidad de líquido de densidad conocida (para presiones altas, se utiliza habitualmente mercurio para que el tubo tenga dimensiones razonables; sin embargo, para presiones pequeñas el manómetro en U de mercurio sería poco sensible).



Este tipo de manómetros tiene una ganancia que expresa la diferencia de presión entre los dos extremos del tubo mediante una medición de diferencia de altura (es decir, una longitud).

La ganancia se puede obtener analíticamente, de modo que este tipo de manómetros conforma un estándar de medición de presión. Si el gas sobre el líquido en ambos extremos del manómetro fuese de densidad despreciable frente a la del líquido, si el diámetro del tubo es idéntico en ambas ramas, si la presión en los extremos fuesen P1 y P2, si el líquido (a la temperatura de operación) tuviese densidad r , si la diferencia de altura fuese h, entonces la diferencia de presiones estará dada por P2- P1=D P=r gh. ¿Cuál será la ecuación si la densidad del fluido superior no fuese despreciable?

No es difícil obtener expresiones para este tipo de manómetros en condiciones de operación en las que sobre el líquido de alta densidad está otro líquido, de densidad no despreciable.

El manómetro en forma de "U" conforma, según se especificó, un sistema de medición más bien absoluto y no depende, por lo tanto, de calibración. Esta ventaja lo hace un artefacto muy común. Su desventaja principal es la longitud de tubos necesarios para una medición de presiones altas y, desde el punto de vista de la instrumentación de procesos, no es trivial transformarlo en un sistema de transmisión remota de información sobre presión.

Manómetro de Bourdon

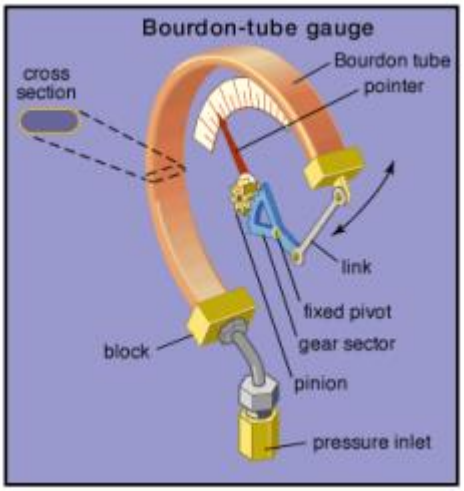
Para cualquier tipo de carga, la relación entre la carga y la deformación es una constante del material, conocida como el módulo de Young: **E=Carga/e .**

Por ende, si la constante de deformación es conocida, se puede obtener la carga según: **Carga = E*e**

De modo que frente a deformaciones pequeñas de materiales elásticos, será posible obtener una cuantificación reproducible de las cargas (fuerzas) solicitantes.

El **manómetro de Bourdon** depende, precisamente, de la elasticidad de los materiales utilizados en su construcción.

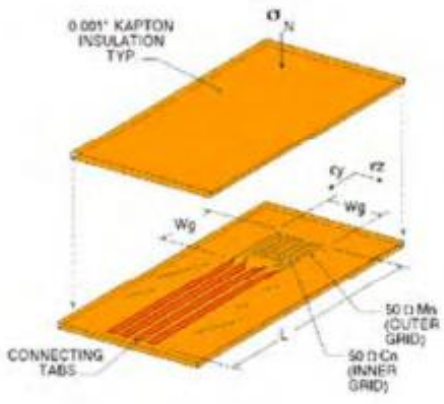
Este manómetro, tal vez el más común en plantas de procesos que requieran medición de presiones, consiste de un tubo metálico achatado y curvado en forma de "C", abierto sólo en un extremo (ver figura).

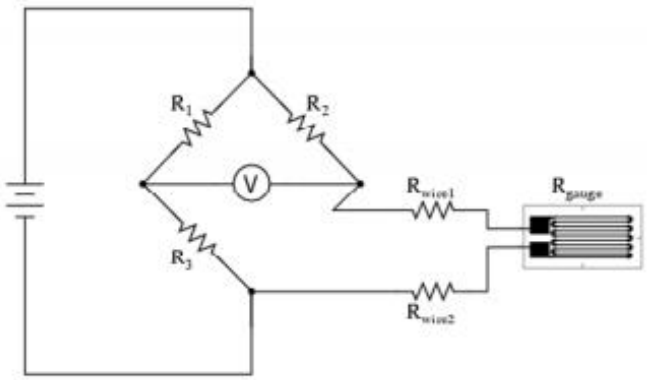


Al aplicar una presión al interior del tubo (se le infla, por ejemplo) la fuerza generada en la superficie (área) exterior de la "C" es mayor que la fuerza generada en la superficie interior, de modo que se genera una fuerza neta que deforma la "C" hacia una "C" más abierta. Esta deformación es una medición de la presión aplicada y puede trasladarse a una aguja indicadora tanto como a un sistema de variación de resistencia o campos eléctricos o magnéticos.

Galgas de Extensión (Strain Gauges)

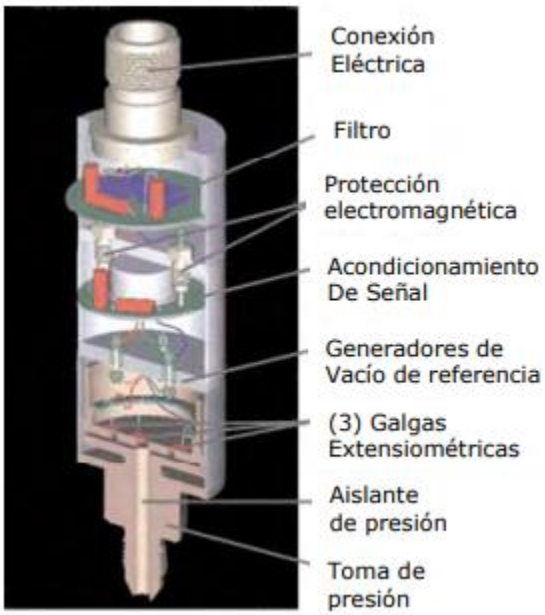
Según se observó, las propiedades de elasticidad de los materiales pueden dar origen a sistemas de medición de fuerzas (y, por ende, también presión).





El manómetro de Bourdon utiliza, precisamente, la propiedad de elasticidad de los materiales sólidos (en particular, metálicos sólidos); pero, ese manómetro no permite producir una señal eléctrica directamente, si bien se podría adaptar algún sistema. El método de construcción de

sensores de presión modernos depende del principio de elasticidad pero la deformación es convertida en una señal eléctrica mediante las galgas de extensión, conocidas a menudo como "celdas de torsión" o, en ingles, como strain gauges.



