

# CAPÍTULO 4

# ELECTRÓNICA PARA LOS

# CONTROLES DE ILUMINACIÓN

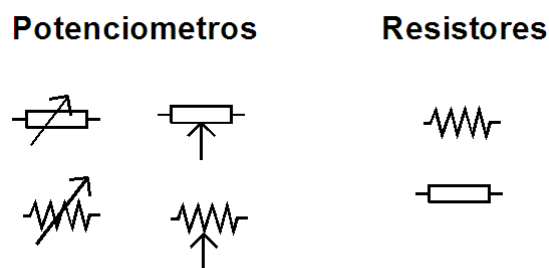
## 4.1 DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS ANALÓGICOS

Los dispositivos electrónicos analógicos junto con los digitales suelen integrarse para formar un sistema electrónico. La cantidad de dispositivos es muy amplia y variada y su elección dependerá del problema en cuestión. En este capítulo solo se mencionaran los dispositivos a utilizar en el diseño del dispositivo para control de iluminación, los cuales son: resistores, capacitores, diodos, fotodiodos, transistores bipolares, amplificadores operacionales y relevadores.

### 4.1.1 RESISTORES

Los materiales presentan generalmente un comportamiento característico de resistencia al flujo de la carga eléctrica. Esta propiedad física, o capacidad para resistirse a la corriente, se conoce como resistencia y se representa mediante el símbolo  $R$ . El elemento de circuito que se utiliza para hacer un modelo del comportamiento de resistencia a la corriente de un material es el resistor. Los resistores suelen fabricarse a partir de aleaciones metálicas y compuestos de carbono. La relación entre la tensión y la corriente en un resistor es descrito por la ley de Ohm, la cual establece que *la tensión  $V$  a lo largo de un resistor es directamente proporcional a la corriente  $i$  que fluye por el mismo* esto es:

$$v = iR$$

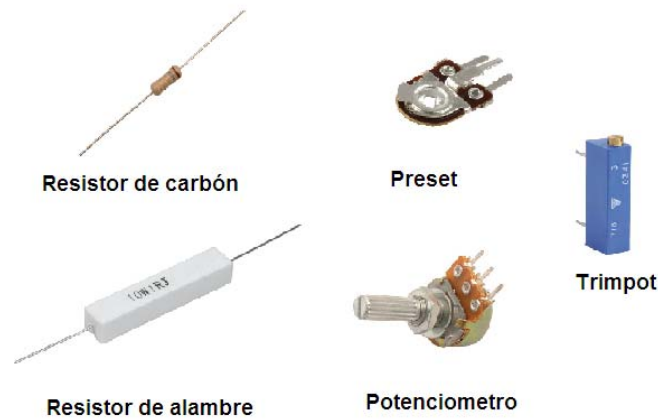


**Figura 4-1.** Símbolos más comunes para resistores y potenciómetros

Los resistores pueden ser fijos o variables, los resistores fijos pueden ser tanto compuestos como de alambre enrollado. Los resistores variables son mejor conocidos como potenciómetros. El potenciómetro es un elemento de tres terminales con un contacto deslizante, al deslizar dicho



contacto varía la resistencia entre la terminal del mismo y las terminales fijas. Del mismo modo que los resistores fijos, los potenciómetros pueden ser de alambre enrollado o compuestos.



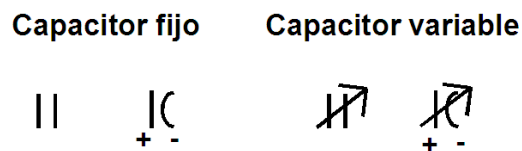
**Figura 4-2.** Algunos resistores empleados comúnmente.

### 4.1.2 CAPACITORES

Un capacitor es un elemento pasivo diseñado para almacenar energía por medio de su campo eléctrico, los capacitores están compuestos por dos placas conductoras separadas por un aislante (dieléctrico). Se dice que el capacitor almacena la carga eléctrica. La cantidad de carga almacenada, representada por  $q$ , es directamente proporcional a la tensión aplicada,  $v$ , de modo que:

$$q = Cv$$

Donde  $C$  es la constante de proporcionalidad conocida como capacitancia.



**Figura 4-3.** Algunos símbolos empleados para los capacitores.

Los principales tipos de capacitores son los cerámicos, de poliéster y electrolíticos. Los de poliéster, son ligeros y estables. Los capacitores de película se enrollan y empaquetan en películas metálicas o plásticas. Los capacitores electrolíticos tienen una capacitancia muy elevada.

Los capacitores se utilizan para bloquear CD, dejar pasar CA, correr la fase, almacenar energía, arrancar motores y suprimir ruido. Las expresiones para la corriente, tensión, y energía almacenada son, respectivamente:

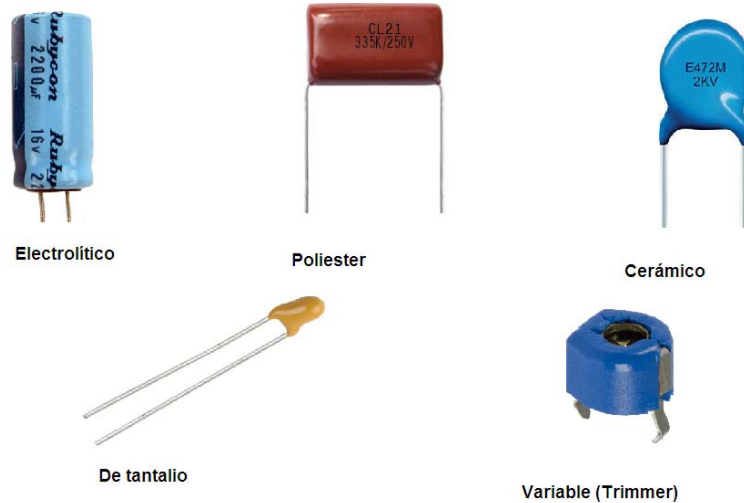
$$i = C \frac{dv}{dt}$$

$$v = \frac{1}{C} \int_{t_0}^t i dt + v(t_0)$$

$$w = \frac{1}{2} C v^2$$

Las principales características de un capacitor son:

- Cuando la tensión en un capacitor no varía con el tiempo, la corriente que circula por el capacitor es cero.
- La tensión en el capacitor debe ser continua, es decir la tensión no puede variar en forma abrupta.
- El capacitor ideal no disipa energía; toma potencia del circuito cuando almacena energía en su campo y devuelve la energía almacenada con anterioridad cuando libera potencia al circuito.
- Un capacitor real no ideal tiene como modelo una resistencia de fuga en paralelo con un capacitor ideal. La resistencia suele ser demasiado grande por lo que por lo general se puede omitir.



