

RESISTORES DEPENDIENTES DE LA TEMPERATURA

El uso cada vez más extendido de los resistores dependientes de la temperatura, tanto para protección de circuitos y componentes como para medición y compensación, hace necesario tener un claro conocimiento de sus características eléctricas. En este artículo se analizan las propiedades fundamentales de los resistores NTC y PTC y se estudian las características resistencia-temperatura y tensión-corriente de los mismos.

Resistores NTC

Los resistores NTC, también llamados *termistores NTC*, son resistencias cuyo coeficiente de temperatura es negativo, es decir que el valor óhmico de su resistencia depende de la temperatura en forma significativa. La sigla NTC proviene de la denominación inglesa *Negative Temperature Coefficient*.

Para su fabricación se utilizan óxidos de los metales de transición del grupo del hierro. La resistividad de estos óxidos en estado muy puro es elevada, pero con el agregado de pequeñas cantidades de otros elementos de distinta valencia se transforman en semiconductores.

Así, óxidos de níquel o de cobalto, combinados con óxido de litio presentan la particularidad de que cuando aumenta la temperatura a la que se hallan sometidos, disminuyen su resistividad.

En la figura 1 se muestra el símbolo utilizado para representar los termistores en los esquemas eléctricos.

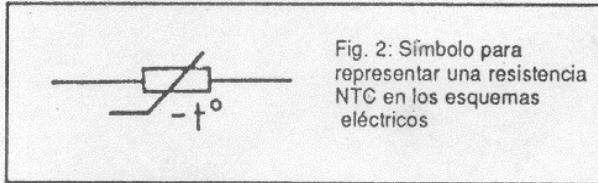


Fig. 2: Símbolo para representar una resistencia NTC en los esquemas eléctricos

Característica resistencia-temperatura de un resistor NTC

La relación entre la resistencia y la temperatura en un resistor NTC puede expresarse aproximadamente por la ecuación:

$$R = A e^{B/T}$$

Donde R es la resistencia a un valor de temperatura absoluta T , mientras que A y B son constantes para un resistor NTC dado y e es la base de los logaritmos naturales ($e = 2,718$). Esta ecuación se muestra en la figura 2, donde se ha representado R en función de la temperatura en grados centígrados.

El coeficiente de temperatura α de un resistor NTC se obtiene a partir de la fórmula:

$$\alpha = -\frac{B}{T^2}$$

Según los materiales utilizados en la fabricación de un resistor NTC, la constante B puede variar entre 2000 y 5500°K. Así, por ejemplo, para un resistor NTC con una constante B de 4400 se tiene un coeficiente de temperatura α de -4,95% por grado centígrado a la temperatura de 298,15°K (25°C), es decir que su resistencia disminuye un 4,95% por cada grado de aumento de temperatura.

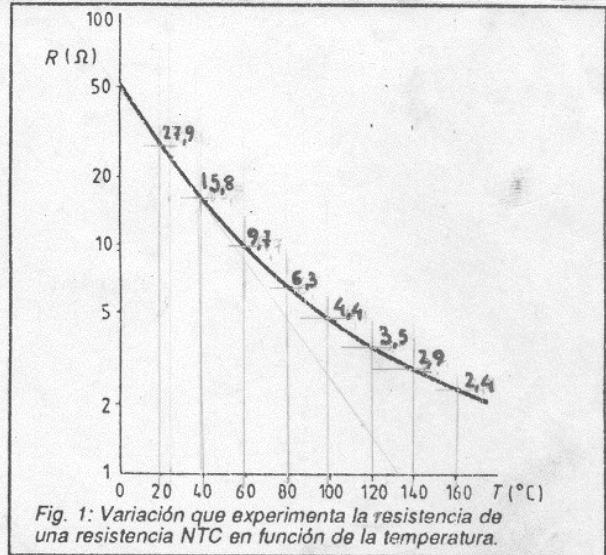


Fig. 1: Variación que experimenta la resistencia de una resistencia NTC en función de la temperatura.

Característica tensión-corriente de un resistor NTC

Cuando, debido al paso de la corriente a través de un resistor NTC, éste se calienta a una temperatura muy por encima de la ambiente, resulta interesante conocer la relación entre corriente y caída de tensión en el resistor. En la figura 3 puede verse esta curva característica para un resistor NTC genérico. En ella V e I figuran en escala logarítmica, ya que de esta forma pueden incluirse las rectas de potencia y resistencia.