Una galga de extensión se construye sobre un metal de coeficiente de elasticidad dado, adosándole un alambre, una tira semiconductora o pistas conductoras. Al deformarse el soporte de la galga, se "estira" o se "comprime" el sensor, variando así su resistencia. El cambio de resistencia será, precisamente, el reflejo de la deformación sufrida. En términos de su caracterización, dada la resistencia R sin deformación, la aplicación de una fuerza F deformante producirá un cambio de resistencia, D R, cuya medición permite calcular la fuerza mediante:

$$F = A \times E \times \varepsilon = \frac{A \times E}{G} \times \frac{\Delta R}{R}$$

Donde se ha definido una constante "G", conocido como la constante de la galga y que suele variar entre 2 y 2,2 para galgas de soporte metálico.

Naturalmente, la posibilidad de medir fuerza permite construir, con estas galgas, balanzas electrónicas tanto como sistemas de medición de presión.

Habitualmente se utilizan circuitos en puentes, diseñados para los valores típicos de estas galgas (resistencias nominales de 120W , 350W , 600W y 1000W) utilizando corrientes que no excedan los 10 mA.

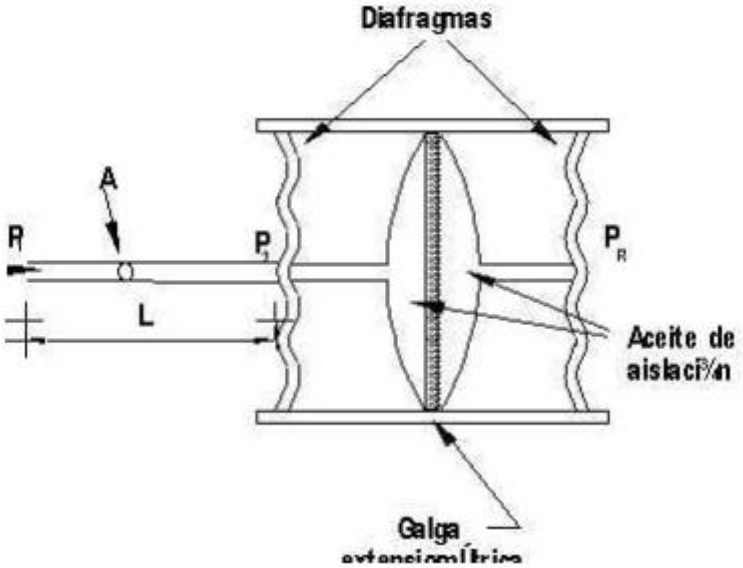
Transmisores Capacitivos

Los transmisores capacitivos emplean diafragmas de aislamiento. Estos diafragmas transmiten la presión externa a través de un fluido de siliconas, a las placas del capacitor. Solo se mueve una placa central del capacitor, para generar la señal de salida.

La celda capacitiva usa solo una pequeña cantidad de fluido de siliconas. Esto se traduce en una excelente estabilidad con la temperatura, dado que no hay una gran cantidad de fluido que se pueda expandir a medida que aumenta la temperatura.

Sensor de Presión Diferencial

Los sistemas discutidos antes, para medición de Presión (Bourdon, Tubos en "U" de líquidos de alta densidad, Galgas de torsión [strain gauges], etc.) miden, en general, la presión relativa a la presión atmosférica (si bien tanto P1 como P2 en el manómetro en "U" podrían ser parte de un proceso). A menudo es necesario conocer la presión relativa entre dos puntos; tales sistemas se conocen como sensores (o manómetros) de presión diferencial.



La figura describe un sensor de presión diferencial, basado en una galga de extensión.

Las señales de presión, P1 y PR, se entregan a dos diafragmas aislantes, que impiden que el fluido ingrese a la cámara sensible. La presión es transmitida a la sección sensible (la galga propiamente tal) mediante capilares, que están llenos de un fluido adecuado (usualmente aceite de silicona). Existen dos cámaras separadas por la galga en el centro, conocida como el diafragma sensor, cuyo único requisito es que impida el paso del fluido interno de un lado hacia el otro.

Sensores De Caudal

La selección eficaz de un Sensor de caudal exige un conocimiento práctico de la tecnología del Sensor, además de un profundo conocimiento del proceso y del fluido que se quiere medir. Cuando la medida del caudal se utiliza con el propósito de facturar un consumo, deberá ser lo más precisa posible, teniendo en cuenta el valor económico del fluido que pasa a través del Sensor, y la legislación obligatoria aplicable en cada caso. En este estudio se examinan los conceptos básicos de la medida de caudal y las características de los instrumentos de medida. Aunque se hace referencia a diferentes tipos de Sensores de caudal, es obvio que no todos están contemplados en este estudio, dada la amplia variedad de los mismos.

Sensores de Presión Diferencial

La medida de caudal en conducciones cerradas, consiste en la determinación de la cantidad de masa o volumen que circula por la conducción por unidad de tiempo. Los instrumentos que llevan a cabo la medida de un caudal se denominan, habitualmente, caudalímetros o Sensores de caudal, constituyendo una modalidad particular los contadores, los cuales

integran dispositivos adecuados para medir y justificar el volumen que ha circulado por la conducción.

Los Sensores de caudal volumétrico pueden determinar el caudal de volumen de fluido de dos formas:

Directamente, mediante dispositivos de desplazamiento positivo, o indirectamente, mediante dispositivos de: presión diferencial, área variable, velocidad, fuerza, etc.

Puesto que la medida de caudal volumétrico en la industria se realiza, generalmente, con instrumentos que dan lugar a una presión diferencial al paso del fluido, abordaremos en primer lugar los Sensores de presión diferencial.

Esta clase de Sensores presenta una reducción de la sección de paso del fluido, dando lugar a que el fluido aumente su velocidad, lo que origina un aumento de su energía cinética y, por consiguiente, su presión tiende a disminuir en una proporción equivalente, de acuerdo con el principio de la conservación de la energía, creando una diferencia de presión estática entre las secciones aguas arriba y aguas abajo del Sensor.

Principales Sensores de presión diferencial

Entre los principales tipos de Sensores de presión diferencial se pueden destacar los siguientes:

- placas de orificio,
- toberas,
- tubos Venturi,
- tubos Pitot,
- tubos Annubar,
- codos

Sensores de Placa

Se estima que, actualmente, al menos un 75% de los Sensores industriales en uso son dispositivos

de presión diferencial, siendo el más popular la placa de orificio.