**Figura 4-4.** Tipos más comunes de capacitores.

### 4.1.3 INDUCTORES

Un inductor es un elemento pasivo que se diseña para almacenar energía por medio de su campo magnético, están compuestos por una bobina de alambre conductor. Si se deja pasar una corriente a través del inductor, se puede apreciar que la tensión en el inductor es directamente proporcional a la tasa de cambio de la corriente:

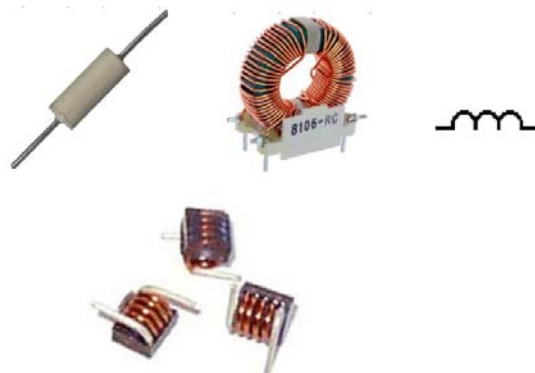
$$v = L \frac{di}{dt}$$

L es la constante de proporcionalidad conocida como inductancia, su unidad es el Henry. La inductancia es la propiedad según la cual un inductor presenta oposición al cambio de corriente que fluye a través de él. Al igual que los capacitores, los inductores que se consiguen comercialmente tienen diferentes valores y tipos. Los inductores prácticos comunes tienen valores de inductancia de unos  $\mu\text{H}$  como en los sistemas de comunicación, hasta H como en los sistemas de potencia. Las expresiones para corriente y energía almacenada son, respectivamente:

$$i = \frac{1}{L} \int_{t_0}^t v(t) dt + i(t_0) \quad w = \frac{1}{2} Li^2$$

Las principales propiedades de los inductores son:

- La tensión en un inductor es cero cuando la corriente es constante; un inductor actúa como corto circuito en cd.
- Una propiedad muy importante del inductor es la oposición al cambio en la corriente que influye por él; la corriente que circula por un inductor no puede cambiar instantáneamente.
- Al igual que un capacitor ideal, el inductor ideal no disipa energía. Es posible recuperar después la energía almacenada en él. El inductor toma potencia del circuito cuando almacena energía y entrega potencia al circuito cuando devuelve la que almacenó anteriormente.

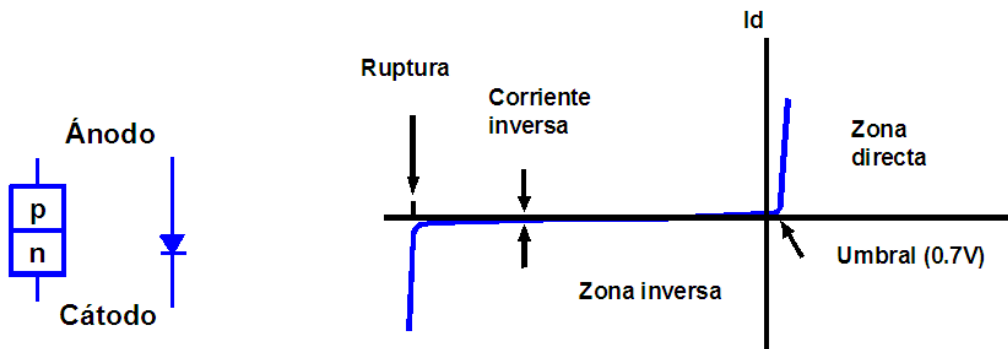


**Figura 4-5.** Algunos tipos de inductores y su simbología.

## 4.1.4 DIODOS

Un diodo es un dispositivo cuya característica es permitir el paso de corriente en una sola dirección. Es un dispositivo no lineal porque la gráfica de corriente en función de la tensión no es una línea recta. La razón es la barrera de potencial; cuando la tensión del diodo es menor que la barrera de potencial, la corriente del diodo es pequeña; si la tensión del diodo supera esta barrera de potencial, la corriente del diodo se incrementa rápidamente.

Cuando fluye corriente a través del diodo se dice que está polarizado en directa, para que esto ocurra se tiene que conectar el ánodo a un potencial mayor que el cátodo (la diferencia de potencial debe superar la tensión umbral, que para diodos de silicio es aproximadamente 0.7 V). Mientras no se supera la tensión umbral no existirá flujo de corriente y se dice entonces que el diodo está polarizado en inversa. El diodo será capaz de funcionar en inversa mientras no se supere la tensión de ruptura, ya que si se supera el diodo conduce sin control y la corriente tiende a incrementarse rápidamente teniendo como consecuencia la destrucción del diodo.



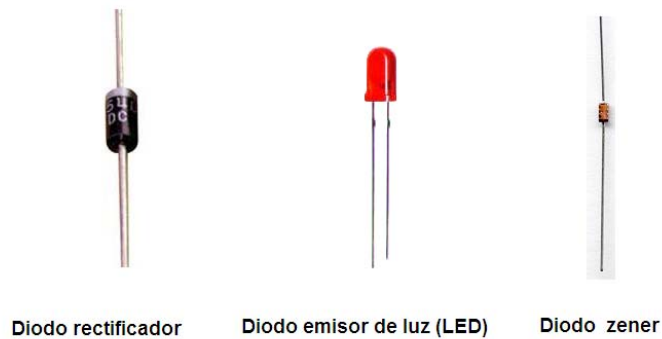
**Figura 4-6.** Símbolo eléctrico y curva del diodo.