La llamada *característica estática* se mide a una temperatura ambiente constante y las lecturas de V se toman después de establecido el equilibrio térmico, es decir cuando la potencia consumida es igual a la potencia disipada. Como se puede observar en la figura 3, para corrientes muy pequeñas el consumo de potencia es demasiado pequeño para ocasionar un aumento de la temperatura o un descenso en la resistencia. En esta parte de la curva característica la relación entre tensión y corriente es lineal, es decir que en ella se cumple la ley de Ohm.

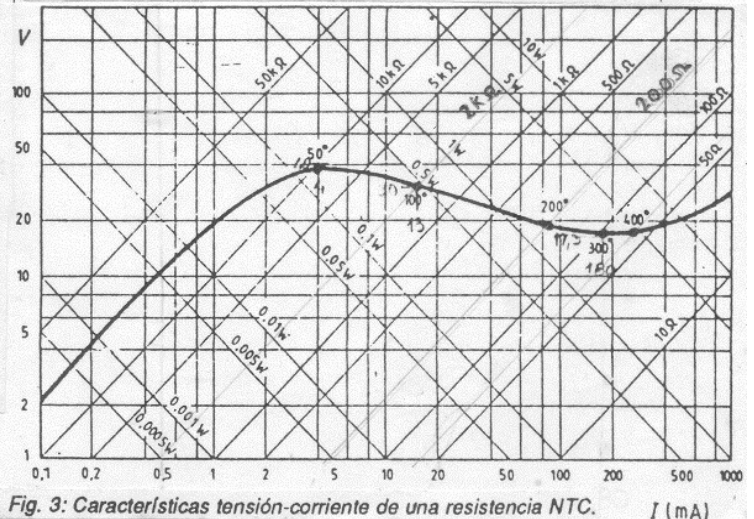


Fig. 3: Características tensión-corriente de una resistencia NTC.

I (mA)

Para potencias por encima de 0,1W aproximadamente, la característica deja de ser lineal. A un cierto valor de corriente, la caída de tensión alcanza un valor máximo, después disminuye al seguir aumentando la corriente (zona de *resistencia negativa*) para aumentar nuevamente a partir de cierto valor de la intensidad de corriente.

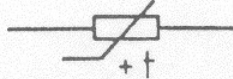
La tolerancia de resistencia a 25°C, para los resistores NTC es normalmente de $\pm 20\%$. El valor de *B* tiene en la mayoría de los casos, una tolerancia de $\pm 5\%$.

Resistores PTC

Los resistores PTC (del inglés *Positive Temperature Coefficient*) son resistencias cuyo coeficiente de temperatura es positivo, es decir que el valor de su resistencia depende de la temperatura, al igual que los termistores NTC vistos en el punto anterior, pero con la particularidad de que, mientras en los resistores NTC la resistencia disminuye al aumentar la temperatura, en los resistores PTC aumenta la resistencia. En la figura 4 se muestra el símbolo con el que se representan estos elementos en los esquemas eléctricos.

Los resistores PTC se fabrican a base de BaTiO₃ (titanato de bario), o soluciones sólidas de los titanatos de bario y estroncio, mediante un procedimiento análogo al seguido en la fabricación de resistores NTC.

Fig. 4: Símbolo para representar una resistencia PTC en los esquemas electrónicos.



Característica resistencia-temperatura de un resistor PTC

En el punto anterior hemos afirmado que en los resistores PTC aumenta la resistencia al aumentar la temperatura; lo que es cierto pero con algunas restricciones. En la figura 5 se han representado las variaciones que sufre la resistencia de un resistor PTC en función de la temperatura.

En principio, la resistencia no experimenta casi variación alguna (zona I); cuando aumenta la temperatura ligeramente se llega a la zona II, en la cual un pequeño aumento de ésta origina un considerable aumento de *R*. Sin embargo, si seguimos aumentando la temperatura nos desplazamos a la zona III, en la cual cae nuevamente el valor de la resistencia, con lo cual el resistor PTC deja de actuar como tal, puesto que en lugar de aumentar disminuye su resistencia, permitiendo por lo tanto el paso de una corriente mayor, lo que puede provocar la destrucción del resistor (por *embalamiento térmico*).

Vemos pues que es posible trabajar con los resistores PTC tan sólo en las zonas I y II.

Fig. 5: Variación que experimenta el valor óhmico de una resistencia PTC en función de la temperatura.