Las principales ventajas de dichos Sensores son:

- su sencillez de construcción, no incluyendo partes móviles,
- su funcionamiento se comprende con facilidad,
- no son caros, particularmente si se instalan en grandes tuberías y se comparan con otros Sensores,
- pueden utilizarse para la mayoría de los fluidos,

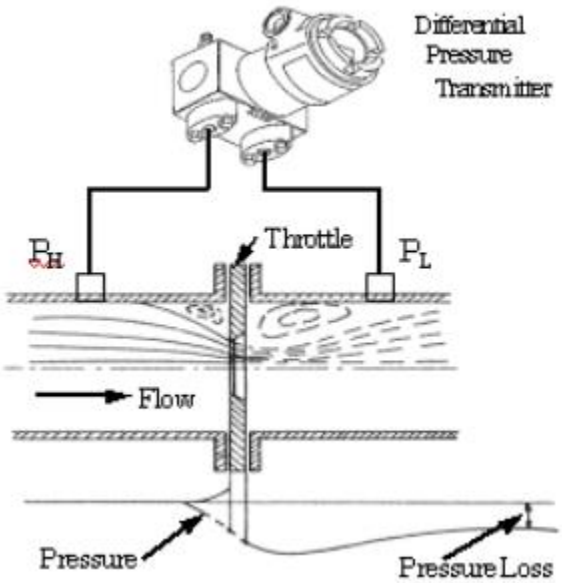
PROFESOR TÉCNICO Y DE MATEMÁTICAS MELGAREJO EMANUEL

ELECTRÓNICA – 5° AÑO – EETP N° 285

- hay abundantes publicaciones sobre sus diferentes usos.

Sus principales desventajas son:

- la amplitud del campo de medida es menor que para la mayoría de los otros tipos de Sensores, – pueden producir pérdidas de carga significativas,
- la señal de salida no es lineal con el caudal,
- deben respetarse unos tramos rectos de tubería aguas arriba y aguas abajo del Sensor que, según el trazado de la tubería y los accesorios existentes, pueden ser grandes,
- pueden producirse efectos de envejecimiento, es decir, acumulación de depósitos o la erosión de las aristas vivas,
- la precisión suele ser menor que la de Sensores más modernos, especialmente si, como es habitual, el Sensor se entrega sin calibrar.



La placa de orificio consiste en una placa perforada que se instala en la tubería.

El orificio de la placa, puede ser: concéntrico, excéntrico y segmental.

Con el fin de evitar arrastres de sólidos o gases que pueda llevar el fluido, la placa incorpora, normalmente, un pequeño orificio de purga.

Para captar la presión diferencial que origina la placa de orificio, es necesario conectar dos tomas, una en la parte anterior y otra en la parte posterior de la placa.

Toberas

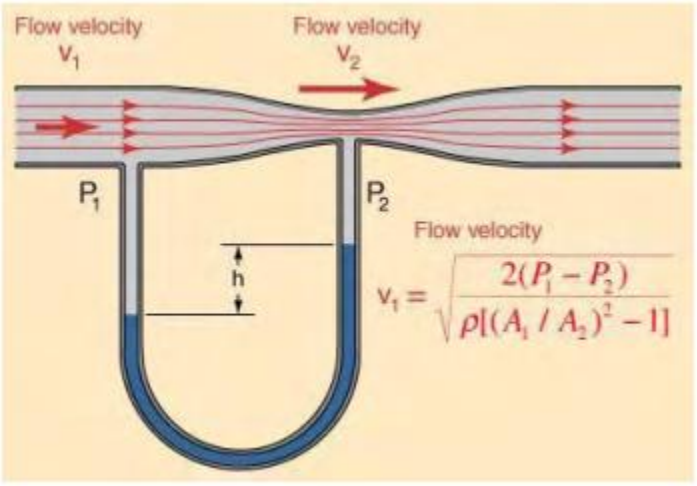
La tobera presenta una entrada curvada que se prolonga en un cuello cilíndrico, siendo el coeficiente de descarga similar al del tubo Venturi. Sin embargo, la caída de presión es del mismo orden que en la placa de orificio, para el mismo caudal y con el mismo tamaño de tubería.

Tubos Venturi

En la figura se muestra el perfil de un tubo Venturi clásico, donde se puede apreciar la disposición de las tomas de presión para determinar la presión diferencial.

Como se aprecia en la figura se pueden destacar tres partes fundamentales: a) una sección de entrada cónica convergente en la que la sección transversal disminuye, lo que se traduce en un aumento de la velocidad del fluido y una disminución de la presión; b) una sección cilíndrica en la que se sitúa la toma de baja presión, y donde la velocidad del fluido se mantiene prácticamente constante, y c) una tercera sección de salida cónica divergente en la que la sección transversal aumenta, disminuyendo la velocidad y aumentando la presión. La incorporación de esta sección de salida permite una recuperación de la mayor parte de la presión diferencial producida y, por tanto, un ahorro de energía.

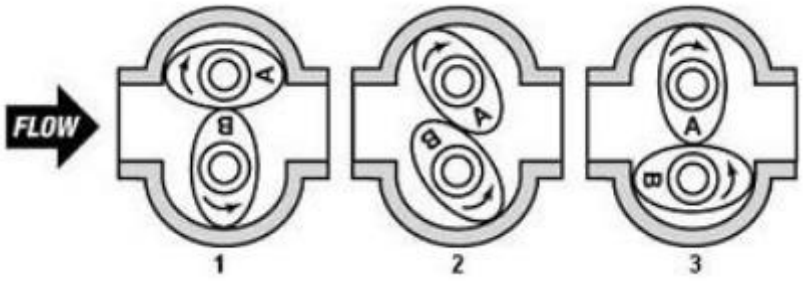
Con el fin de reducir las pérdidas de carga causadas por una tobera, puede acoplarse a continuación de la tobera una sección divergente similar a la utilizada para un tubo Venturi, resultando una combinación que se denomina Venturi-tobera.



Las principales limitaciones de los tubos Venturi son su elevado coste y la longitud necesaria para su instalación, sobre todo para grandes tamaños de tubería. Sin embargo, debido a su baja pérdida de carga, son justificados en casos donde tienen que bombearse grandes cantidades de líquido de forma continua. Cuando la pérdida de carga no es importante, suele prescindirse del tubo Venturi y sustituirse por una placa de orificio debido a su menor coste y mayor facilidad de instalación y mantenimiento.

Sensores de desplazamiento positivo

Los Sensores de desplazamiento positivo miden la cantidad de fluido que circula por un conducto, dividiendo el flujo en volúmenes separados y sumando los volúmenes que pasan a través del Sensor.



En cada Sensor, se pueden destacar tres componentes comunes:

- cámara, que se encuentra llena de fluido,
- desplazador, que, bajo la acción del fluido circulando, transfiere el fluido desde el final de una cámara a la siguiente, y
- mecanismo (indicador o registrador), conectado al desplazador, que cuenta el número de veces que el desplazador se mueve de una parte a otra en la cámara de trabajo.

Un problema importante que se debe tener en cuenta al fabricar un Sensor de desplazamiento positivo es conseguir una buena estanqueidad de las partes móviles, evitando un par de rozamiento inaceptable y que la cantidad de líquido de escape a través del Sensor sea moderada. Por esta razón, es necesario calibrar el Sensor de desplazamiento a varios caudales, dentro del margen de utilización, con un fluido de viscosidad conocida.