Los principales tipos de diodos son: rectificadores, de conmutación, emisores de luz y zener. Los diodos zener o de avalancha son un tipo de diodo que se utiliza para funcionar en la zona de ruptura sin que resulten dañados, estos diodos son la parte esencial de los reguladores de tensión. Un diodo zener en la zona directa comienza a conducir aproximadamente a los 0.7 V, igual que un diodo normal de silicio. En la zona de fugas (entre cero y la zona de zener), circula solamente una pequeña corriente inversa. En condiciones normales, el diodo zener debe tener polarización inversa, además para trabajar en la zona zener, la tensión de la fuente debe ser mayor que la tensión de ruptura.

Los diodos emisores de luz (LED) cuando están polarizados en directa, los electrones libres atraviesan la unión y caen en los huecos. Como caen de niveles energéticos altos a niveles bajos, emiten energía. En los diodos normales esta energía se disipa en forma de calor, pero en un LED lo hace en forma de luz.

Empleando elementos como el galio, el arsénico y el fósforo, un fabricante puede producir LED verde, rojo, azul, amarillo, naranja o infrarrojos. En la mayor parte de los LED disponibles comercialmente, la caída de tensión típica es de 1.5 a 2 V. La luminosidad de un LED depende de la intensidad de corriente.





**Figura 4-7.** Algunos tipos de diodos.

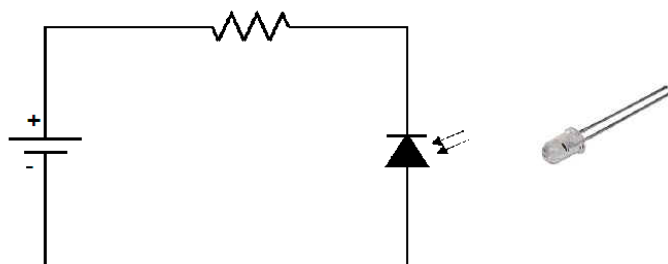
### 4.1.5 FOTODIODOS

El fotodiodo básicamente es un semiconductor o unión PN, que opera bajo su curva de polarización inversa, pues la corriente que fluye a través del circuito por efecto de la polarización inversa puede ser modificada cuando la unión es activada por un rayo de luz.

Si la luz o energía radiante es proyectada hacia la unión PN, previamente polarizada de manera inversa, esta absorberá fotones de energía, de cuyo efecto se originan pares de electrón- hueco, con lo que se permite que los portadores negativos se desplacen hacia la región de agotamiento, lo cual da como consecuencia que en un circuito se desplace una corriente adicional y proporcional a la intensidad de flujo luminoso que activa esa juntura polarizada de manera inversa. Un fotodiodo, es un diodo cuya sensibilidad a la luz es máxima.

El fotodiodo suele ser construido de materiales de selenio y silicio, así como en versiones tanto del tipo unión como de punta de contacto, los cuales son dispositivos que además cuentan con un sistema de lentes para enfocar los rayos de luz sobre la unión que se forma entre las dos capas semiconductoras que constituyen el diodo.

La siguiente figura muestra el símbolo de un fotodiodo. Las flechas representan la luz incidente. A medida que la luz se hace más intensa, la corriente inversa aumenta. En los fotodiodos típicos la corriente inversa es del orden de decenas de microamperes.



**Figura 4-8.** Representación de un fotodiodo en un circuito eléctrico y su imagen real.

## 4.1.6 FOTODIODO EMISOR DE INFRARROJOS

Los diodos emisores de luz infrarroja son dispositivos de arseniuro de galio de estado sólido que emiten un rayo de flujo radiante cuando se polariza directamente. Cuando la unión se encuentra en polarización directa, los electrones de la región n se recombinan con el exceso de huecos del material p en una región de recombinación especialmente diseñada, intercalada entre los materiales del tipo p y n. Durante este proceso de recombinación, se irradia energía del dispositivo en forma de fotones.



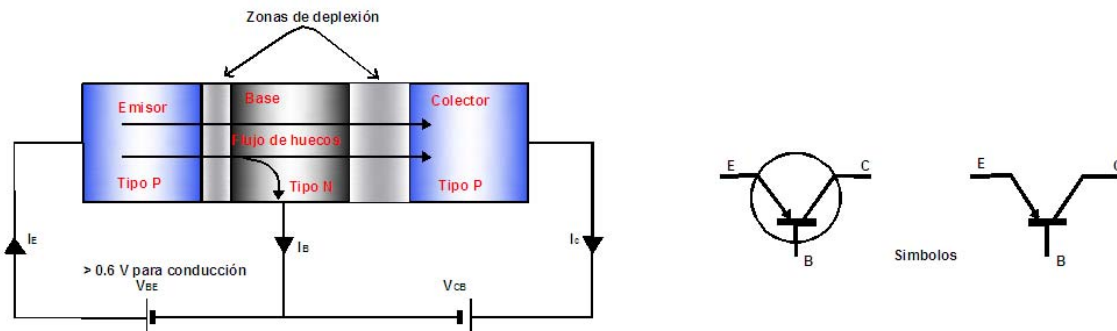
**Figura 4-9.** Emisor infrarrojo.

## 4.1.7 TRANSISTORES BIPOLARES

El transistor es un dispositivo semiconductor que tiene la propiedad de poder gobernar a voluntad, la intensidad de corriente que circula entre dos de sus tres terminales, a través de la acción de una corriente mucho menor que la anterior, aplicada a la tercera terminal.

El transistor bipolar tiene dos diferentes configuraciones: PNP o NPN, estos dos tipos de transistores trabajan de la misma manera. El transistor bipolar tiene tres electrodos llamados: emisor, base y colector.

En la figura siguiente se muestra como es polarizado un transistor PNP. En el diagrama por simplicidad las baterías son las fuentes y la dirección del flujo de corriente es de las zonas de mayor potencial a las de menor, como se ha establecido convencionalmente.