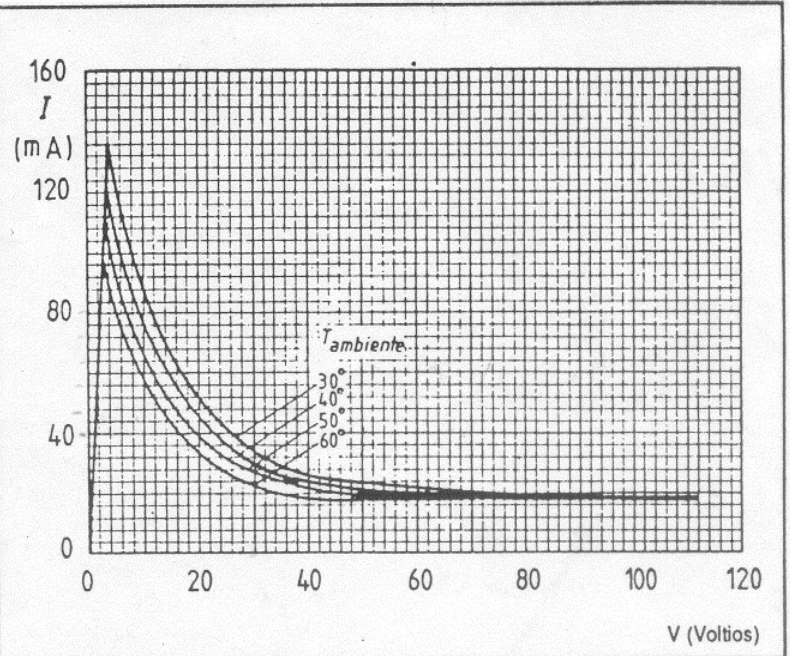
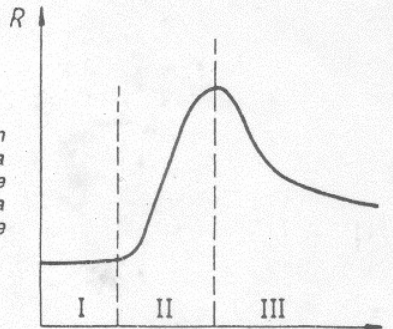


Fig. 6: Característica tensión-corriente de una resistencia PTC para diferentes valores de temperatura ambiente, representada en escala lineal.

Característica tensión-corriente de un resistor PTC

La característica tensión-corriente estática de un resistor PTC es muy interesante, puesto que con ella se muestran claramente los límites de corriente de estos componentes. Hasta cierto valor de tensión la característica tensión-corriente es una línea recta, para la que se cumple la ley de Ohm, pero el valor de la resistencia aumenta tan pronto como la corriente ha calentado al componente, de modo

que su temperatura llegue a la temperatura de conmutación, es decir la temperatura a la cual el valor de la resistencia del resistor PTC es igual al doble del que corresponde a 25°C, como se muestra en la figura 6.

La característica tensión-corriente depende, naturalmente, de la temperatura ambiente y del coeficiente de transferencia de calor al medio ambiente (*resistencia térmica*).

Las curvas características tensión-corriente de la figura 6 se han representado en escala lineal, sin embargo,

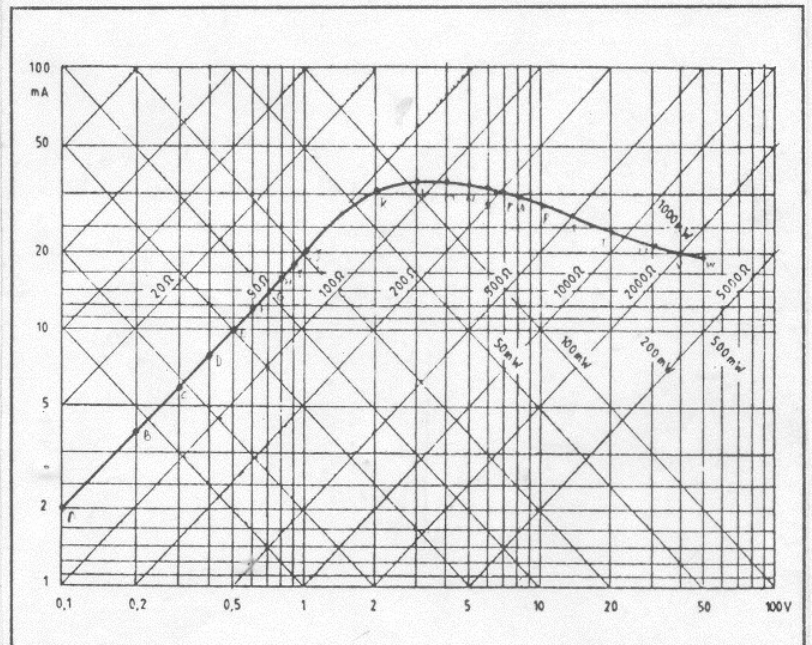


Fig. 7: Características tensión-corriente de una resistencia PTC representada en escala logarítmica.

en la práctica se emplean escalas logarítmicas (figura 7).