En principio, los Sensores de desplazamiento positivo para gases deberían ser similares a los utilizados para líquidos, sin embargo, en la práctica hay una diferencia importante. La energía de un fluido en movimiento es proporcional a su densidad, lo que significa que un gas no puede suministrar con facilidad la energía suficiente para hacer funcionar un Sensor con una mecánica compleja. Por consiguiente, los Sensores de desplazamiento positivo para gases tienen que tener una baja resistencia a la fricción. No obstante, en este estudio solo trataremos de los Sensores de desplazamiento positivo para líquidos.

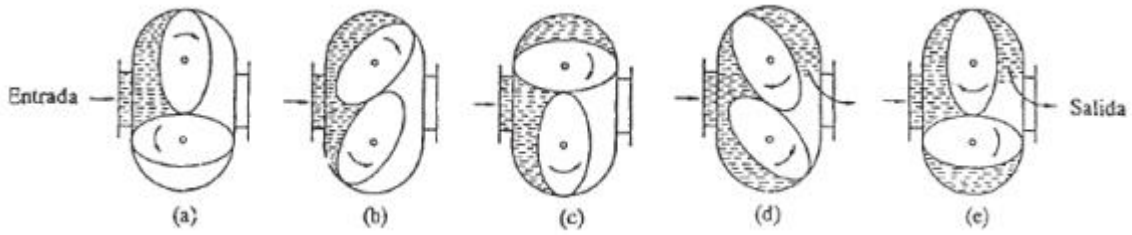
Dentro de los diferentes tipos de Sensores para líquidos existen los siguientes:

- Sensores de tipo pistón,
- Sensores de paletas deslizantes, y
- Sensores de engranajes.

Los Sensores de tipo pistón se utilizan, habitualmente, para medidas precisas de pequeños caudales, siendo una de sus aplicaciones en unidades de bombeo de distribución de petróleo. Los Sensores de paletas deslizantes se usan para medir líquidos de elevado coste, siendo instalados, generalmente, en camiones cisternas para la distribución de combustible para la calefacción. Los Sensores de engranajes encuentran aplicaciones para un amplio margen de líquidos y condiciones de funcionamiento, aunque la precisión de la medida no es tan elevada.

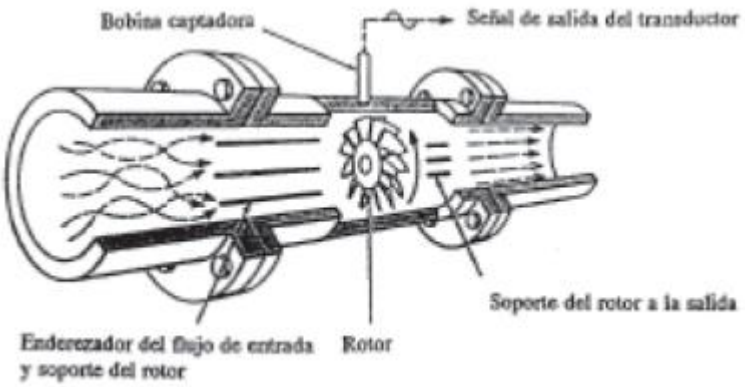
Sensores de rueda oval

El Sensor de rueda oval dispone de dos ruedas ovales que engranan entre sí y tienen un movimiento de giro debido a la presión diferencial creada por el flujo de líquido. La acción del líquido actúa de forma alternativa sobre cada una de las ruedas, dando lugar a un giro suave de un par prácticamente constante. Tanto la cámara de medida como las ruedas están mecanizadas con gran precisión, con el fin de conseguir que el deslizamiento entre ellas se produzca con el mínimo rozamiento, sin que se formen bolsas o espacios muertos y desplazando la misma cantidad de líquido en cada rotación.



La principal ventaja de estos Sensores es que la medida realizada es prácticamente independiente de variaciones en la densidad y en la viscosidad del líquido.

Sensores de Turbina



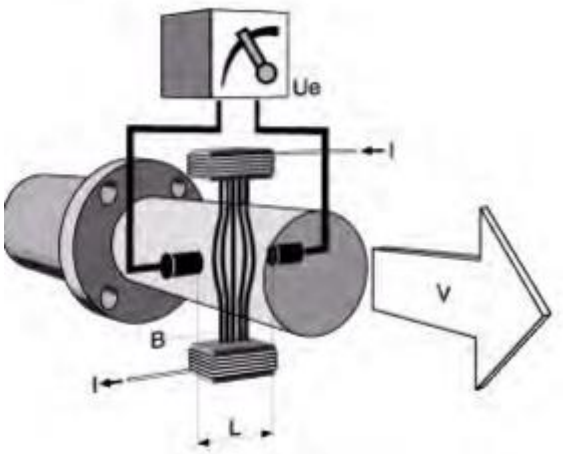
Los Sensores para gas y para líquido funcionan bajo el mismo principio. Consta de una longitud de tubería en el centro de la cual hay un rotor de paletas múltiple, montado sobre cojinetes, para que pueda girar con facilidad, y soportado aguas arriba y aguas abajo por un dispositivo de centrado tipo cruceta que, habitualmente, incorpora un enderezador de la vena fluida. La energía cinética del fluido circulando hace girar el rotor con una velocidad angular que, en el margen lineal del Sensor, es proporcional a la velocidad media axial del fluido y, por tanto, al caudal volumétrico.

Los Sensores de turbina para gas o líquido difieren fundamentalmente en el diseño del rotor.

Una salida mediante impulsos eléctricos se produce cuando se detecta el paso de cada paleta alrededor de uno o más sensores situados en el campo del Sensor.

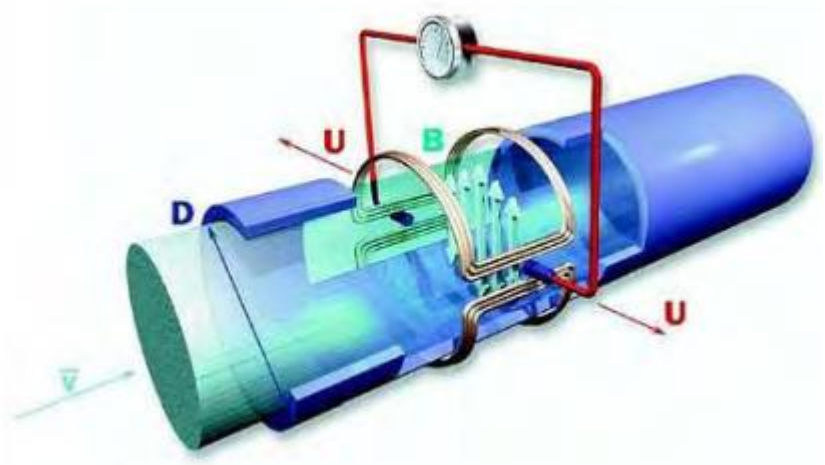
El punto más débil en un Sensor de turbina para líquidos son los cojinetes, ya que tienen que soportar el peso del rotor.