**Figura 4-10.** Funcionamiento del transistor PNP y su simbología.







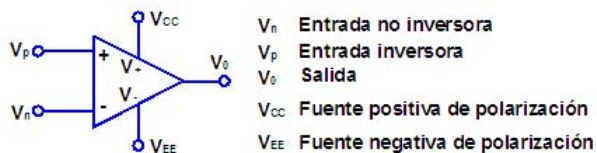


**Figura 4-12.** Fototransistores y su representación.

## 4.1.9 AMPLIFICADORES OPERACIONALES

Un amplificador operacional es un amplificador diferencial lineal con acoplamiento directo de alta ganancia, cuyas características de respuesta se controlan en forma externa mediante realimentación negativa de la salida a la entrada. Los amplificadores operacionales pueden realizar operaciones matemáticas como suma, resta, integración y derivación; también se usan como amplificadores de audio y video, osciladores, etc.

El símbolo del amplificador operacional se muestra en la siguiente figura.



**Figura 4-13.** Representación de un amplificador operacional y los encapsulados más comunes.

La entrada  $-$  es la entrada inversora; si a esta terminal se le aplica una señal, se desfazará  $180^\circ$  en la salida. La entrada  $+$  es la no inversora; al aplicar una señal a esta entrada, en la salida aparecerá con la misma fase de la de entrada.

Dependiendo del tipo de aplicación se utiliza un tipo de realimentación, esto es, la conexión de la entrada con la salida. La retroalimentación negativa (conexión de la terminal inversora con la salida) es la empleada en la mayoría de las aplicaciones con amplificadores operacionales; cuando no se utiliza generalmente es en los circuitos comparadores.



Las principales características de un amplificador operacional ideal son:

- *Resistencia de entrada infinita.* Es la resistencia que existe entre las terminales  $V_n$  y  $V_p$ , si esta resistencia es infinita se puede conectar cualquier señal en la entrada del amplificador operacional, sin importar la corriente que suministra la fuente que genera la señal.
- *Resistencia de salida cero.* De esta resistencia depende la corriente que se puede suministrar, de tal forma que si es cero, se le puede conectar cualquier tipo de carga.
- *Slew Rate infinito (SR).* Es la velocidad con la que puede responder un amplificador operacional ante los cambios en su entrada. Este parámetro tiene unidades de  $V/\mu s$ . Si el SR es infinito, se tiene la certeza que el amplificador operacional responderá de manera inmediata.
- *Ancho de banda infinito.* Las limitaciones en frecuencia de un amplificador están dadas por el ancho de banda, por lo tanto si el ancho de banda fuera infinito se podría trabajar con cualquier frecuencia.
- *Corriente de bias cero.* Las corrientes de bias son las corrientes que fluyen en las terminales inversora y no inversora de un amplificador operacional. Generalmente se toma el valor promedio de ambas para definir el valor de  $I_B$ . Si  $I_B$  es cero quiere decir que el amplificador no demanda corriente en las terminales inversora y no inversora.
- *Corriente de offset de entrada cero.* La corriente de offset es la diferencia de las corrientes de bias.
- *Voltaje de offset de entrada cero.* El voltaje de offset de entrada es un voltaje de ajuste que se debe aplicar a una de las terminales de entrada, cuando la otra está conectada a un potencial de 0 V, con el fin de garantizar un voltaje de salida cero.
- *Ganancia de lazo abierto infinita.* Un amplificador operacional generalmente no se trabaja en lazo abierto, más bien se usa en retroalimentación negativa. La retroalimentación negativa permite un control total del comportamiento de la ganancia del amplificador operacional.

#### 4.1.10 RELEVADORES

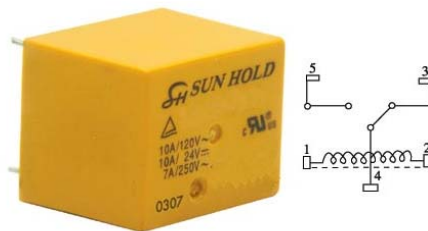
Los relevadores son dispositivos electromagnéticos que conectan o desconectan un circuito eléctrico de potencia al excitar un electroimán o bobina de mando. Los relevadores están provistos para accionar pequeñas potencias, generalmente inferiores a 1 kW.

Los relevadores se suelen utilizar como etapa previa para accionar dispositivos más potentes. El relevador separa en general la parte de mando, que trabaja con tensiones y corrientes débiles, de la parte de potencia, con tensiones y corrientes más elevadas.



Muchas veces las bobinas de los relevadores son gobernadas directamente por los circuitos electrónicos y aportan la ventaja de aislar eléctricamente el circuito electrónico de los contactos de utilización. Las características más importantes de los relevadores son:

- *Tensión de mando.* Tensión de alimentación de la bobina de mando.
- *Potencia de mando.* Potencia necesaria para accionar la bobina de mando.
- *Tensión de aislamiento.* Tensión de prueba entre el circuito de mando y contactos.
- *Tensión de utilización.* Tensión de trabajo de los contactos de potencia.
- *Corriente térmica.* Corriente máxima que pueden soportar los contactos una vez cerrados sin sobrepasar los límites de calentamiento.
- *Corriente de utilización.* Es la corriente que el dispositivo es capaz de accionar e interrumpir para cada tensión de utilización y con carga resistiva.
- *Capacidad de corte.* Es la corriente que el relevador es capaz de accionar e interrumpir para cada tipo de carga. y para cada número de maniobras determinado.



**Figura 4-14.** Relevador y su representación.

## 4.2 SENSORES

Los sensores electrónicos han ayudado no solo a medir con mayor exactitud las magnitudes, sino a poder operar con dichas medidas. Pero no se puede hablar de los sensores sin sus acondicionadores de señal, ya que normalmente los sensores ofrecen una variación de señal muy pequeña y es importante equilibrar las características del sensor con las del circuito que le permite medir, acondicionar, procesar y actuar con dichas medidas.

Los sensores convierten las variaciones de una magnitud física en variaciones de una magnitud eléctrica, que se denomina habitualmente señal.

### 4.2.1 CLASIFICACIÓN DE LOS SENSORES

Los sensores se pueden clasificar de acuerdo a la forma de codificar la magnitud medida los sensores se pueden clasificar en:



- *Analógicos.* Son aquellos que dan como salida un valor de tensión o corriente variable en forma continua dentro del campo de medida. Es común que este tipo de sensores se acondicionen en un transductor que incluye etapas de salida para suministrar señales normalizadas de 0-10 V o 4-20 mA.
- *Digitales.* Son aquellos que dan como salida una señal codificada en forma de pulsos o de una palabra digital codificada en binario, BCD u otro sistema cualquiera.
- *Todo-nada.* Indican únicamente cuando la variable detectada rebasa cierto umbral o límite. Pueden considerarse como un caso límite de los sensores digitales en los que se codifican solo dos estados.