Los resistores PTC dependen de cierto grado de la tensión. Así, para tensiones elevadas, el valor de la resistencia es algo menor que el esperado. Por esta razón resulta difícil obtener la curva característica tensión-corriente a partir de la curva caracte-

rística resistencia-temperatura con la constante de disipación como parámetro. Sin embargo, es posible calcular con bastante aproximación el valor máximo de la curva característica tensión-corriente si se conoce la curva característica resistencia-temperatura y la constante de disipación. Veamos cómo se procede para efectuar ese

cálculo:

La potencia de disipación vale:

$$P = I^2 \times R$$

Por lo tanto, un pequeño aumento de la potencia de disipación valdrá:

$$\Delta P = 2IR\Delta I + I^2 \Delta R$$

En el máximo de la curva característica tensión-corriente el incremento de corriente es nulo, por lo tanto la fórmula anterior queda como sigue:

$$\Delta P_M = I_M^2 \Delta R_M$$

(El subíndice M indica que los valores de la fórmula corresponden al

máximo de la curva característica tensión-corriente).

Por otro lado se tiene:

$$\Delta P = D \Delta T$$

Siendo D la constante de disipación y ΔT el incremento de temperatura. De igual forma podemos escribir:

$$\Delta P_M = D \Delta T_M$$

y como se ha dicho anteriormente:

$$\Delta P_M = I_M^2 \Delta R_M$$

podemos establecer la nueva igualdad:

$$D \Delta T_M = I_M^2 \times \Delta R_M$$

y despejando I_M^2 :

$$I_M^2 = \frac{\Delta T_M}{\Delta R_M} D$$

de donde:

$$I_M = \sqrt{\frac{D (T_M - T_{amb})}{R_M}}$$

ya que:

$$\frac{\Delta T_M}{\Delta R_M} = \frac{T_M - T_{amb}}{R_M}$$

FOTOSEMICONDUCTORES

Con este artículo iniciamos el estudio de los fotosemiconductores, es decir de todos aquellos componentes semiconductores sensibles a las radiaciones luminosas o fotosensibles. Trataremos a continuación todo lo referido a las resistencias LDR

Resistencias LDR

Las fotorresistencias o resistores LDR (del inglés "Light Dependent Resistor") son resistencias semiconductoras, al igual que las VDR, PTC y NTC, pero que varían su resistencia eléctrica de acuerdo con las radiaciones luminosas que inciden sobre su superficie. A medida que aumenta la intensidad luminosa sobre su superficie, la resistencia eléctrica de la LDR disminuye. En la figura 1 puede verse al aspecto de algunas de estas resistencias y en la figura 2 el símbolo más utilizado para representarlas. En este caso el símbolo es idéntico al de una resistencia lineal, pero añadiéndole dos pequeñas flechas indicativas de que sobre la LDR debe incidir flujo luminoso.

Los materiales fotosensibles más utilizados para la fabricación de una LDR son el sulfuro de talio, el sulfuro de cadmio, el seleniuro de cadmio y el sulfuro de plomo.

Su construcción se efectúa disponiendo sobre una plaquita de material inerte gran cantidad de electrodos a

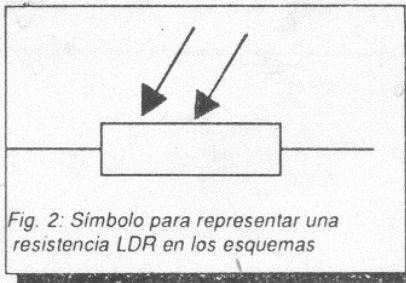


Fig. 2: Símbolo para representar una resistencia LDR en los esquemas

una distancia muy próxima, depositándose entre ellos material fotosensible. Todo el conjunto se encierra herméticamente en una ampolla de vidrio, o con un recubrimiento de plástico, con el fin de protegerlo contra la humedad, polvo, etc.