Sensores de caudal electromagnéticos



El Sensor de caudal electromagnético utiliza el mismo principio básico que el electrogenerador, es decir, cuando un conductor se mueve a través de un campo magnético se genera una fuerza electromotriz en el conductor, siendo su magnitud directamente proporcional a la velocidad media del conductor en movimiento.

Si el conductor es una sección de un líquido conductor circulando por un tubo aislado eléctricamente, a través de un campo magnético y se montan los electrodos diametralmente opuestos en la pared de la tubería la fuerza electromotriz generada a través de los electrodos es directamente proporcional a la velocidad media del fluido.



Es importante señalar que la diferencia de potencial entre los electrodos es del orden de milivoltios, por lo que dicha señal tiene que ser amplificada mediante un dispositivo secundario denominado convertidor, que proporciona una señal de salida en miliamperios, en voltios o en impulsos.

Puesto que los electrodos tienen que hacer un contacto con el fluido, su material tiene que ser compatible con las propiedades químicas del fluido que circula. Entre los materiales más utilizados se pueden citar los siguientes: acero inoxidable no magnético, platino/iridio, monel hasteloy, titanio, y circonio para líquidos particularmente agresivos.

Entre las ventajas más fundamentales se pueden señalar las siguientes:

- No presentan obstrucciones al flujo, por lo que son adecuados para la medida de todo tipo de suspensiones, barros, melazas, etc.

- No dan lugar a pérdidas de carga, por lo que son adecuados para su instalación en grandes tuberías de suministro de agua, donde es esencial que la pérdida de carga sea pequeña.
- Se fabrican en una gama de tamaños superior a la de cualquier otro tipo de Sensor.
- No son prácticamente afectados por variaciones en la densidad, viscosidad, presión temperatura y, dentro de ciertos límites, conductividad eléctrica.
- No son seriamente afectados por perturbaciones del flujo aguas arriba del Sensor.
- La señal de salida es, habitualmente, lineal.
- Pueden utilizarse para la medida del caudal en cualquiera de las dos direcciones.

Entre las desventajas se pueden destacar las siguientes:

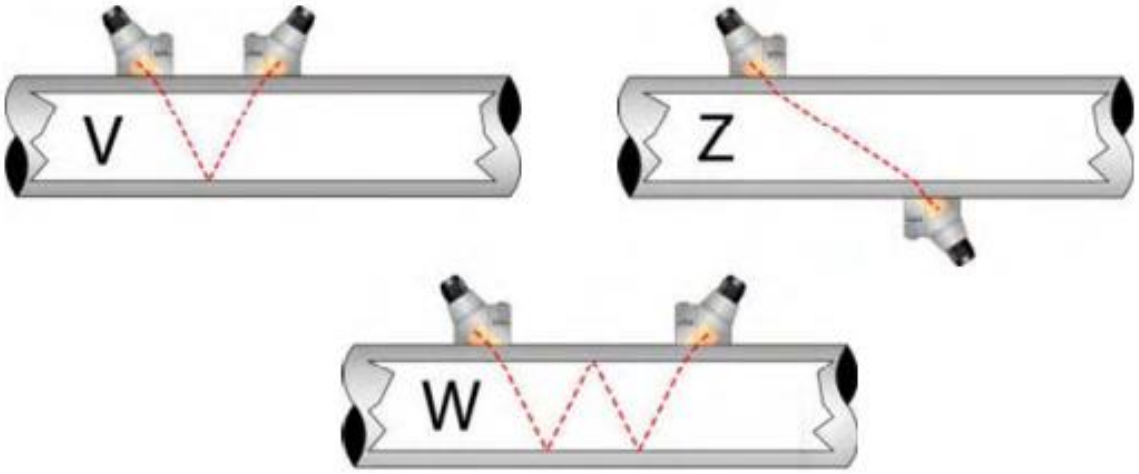
- El líquido cuyo caudal se mide tiene que tener una razonable conductividad eléctrica.
- La energía disipada por las bobinas da lugar al calentamiento local del tubo del Sensor.

Sensores Ultrasónicos

Dos tipos de Sensores ultrasónicos son utilizados, fundamentalmente, para la medida de caudal en circuitos cerrados. El primero (tiempo de tránsito o de propagación) utiliza la transmisión por impulsos, mientras que el segundo (efecto Doppler) usa la transmisión continua de ondas.

Sensores Ultrasónicos por Impulsos

Los Sensores ultrasónicos modulados por impulsos son los más precisos y se utilizan, preferentemente, con líquidos limpios, aunque algunos tipos permiten medidas de líquidos con cierto contenido de partículas y gas. El método diferencial de medida por tiempo de tránsito, se basa en un sencillo hecho físico. Si imaginamos dos canoas atravesando un río sobre una misma línea diagonal, una en el sentido del flujo y la otra en contra del flujo, la canoa que se desplaza en el sentido del flujo necesitará menos tiempo en alcanzar su objetivo.



Las ondas ultrasonoras se comportan exactamente de la misma forma

Las ecuaciones básicas son las mismas para ambos métodos de diferencia de frecuencia y tiempo de propagación. Como se muestra en la figura un impulso ultrasónico se emite diagonalmente a través de la tubería.

PLC

CONTROLADOR LOGICO PROGRAMABLE PLC

Un PLC es un equipo electrónico programable que permite almacenar una secuencia de ordenes (programa) en su interior y ejecutarlo de forma cíclica con el fin de realizar una tarea.

Aunque se podría pensar que es el equivalente a un ordenador, existen diferencias entre ambos. El PLC está diseñado para trabajar en ambientes industriales, ejecutar su programa de forma indefinida y es menos propenso a fallos o "cuelgues" que un ordenador convencional. Además, su programación está mas orientada al ámbito industrial, incluso existen lenguajes que "simulan" el comportamiento del equipo con el de un sistema de relés y temporizadores .

Campos de aplicación

El PLC por sus especiales características de diseño tiene un campo de aplicación muy extenso. La constante evolución del hardware y software amplía constantemente este campo para poder satisfacer las necesidades que se detectan en el espectro de sus posibilidades reales.

Su utilización se da fundamentalmente en aquellas instalaciones en donde es necesario un proceso de maniobra, control, señalización, etc. , por tanto, su aplicación abarca desde procesos de fabricación industriales de cualquier tipo a transformaciones industriales, control de instalaciones, etc.