Otro criterio de clasificación, relacionado con las señales de salida, es el hecho de que el captador requiera o no una alimentación externa para su funcionamiento. Siguiendo este criterio, los sensores se clasifican en:

- *Sensores pasivos.* Se basan por lo general en la modificación de la impedancia eléctrica o magnética de un material bajo determinadas condiciones físicas o químicas. Este tipo de sensores, debidamente alimentados, provoca cambios de tensión o de corriente en un circuito, los cuales son escogidos por el circuito de interfaz.
- *Sensores activos.* Estos sensores son en realidad generadores eléctricos, generalmente de pequeña señal. Por ello no necesitan alimentación exterior para funcionar, aunque si suelen necesitarla para amplificar la débil señal del captador.

Otra forma de clasificar los sensores es debido a la magnitud física a detectar, en cuanto a su naturaleza, existe una gran variedad de sensores en la industria. En general, los principios físicos en los que suelen estar basados los elementos sensores son los siguientes:

- Cambios de resistividad.
- Electromagnetismo.
- Piezoelectricidad.
- Efecto fotovoltaico.
- Termoelectricidad.

## 4.2.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS SENSORES

Para definir el comportamiento real de los transductores (un transductor es el conjunto formado por el sensor y el acondicionador de señal), se suelen comparar estos con un modelo ideal de comportamiento o con un transductor patrón y se definen una serie de características que ponen de manifiesto las desviaciones respecto a dicho modelo. Las características pueden ser estáticas o dinámicas.

### 4.2.2.1 CARACTERÍSTICAS ESTÁTICAS

Describen la actuación del sensor en régimen permanente o con cambios muy lentos de la variable a medir. Las características estáticas más relevantes son las siguientes:



- **Campo de medida.** Es el rango de valores de la magnitud de entrada comprendiendo entre el máximo y el mínimo detectables por un sensor, con una tolerancia de error aceptable.
- **Resolución.** Indica la capacidad del sensor para discernir entre valores muy próximos de la variable de entrada. Se mide por la mínima diferencia entre dos valores próximos que el sensor es capaz de distinguir. Se puede indicar en términos del valor absoluto de la variable física medida o en porcentaje respecto al fondo de escala de salida.
- **Precisión.** Define la máxima desviación entre la salida real obtenida de un sensor en determinadas condiciones de entorno y el valor teórico de dicha salida que correspondería, en idénticas condiciones, según el modelo ideal especificado como patrón.
- **Repetibilidad.** Indica la máxima desviación entre valores de salida obtenidos al medir varias veces un mismo valor de entrada con el mismo sensor y en idénticas condiciones ambientales.
- **Linealidad.** Se dice que un transductor es lineal si existe una constante de proporcionalidad única que relaciona los incrementos de la señal de salida con los correspondientes incrementos de la señal de entrada, en todo el campo de medida.
- **Sensibilidad.** Característica que indica la mayor o menor variación de la salida por unidad de la magnitud de entrada. La sensibilidad se mide por la relación:

$$\text{Sensibilidad} = \frac{\Delta \text{salida}}{\Delta \text{entrada}}$$

- **Ruido.** Se entiende por ruido cualquier perturbación aleatoria del propio transductor o del sistema de medida que produce la desviación de la salida con respecto al valor teórico.
- **Histéresis.** Se dice que un transductor presenta histéresis cuando, a igualdad de magnitud de entrada, la salida depende de si dicha entrada se alcanzó en sentido creciente o en sentido decreciente.

#### 4.2.2.2 CARACTERÍSTICAS DINÁMICAS

La mayor parte de transductores tienen un comportamiento dinámico que se puede asimilar a un sistema de primer o segundo orden. Las características dinámicas más importantes son las siguientes:

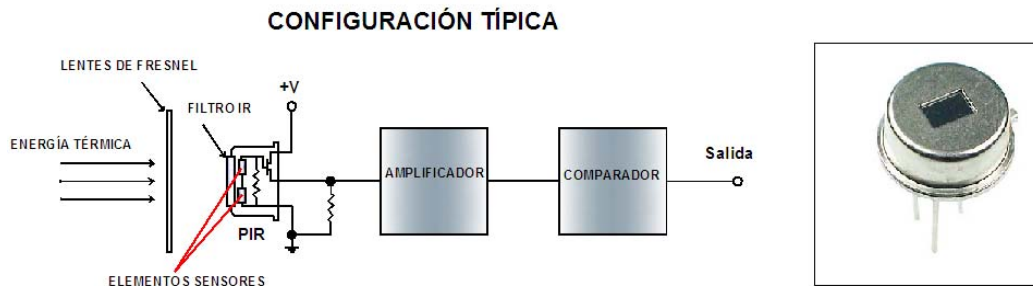
- **Velocidad de respuesta.** La velocidad de respuesta mide la capacidad de un transductor para que la señal de salida siga sin retraso las variaciones de la señal de entrada.
- **Respuesta en frecuencia.** Es la relación entre la sensibilidad y la frecuencia cuando la entrada es una excitación senoidal.



- **Estabilidad.** Característica la desviación de la salida del sensor al variar ciertos parámetros exteriores distintos del que se pretende medir, tales como condiciones ambientales, alimentación u tras perturbaciones.