Veamos cómo funciona unas de estas fotorresistencias. Para ello tomaremos como ejemplo la de sulfuro de cadmio.

Cuando la LDR no está expuesta a radiaciones luminosas, la mayoría de los electrones están firmemente unidos a los átomos que forman la red cristalina. Los electrones libres, tales como los que existen en los metales, se encuentran sólo en cantidades muy pequeñas y su presencia se debe a la energía térmica del material.

Cuando sobre la LDR inciden radiaciones luminosas, la energía de la radiación es absorbida por la red cristalina. En esta circunstancia se libera un cierto número de electrones a causa de esta energía suplementaria absorbida por el material, por lo que la LDR se hace más conductora, es decir disminuye su resistencia eléctrica. Este efecto fotoconductor aumenta considerablemente si el sulfuro de cadmio contiene pequeñas cantidades de elementos activantes, tales como cobre, galio o plata.

Curva característica resistencia-iluminación de una resistencia LDR

Como ya se ha dicho, las resistencias LDR constituyen en esencia resistencias variables cuyo valor óhmico está determinado por la mayor o menor cantidad de flujo luminoso incidente. Cuanto menor es la iluminación, mayor es la resistencia eléctrica de la fotorresistencia. De todo esto se deduce que una de las curvas características más importantes de una resistencia LDR es aquella que establece la relación entre resistencia óhmica e iluminación, es decir la curva característica resistencia-iluminación, que puede verse en la figura 3.

Como se puede observar, la resistencia eléctrica de una resistencia LDR es muy elevada en la oscuridad (2500Ω a 50lux), bajando unos 25Ω cuando sobre ella incide una iluminación de 9000lux.

La relación entre el valor de la resistencia y la iluminación puede ser expresada con cierta aproximación por medio de la fórmula: $R = A L$

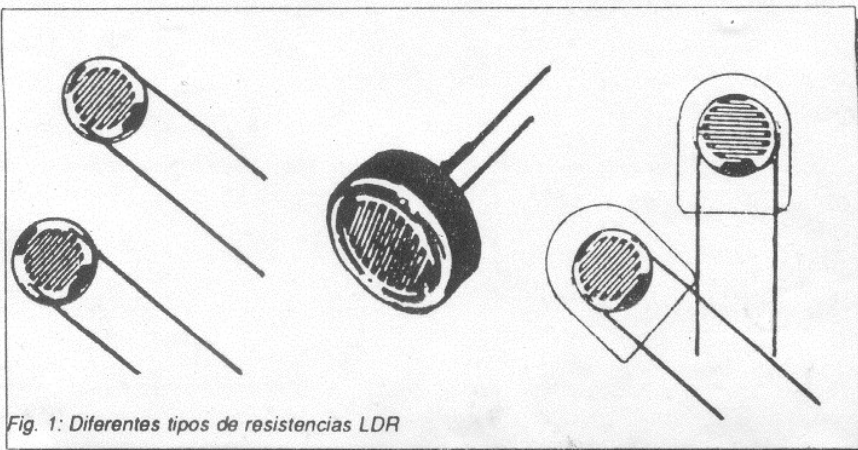


Fig. 1: Diferentes tipos de resistencias LDR

siendo R el valor de la resistencia en ohms, L la iluminación en lux y A y son constantes.

El valor de A depende del material utilizado y del proceso de fabricación. En general varía entre 0,7 y 0,9.

Para finalizar diremos que los fabricantes suministran tres curvas características resistencia-iluminación, tal y como puede verse en la figura 3. La curva característica de trazo continuo corresponde a la denominada curva nominal, y representa el funcionamiento de la fotorresistencia en el comienzo de su vida. Las otras dos curvas, de trazo discontinuo, corresponden a la curva característica típica máxima y a la curva característica típica mínima, y muestran los límites típicos de producción.