Sus reducidas dimensiones, la extremada facilidad de su montaje, la posibilidad de almacenar los programas para su posterior y rápida utilización, la modificación o alteración de los mismos, etc., hace que su eficacia se aprecie fundamentalmente en procesos en que se producen necesidades tales como:

- Espacio reducido
- Procesos de producción periódicamente cambiantes
- Procesos secuenciales
- Maquinaria de procesos variables
- Instalaciones de procesos complejos y amplios
- Chequeo de programación centralizada de las partes del proceso

Ejemplos de aplicaciones generales:

- Maniobra de máquinas
- Maquinaria industrial de plástico
- Máquinas transfer
- Maquinaria de embalajes
- Maniobra de instalaciones:
- Instalación de aire acondicionado, calefacción...
- Instalaciones de seguridad
- Señalización y control:
- Chequeo de programas
- Señalización del estado de procesos

Ventajas e inconvenientes

No todos los autómatas ofrecen las mismas ventajas sobre la lógica cableada, ello es debido, principalmente, a la variedad de modelos existentes en el mercado y las innovaciones técnicas que surgen constantemente. Tales consideraciones me obligan e referirme a las ventajas que proporciona un autómata de tipo medio.

Ventajas

- Menor tiempo empleado en la elaboración de proyectos debido a que:
- No es necesario dibujar el esquema de contactos
- No es necesario simplificar las ecuaciones lógicas, ya que, por lo general la capacidad de almacenamiento del módulo de memoria es lo suficientemente grande.
- La lista de materiales queda sensiblemente reducida, y al elaborar el presupuesto correspondiente eliminaremos parte del problema que supone el contar con diferentes proveedores, distintos plazos de entrega.
- Posibilidad de introducir modificaciones sin cambiar el cableado ni añadir aparatos.
- Mínimo espacio de ocupación.
- Menor coste de mano de obra de la instalación.
- Economía de mantenimiento. Además de aumentar la fiabilidad del sistema, al eliminar contactos móviles, los mismos autómatas pueden indicar y detectar averías.
- Posibilidad de gobernar varias máquinas con un mismo autómata.
- Menor tiempo para la puesta en funcionamiento del proceso al quedar reducido el tiempo cableado.
- Si por alguna razón la máquina queda fuera de servicio, el autómata sigue siendo útil para otra máquina o sistema de producción.

Inconvenientes

Como inconvenientes podríamos hablar, en primer lugar, de que hace falta un programador, lo que obliga a adiestrar a uno de los técnicos en tal sentido, pero hoy en día ese inconveniente esta solucionado porque las universidades ya se encargan de dicho adiestramiento.

El coste inicial también puede ser un inconveniente.

Funciones básicas de un PLC

• Detección:

Lectura de la señal de los captadores distribuidos por el sistema de fabricación.

• Mando:

Elaborar y enviar las acciones al sistema mediante los accionadores y preaccionadores.

• Dialogo hombre maquina:

Mantener un diálogo con los operarios de producción, obedeciendo sus consignas e informando del estado del proceso.

• Programación:

Para introducir, elaborar y cambiar el programa de aplicación del autómata. El dialogo de programación debe permitir modificar el programa incluso con el autómata controlando la maquina.

Nuevas Funciones

• Redes de comunicación:

Permiten establecer comunicación con otras partes de control. Las redes industriales permiten la comunicación y el intercambio de datos entre autómatas a tiempo real. En unos cuantos milisegundos pueden enviarse telegramas e intercambiar tablas de memoria compartida.

• Sistemas de supervisión:

También los autómatas permiten comunicarse con ordenadores provistos de programas de supervisión industrial. Esta comunicación se realiza por una red industrial o por medio de una simple conexión por el puerto serie del ordenador.

• Control de procesos continuos:

Además de dedicarse al control de sistemas de eventos discretos los autómatas llevan incorporadas funciones que permiten el control de procesos continuos. Disponen de módulos

de entrada y salida analógicas y la posibilidad de ejecutar reguladores PID que están programados en el autómata.

• Entradas- Salidas distribuidas:

Los módulos de entrada salida no tienen porqué estar en el armario del autómata. Pueden estar distribuidos por la instalación, se comunican con la unidad central del autómata mediante un cable de red.

• Buses de campo:

Mediante un solo cable de comunicación se pueden conectar al bus captadores y accionadores, reemplazando al cableado tradicional. El autómata consulta cíclicamente el estado de los captadores y actualiza el estado de los accionadores.

Estructura interna

El autómata está constituido por diferentes elementos, pero tres son los básicos:

- CPU
- Entradas
- Salidas
- Con las partes mencionadas podemos decir que tenemos un autómata pero para que sea operativo son necesarios otros elementos tales como:
- Fuente de alimentación
- Interfaces
- La unidad o consola de programación
- Los dispositivos periféricos

La CPU (Central Procesing Unit) es la parte inteligente del sistema. Interpreta las instrucciones del programa de usuario y consulta el estado de las entradas. Dependiendo de dichos estados y del programa, ordena la activación de las salidas deseadas.
La CPU está constituida por los siguientes elementos:

- Procesador
- Memoria monitor del sistema
- Circuitos auxiliares

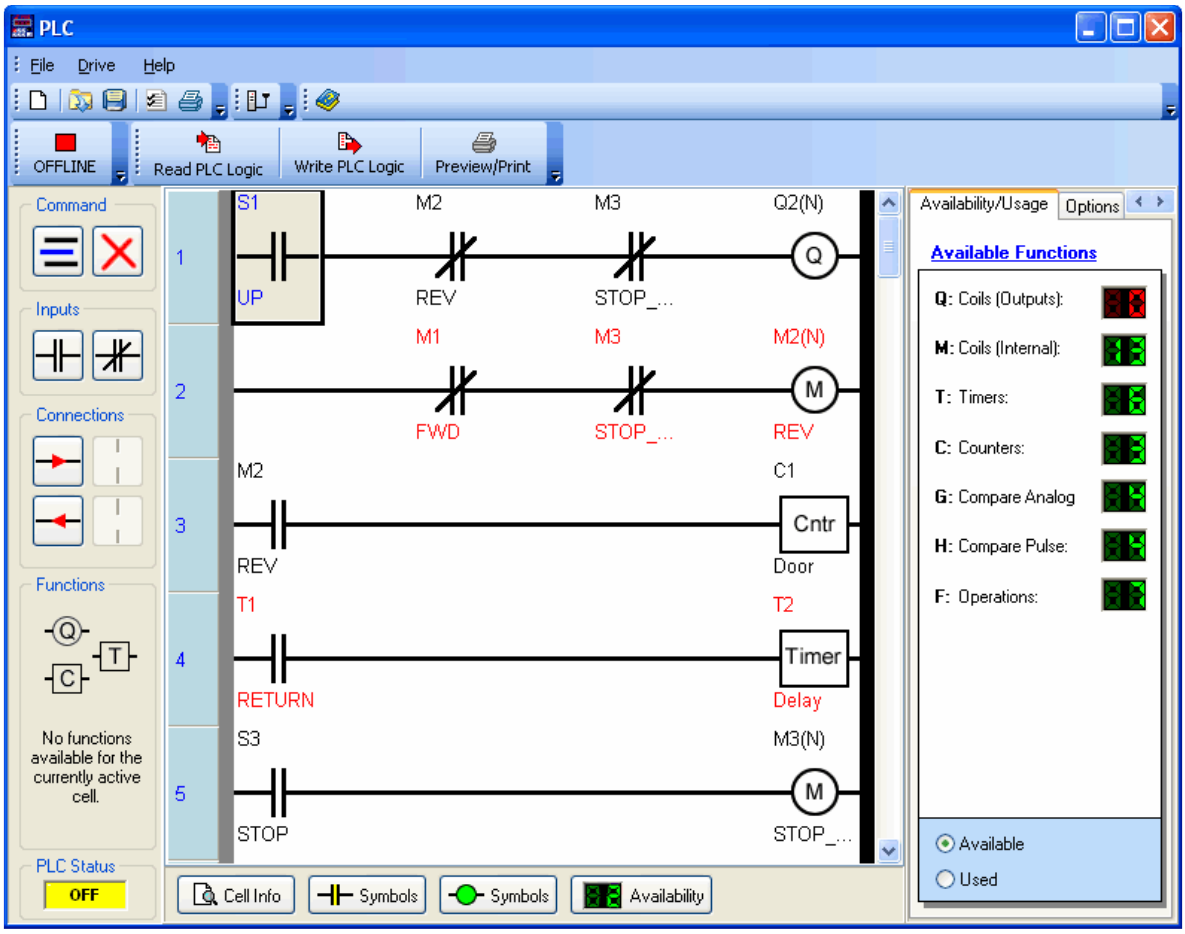
Funciones básicas de la CPU

En la memoria ROM del sistema, el fabricante ha grabado una serie de programas ejecutivos, software del sistema y es a estos programas a los que accederá el µp para realizar las funciones.
El software del sistema de cualquier autómata consta de una serie de funciones básicas que realiza en determinados tiempos de cada ciclo.
En general cada autómata contiene y realiza las siguientes funciones:

PROFESOR TÉCNICO Y DE MATEMÁTICAS MELGAREJO EMANUEL

ELECTRÓNICA – 5° AÑO – EETP N° 285

• Vigilar que el tiempo de ejecución del programa de usuario no exceda de un determinado tiempo máximo. A esta función se le denomina Watchdog.
• Ejecutar el programa usuario.
• Crear una imagen de las entradas, ya que el programa de usuario no debe acceder directamente a dichas entradas.
• Renovar el estado de las salidas en función de la imagen de las mismas, obtenida al final del ciclo de ejecución del programa usuario.
• Chequeo del sistema.



Interfaces

En el control de un proceso automatizado, es imprescindible un dialogo entre operador-máquina junto con una comunicación entre la máquina y el autómata, estas comunicaciones se establecerán por medio del conjunto de entradas y salidas del citado elemento.
Los autómatas son capaces de manejar tensiones y corrientes de nivel industrial, gracias a que disponen un bloque de circuitos de interfaz de E/S muy potente, que les permite conectarse directamente con los sensores y accionamientos del proceso.
De entre todos los tipos de interfaces que existen, las interfaces específicas permiten la conexión con elementos muy concretos del proceso de automatización. Se pueden distinguir entre ellas tres grupos bien diferenciados:
• Entradas / salidas especiales.

• Entradas / salidas inteligentes.
• Procesadores periféricos inteligentes.

Las interfaces especiales del primer grupo se caracterizan por no influir en las variables de estado del proceso de automatización. Únicamente se encargan de adecuar las E/S, para que puedan ser inteligibles por la CPU, si son entradas, o para que puedan ser interpretadas correctamente por actuadores (motores, cilindros, etc.), en el caso de las salidas.

Las del segundo grupo admiten múltiples modos de configuración, por medio de unas combinaciones binarias situadas en la misma tarjeta. De esta forma se descarga de trabajo a la unidad central, con las ventajas que conlleva.

Los procesadores periféricos inteligentes, son módulos que incluyen su propio procesador, memorias y puntos auxiliares de entrada / salida. Estos procesadores contienen en origen un programa especializado en la ejecución de una tarea concreta, a la que le basta conocer los puntos de consigna y los parámetros de aplicación para ejecutar, de forma autónoma e independiente de la CPU principal, el programa de control.

Entradas salidas

Hay dos tipos de entradas:

• Entradas digitales
• Entradas analógicas

La sección de salida también mediante interfaz trabaja de forma inversa a las entradas, es decir, decodifica las señales procedentes de la CPU, y las amplifica y manda con ellas los dispositivos de salida o actuadores como lámparas, relés... aquí también existen unos interfaces de adaptación a las salidas de protección de circuitos internos.

Hay dos tipos de salidas:

• Salidas digitales
• Salidas analógicas

Entradas digitales

Los módulos de entrada digitales permiten conectar a los autómatas captadores de tipo todo o nada como finales de carrera pulsadores...

Los módulos de entrada digitales trabajan con señales de tensión, por ejemplo cuando por una vía llegan 24 voltios se interpreta como un "1" y cuando llegan cero voltios se interpreta como un "0".

El proceso de adquisición de la señal digital consta de varias etapas.

• Protección contra sobretensiones
• Filtrado
• Puesta en forma de la onda
• Aislamiento galvánico o por optoacoplador.

Entradas analógicas

Los módulos de entrada analógicas permiten que los autómatas programables trabajen con accionadores de mando analógico y lean señales de tipo analógico como pueden ser la temperatura, la presión o el caudal.

Los módulos de entradas analógicas convierten una magnitud analógica en un número que se deposita en una variable interna del autómata. Lo que realiza es una conversión A/D, puesto que el autómata solo trabajar con señales digitales. Esta conversión se realiza con una precisión o resolución determinada (número de bits) y cada cierto intervalo de tiempo (periodo muestreo).

Los módulos de entrada analógica pueden leer tensión o intensidad.

El proceso de adquisición de la señal analógica consta de varias etapas:
• Filtrado
• Conversión A/D
• Memoria interna

Salidas digitales

Un módulo de salida digital permite al autómata programable actuar sobre los preaccionadores y accionadores que admitan ordenes de tipo todo o nada.

El valor binario de las salidas digitales se convierte en la apertura o cierre de un relé interno del autómata en el caso de módulos de salidas a relé.

En los módulos estáticos (bornero), los elementos que conmutan son los componentes electrónicos como transistores o triacs, y en los módulos electromecánicos son contactos de relés internos al módulo.