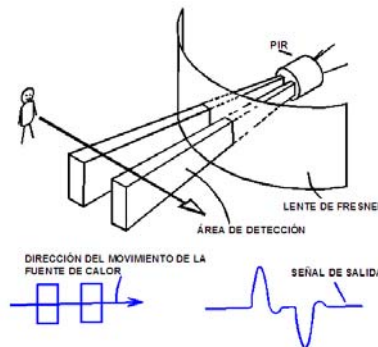
### 4.2.3 SENSORES PASIVOS INFRARROJOS (PIR)

La radiación infrarroja existe en el espectro electromagnético y tiene una longitud de onda mayor que la luz visible. Esta radiación no puede ser vista, pero si puede ser detectada. Los objetos que generan calor también pueden generar radiación infrarroja, estos objetos pueden ser tanto animales como personas. Los sensores PIR encapsulados están contruidos de un material cristalino que genera una pequeña carga eléctrica cuando es expuesto al calor en forma de radiación infrarroja. Cuando existe suficiente radiación infrarroja, la cantidad de carga cambia y es mediada por un FET que está conectado internamente. Los elementos sensores son sensibles a un amplio rango de radiación, por lo que se agrega una ventana que actúa como filtro para limitar la radiación aceptada. Están compuestos por dos elementos sensores, un extremo de uno de ellos generalmente es la conexión a tierra, el otro extremo se conecta a la compuerta del transistor de efecto de campo (FET), entre los extremos hay una resistencia de alto valor. La alimentación se conecta a la terminal de drenaje del FET y la señal de salida se obtiene de la terminal fuente del FET que generalmente se conecta con una resistencia externa a tierra y a un amplificador.



**Figura 4-15.** Configuración de un PIR y su imagen física.

El principio de funcionamiento del sensor es el siguiente: cuando un cuerpo que emite radiación infrarroja dentro del rango aceptado, pase por el área de detección, los dos sensores que están dentro del encapsulado mandarán la señal de salida como se puede observar en la siguiente figura.



**Figura 4-16.** Funcionamiento de un sensor PIR.

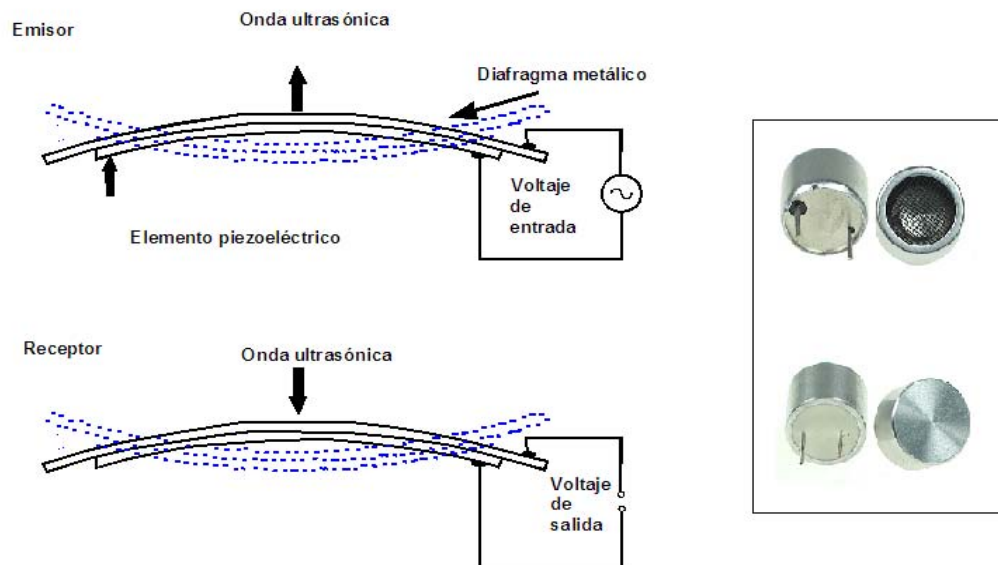


## 4.2.4 SENSORES ULTRASÓNICOS

Estos sensores se utilizan por lo general en conjunto con un emisor ultrasónico ya que se basan en la emisión – recepción de ondas ultrasónicas. Cuando un objeto interrumpe el haz, el nivel de recepción varía y el receptor lo detecta. Tienen la ventaja de poder detectar con facilidad objetos transparentes, como cristal y plásticos.

Sin embargo, debido a que las ondas se mueven por aire, no pueden ser utilizados en lugares donde circule aire con violencia, o en medios elevados de contaminación acústica. Los sensores ultrasónicos utilizan el efecto Doppler para la detección. El principio es que cuando un objeto emite un sonido y se aleja, se percibe más fuerte cuando se acerca al detector, esto es debido a que varía ligeramente la frecuencia de las ondas sonoras.

Si una persona se mueve en un área con ondas ultrasónicas, las reflexiones son detectadas con una frecuencia diferente.



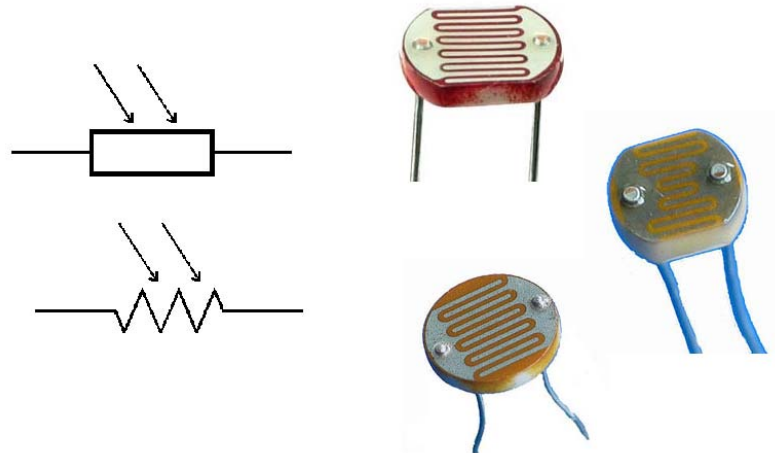
**Figura 4-17.** Principio de funcionamiento de un sensor ultrasónico y su imagen real.

El funcionamiento interno de los sensores es el siguiente: Cuando se proporciona una señal de voltaje a una determinada frecuencia, el elemento piezoeléctrico se deforma en proporción al voltaje aplicado, generando con esto ondas sonoras (transmisor). Inversamente, un elemento puesto en un campo de ondas sonoras, proporcionará un voltaje proporcional a la intensidad del sonido (receptor).



## 4.2.5 FOTORRESISTENCIAS (LDR)

Las fotorresistencias (en inglés Light Dependent Resistor LDR) se basan en la variación de la resistencia eléctrica de un semiconductor al incidir en él radiación electromagnética con una longitud de onda entre 1mm y 10 nm.



**Figura 4-18.** Símbolo y apariencia de una fotorresistencia.

La conductividad eléctrica en un material depende del número de portadores en la banda de conducción. En un semiconductor, a baja temperatura la mayor parte de sus electrones están en la banda de valencia, y se comporta casi como aislante. Pero al aumentar la temperatura, aumenta la agitación de los electrones, dado que las bandas de valencia están más próximas, cada vez hay más electrones que saltan de la banda de valencia a la de conducción, aumentando la conductividad. Si el semiconductor está dopado, este salto aun es más fácil.

La energía necesaria para producir el salto puede venir de otras fuentes externas además de calor, como puede ser radiación óptica o una tensión eléctrica. En el caso de la radiación óptica, su energía,  $E$ , y frecuencia,  $f$ , están relacionadas mediante la siguiente expresión:

$$E = hf$$

Donde  $h = 6.62 \times 10^{-34} \text{ W s}^2$  es la constante de Planck. Si la radiación tiene energía suficiente para emitir el salto de los electrones de una a otra banda, pero sin exceder el umbral necesario para que se desprendan del material, se tendrá efecto fotoeléctrico interno o fotoconductor, y a mayor iluminación, mayor será la conductividad.

La relación entre la energía de los fotones y la longitud de onda de la radiación,  $\lambda$ , es:

$$\lambda = \frac{ch}{E}$$

La relación entre la resistencia  $R$  de un fotoconductor y el nivel de iluminación,  $E$  (densidad superficial de energía recibida expresada en luxes), está dada por la siguiente expresión:

$$R = AE^{-\alpha}$$





Donde  $A$  y  $\alpha$  dependen del material y las condiciones de fabricación. Los fotoconductores más comunes, utilizables a temperatura ambiente, son el SCd, SPb y SePb. Se fabrican en formas muy variadas, con dispositivos simétricos, diferenciales, etc. Los tiempos de respuesta van desde 100 ms de algunos modelos de SCd hasta los 2  $\mu$ s de algunos de SePb. La tensión máxima que aceptan sin iluminación es hasta 600 V, y la disipación permitida a 25°C, va de 50 mW a 1 W.

Las aplicaciones de las LDR ordinarias se pueden dividir entre las de medida de luz, las cuales son de poca precisión y bajo costo; y las que emplean la luz como radiación a modificar. En el primer grupo están: el control automático de brillo y contraste en receptores de TV, el control de diafragmas de cámaras fotográficas, la detección de fuego, el control de iluminación, etc. En el segundo grupo están los detectores de presencia y posición y algunas medidas de nivel de depósitos.

#### 4.2.6 CELDAS FOTOVOLTAICAS

Las celdas fotovoltaicas constan de dos electrodos separados por una delgada capa de semiconductor. Se suelen conectar millares de placas para producir energía eléctrica. Las celdas fotovoltaicas más comunes son:

- *Celda fotovoltaica de selenio.* Por propiedades del selenio, es particularmente sensible a la gama de la luz visible. En su estructura destaca la superficie fotorresistiva hecha a base de selenio, de la que, a la vez se deriva la terminal negativa del dispositivo para lo cual se suele emplear una tira colectora de plata para el contacto eléctrico. La parte posterior de la celda representa la terminal positiva. Su tensión es de 0.4 V a 500  $\mu$ A.
- *Celda fotoeléctrica de silicio.* Debido a las propiedades del silicio, esta fotocelda es sensible dentro de la gama infrarroja, la superficie resistiva está hecha a base de silicio la parte positiva es de plata, mientras que la negativa está formada por níquel y estaño. Su tensión es por lo regular 1 V a 20 mA.
- *Celda solar.* Con este nombre se conoce a aquellos tipos de fotoceldas que desarrollan un relativo alto potencial al ser expuestos a la luz del sol. Su tensión es de 6 V a 250 mA.

Las celdas fotovoltaicas son ampliamente utilizadas para medir y detectar la intensidad de luz en los fotómetros. También se aplican en sistemas de relevadores aplicados en la automatización. Así mismo, su uso se ha incrementado notablemente en forma de paneles solares, los cuales están constituidos por miles de células solares.



## 4.3 CONTROLADORES

Recibe el nombre de controlador el dispositivo que se emplea para el gobierno de uno o varios procesos. Aunque el concepto de controlador ha permanecido invariable a través del tiempo, su implementación física ha variado frecuentemente. Hace tres décadas, los controladores se construían exclusivamente con componentes de lógica discreta, posteriormente se emplearon los microprocesadores, que se rodeaban con circuitos de memoria y E/S sobre una tarjeta de circuito impreso. En la actualidad, todos los elementos del controlador se han podido incluir en un circuito integrado, el cual recibe el nombre de microcontrolador. Realmente consiste en una sencilla pero completa microcomputadora contenida en el corazón de un circuito integrado.

Los microcontroladores se pueden encontrar en el control de una innumerable cantidad de dispositivos. Son la parte central del control de diversos sistemas electrónicos y se diseñan tanto para aplicaciones específicas como generales.

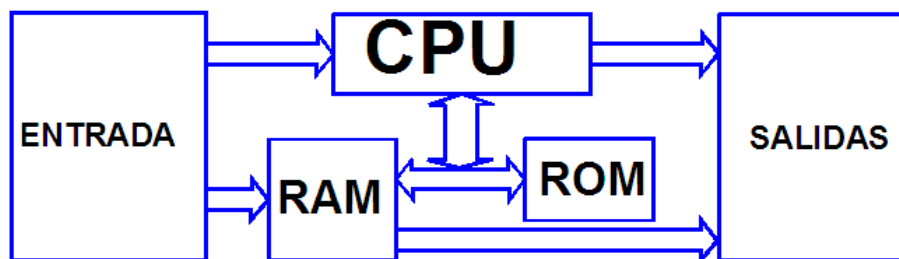
Quizá la clasificación más importante entre microcontroladores sea de 4, 8, 16 ó 32 bits. Aunque las prestaciones de los microcontroladores de 16 y 32 bits son superiores a los de 4 y 8 bits, sin embargo los microcontroladores de 8 bits dominan el mercado y los de 4 bits se resisten a desaparecer. La razón de esta tendencia es que los microcontroladores de 4 y 8 bits son apropiados para la gran mayoría de las aplicaciones, lo que hace absurdo emplear micros más potentes y consecuentemente más caros.