Los módulos de salidas estáticos al suministrar tensión, solo pueden actuar sobre elementos que trabajan todos a la misma tensión, en cambio los módulos de salida electromecánicos, al ser libres de tensión, pueden actuar sobre elementos que trabajen a tensiones distintas.

El proceso de envío de la señal digital consta de varias etapas:
• Puesta en forma
• Aislamiento
• Circuito de mando (relé interno)
• Protección electrónica
• Tratamiento cortocircuitos

Salidas analógicas

Los módulos de salida analógica permiten que el valor de una variable numérica interna del autómata se convierta en tensión o intensidad.

Lo que realiza es una conversión D/A, puesto que el autómata solo trabaja con señales digitales. Esta conversión se realiza con una precisión o resolución determinada (número de bits) y cada cierto intervalo de tiempo (periodo muestreo).

Esta tensión o intensidad puede servir de referencia de mando para actuadores que admitan mando analógico como pueden ser los variadores de velocidad, las etapas de los tiristores de los hornos, reguladores de temperatura... permitiendo al autómata realiza funciones de regulación y control de procesos continuos.

El proceso de envío de la señal analógica consta de varias etapas:
• Aislamiento galvánico
• Conversión D/A
• Circuitos de amplificación y adaptación
• Protección electrónica de la salida

Como hemos visto las señales analógicas sufren un gran proceso de adaptación tanto en los módulos de entrada como en los módulos de salida. Las funciones de conversión A/D y D/A que realiza son esenciales. Por ello los módulos de E/S analógicos se les consideran módulos de E/S especiales.

¿Qué tipos de PLC existen?

Pueden clasificarse, en función de sus características en:

- Nano
- Compacto
- Modular

Nano

Generalmente integran la fuente de alimentación, la CPU y las entradas y salidas la diferencia entre el tipo compacto es que maneja un conjunto reducido de entradas y salidas. El tipo nano permite manejar entradas y salidas digitales y algunos módulos especiales.

Compacto

Tienen incorporada la fuente de alimentación, su CPU y los módulos de entrada y salida en un solo módulo principal y permiten manejar desde unas pocas entradas y salidas hasta varios cientos pero no pueden expandir sus modelos, su tamaño es superior a los de tipo Nano y soportan una gran variedad de módulos especiales, tales como:

- entradas y salidas análogas
- módulos contadores rápidos
- módulos de comunicaciones
- interfaces de operador
- expansiones de entrada y salida

Modular
Este tipo tiene la ventaja de que pueden ser configurados conforme a las necesidades ya que cada módulo esta por separado y puedes armar tu PLC según tus necesidades.

APLICACIONES DEL PLC EN LA INDUSTRIA MODERNA

Detrás del crecimiento de la industria actual, a nivel global, se encuentran los controladores lógicos programables (PLC).

Sin estas valiosas herramientas y los lenguajes de programación cada vez más accesibles, no serían posibles los ahorros en costos y las reducciones en tiempos de los procesos productivos, dado que ahora, las maniobras de maquinaria son más fáciles, con formación precisa de parte de los operadores. También, el mantenimiento a la maquinaria también es cada vez de frecuencias menores, colaborando así a la eficiencia, al tiempo que la vida útil de la maquinaria ha sido mayor.

Los PLC son el soporte para una gran cantidad de aplicaciones en industrias de muy diversos giros. Esta larga lista muestra sólo algunas de ellas:

Maquinaria

Procesado de gravas, cementos y arenas
Ensamblaje
Máquinas industriales para la madera y los muebles

Maquinaria industrial del plástico.
Herramientas complejas
Maquinaria de transferencia

Instalaciones

Instalaciones de seguridad
Calefacción y aire acondicionado
Plantas de embotellado
Transporte y almacenaje
Tratamientos térmicos
Automoción
Instalaciones azucareras

Industria automotriz

Soldaduras
Cabinas de pintura
Ensamblaje
Fresadoras
Taladradoras
Tornos

Industria química y petroquímica

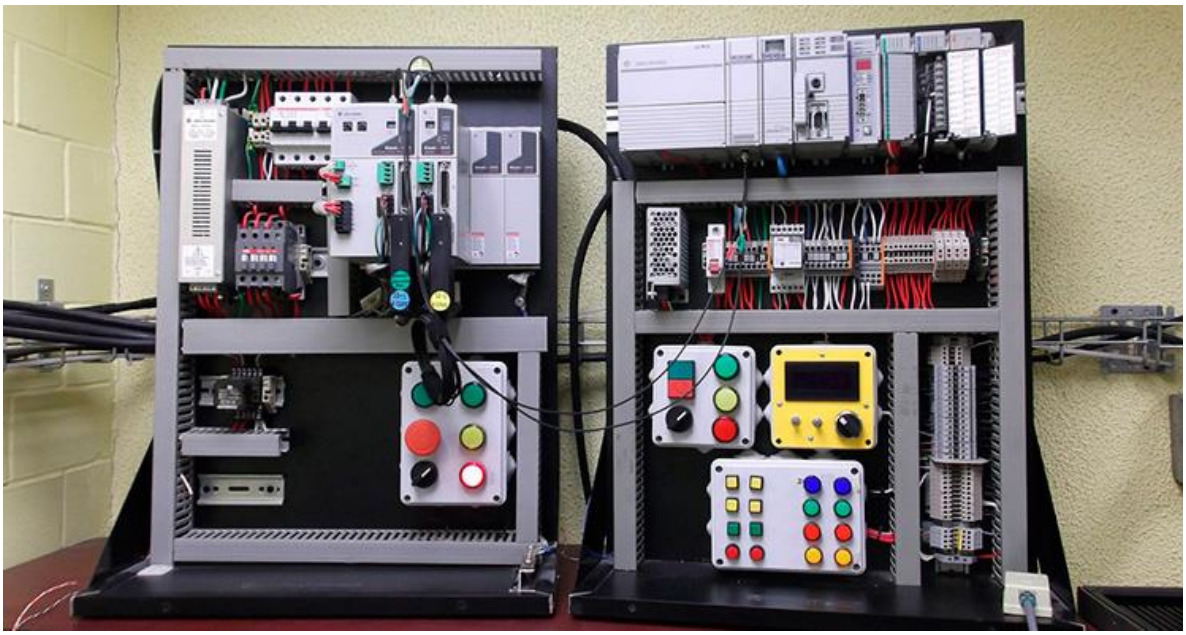
Oleoductos
Refinados
Baños electrolíticos
Tratamientos de aguas residuales y fecales
Pesaje
Dosificación
Mezcla

Metalúrgica

Control de hornos
Fundiciones
Laminado
Grúas
Forjas
Soldadura

Industria alimenticia

Empaquetado
Envasado
Almacenaje
Embotellado
Maderas y papeleras
Serradoras

Control de procesos

Laminados
Producción de conglomerados
Producción de energía
Turbinas
Transporte de combustibles
Centrales eléctricas
Energía solar