En cuanto a las técnicas de fabricación, prácticamente la totalidad de los microcontroladores actuales se fabrican con tecnología CMOS 4 (Complementary Metal Oxide Semiconductor). Esta tecnología supera a las técnicas anteriores por su bajo consumo y alta inmunidad al ruido.

Los microcontroladores de 32 bits van afianzando sus posiciones en el mercado, siendo las áreas de más interés el procesamiento de imágenes, las comunicaciones, las aplicaciones militares, los procesos industriales y el control de los dispositivos de almacenamiento masivo de datos.

### 4.3.1 ARQUITECTURA BÁSICA

Se pueden encontrar computadoras electrónicas digitales, de muy diversas configuraciones, adaptadas a diferentes propósitos, pero todas tienen en común: una unidad central de proceso (CPU), memoria de programa (ROM), memoria de datos (RAM) y entradas - salidas.

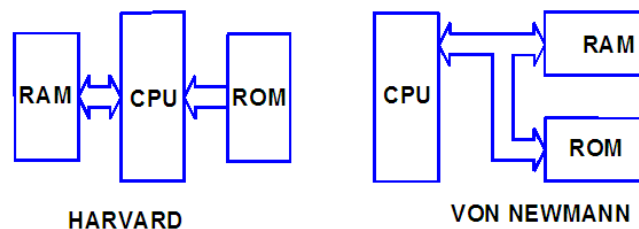


**Figura 4-19.** Arquitectura básica de un controlador.



El CPU o procesador está compuesto esencialmente por una unidad lógica aritmética (ALU), registros de trabajo, contador de programa, decodificador de instrucciones y algunos otros registros especiales. Si todo esto está integrado en un solo dispositivo, se lo conoce como microprocesador (aunque dependa de algunos componentes externos para su funcionamiento como por ejemplo, generador de reloj del sistema).

La longitud (cantidad de bits) de la palabra de datos que puede manejar, es una de sus principales características y por la que se catalogan 8 bits 16 ...64 bits; otra no menos importante es la forma que se interconectan las memorias con la CPU, que pueden compartir el BUS (arquitectura Von Newman), o no (arquitectura Harvard), el no compartir el bus tiene las ventajas de aumentar la velocidad de proceso al tener diferentes longitudes para las palabras de instrucción y datos (menos ciclos por instrucción), pudiendo además superponer operaciones de lectura de programa con escrituras de datos (búsqueda y ejecución); dando lugar a la RISC (computadora con set de instrucciones reducido).



**Figura 4-20.** Arquitecturas Harvard y Von Neumann.

### 4.3.2 UNIDADES DE MEMORIA

Los sistemas digitales de proceso poseen una unidad de memoria en la que se almacenan los datos, los resultados parciales, y los resultados finales del proceso. Cuando el sistema es especializado y el número de bit a memorizar es pequeño se suele utilizar registros de entrada y salida en paralelo o en serie.

Cuando la cantidad de información a memorizar es elevada y en especial cuando el sistema es programable (ha de memorizarse las instrucciones de programa además de los datos y nunca se necesita tener acceso a toda la información simultáneamente) los elementos que memorizan información se pueden agrupar en una unidad de memoria en la que solo se puede acceder simultáneamente a cierto número de ellos. Se define por lo tanto una unidad de memoria como un conjunto de biestables agrupados de tal manera que solamente es posible introducir información o leer la que poseen simultáneamente en un grupo reducido de estos (grupo de 8 bits, un byte).

Volátiles	No volátiles
RAM (Memoria de acceso aleatorio)	ROM (Memoria de solo lectura)
SRAM (Estática RAM)	PROM (Programable ROM)
DRAM (Dinámica RAM)	EPROM (Borrable por luz UV, PROM)
	EEPROM (Borrable eléctricamente PROM)
	NVSRAM (No volátil SRAM)

**Tabla 4-1.** Tipos de memoria.



### 4.3.3 MICROCONTROLADORES

Un microcontrolador es un circuito integrado de alta escala de integración que incorpora la mayor parte de los elementos que configuran un controlador, dispone normalmente de los siguientes componentes:

- Procesador o UCP (Unidad Central de Proceso).
- Memoria RAM para contener los datos y memoria para el programa tipo ROM/PROM/EPROM/EEPROM.
- Líneas de E/S para comunicarse con el exterior.
- Diversos módulos para el control de periféricos.
- Generador de pulsos de reloj que sincronizan el funcionamiento de todo el sistema.

Los productos que para su regulación incorporan microcontroladores tienen las siguientes ventajas:

- *Aumento de prestaciones.* Un mayor control sobre determinado elemento representa una mejora considerable en el mismo.
- *Aumento de la fiabilidad.* Al reemplazar un gran número de elementos, disminuye el número de averías y se requieren menos ajustes.
- *Reducción del tamaño en el producto acabado.* La integración del microcontrolador en un circuito integrado disminuye el volumen y la mano de obra.
- *Mayor flexibilidad.* Las características del control están programadas por lo que su modificación solo necesita cambios en el programa de instrucciones.

Algunos fabricantes de microcontroladores superan el millón de unidades de un modelo determinado producidas en una semana. Este dato puede dar una idea de la masiva utilización de estos componentes.

Los microcontroladores están siendo empleados en multitud de sistemas presentes en nuestra vida diaria, como pueden ser juguetes, horno microondas, frigoríficos, televisores, computadoras, impresoras, módems, el sistema de arranque de autos, etc. Y otras aplicaciones como instrumentación electrónica, control de sistemas en una nave espacial, etc. Una aplicación típica podría emplear varios microcontroladores para controlar pequeñas partes del sistema. Estos pequeños controladores podrían comunicarse entre ellos y con un procesador central, probablemente más potente, para compartir la información y coordinar sus acciones, como, de hecho, ocurre habitualmente en cualquier PC.