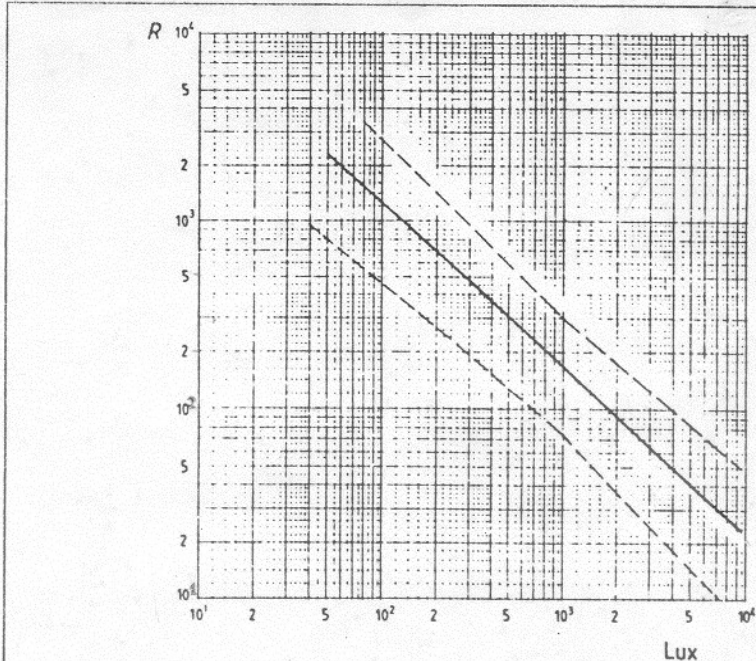


Fig. 3: Curva característica resistencia en función de la iluminación de una resistencia LDR

Respuesta espectral de una resistencia LDR

Las resistencias LDR producen efecto eléctrico solamente con la radiación luminosa incidente de una determinada banda de longitudes de onda. Esto quiere decir que no todas las longitudes de onda de la energía luminosa ejercen el mismo efecto en una resistencia LDR. Así, en el extremo rojo del espectro se encuentra una longitud de onda umbral, por encima de la cual no se produce efecto fotoeléctrico.

La energía de los fotones de las radiaciones luminosas situadas más allá de esta longitud de onda es insuficiente para excitar los electrones y hacer que pasen de la banda de valencia a la de conducción.

Para longitudes de onda por debajo del valor umbral, la respuesta aumenta al principio, ya que al aumentar la energía de los fotones se excitan cada vez más los electrones.

Existe sin embargo una longitud de onda crítica, por debajo de la cual disminuye la respuesta.

Todo lo expuesto queda reflejado en la curva de respuesta espectral que se muestra en la figura 4, y en la cual puede ver la relación existente entre la resistencia eléctrica de una LDR y la longitud de onda de la energía luminosa incidente sobre ella. Observe que la máxima resistencia eléctrica se obtiene a una longitud de onda de unos 6800 Å.

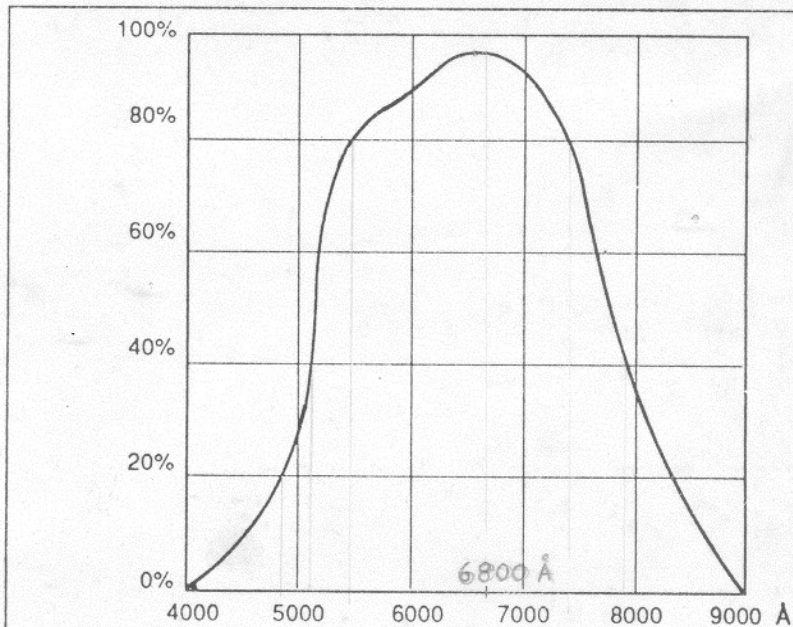


Fig. 9: Curva característica de respuesta espectral de una resistencia LDR

Dado que en la oscuridad el valor óhmico de una resistencia LDR no es infinito, si se aplica una diferencia de potencial entre los terminales de una LDR circulará por ella una corriente eléctrica aunque no esté iluminada.

Como consecuencia de la agitación térmica, a temperaturas por encima de 0°K, algunos electrones pasan de la banda de valencia a la de conducción. La resistencia en la oscuridad aumenta con la temperatura ambiente y puede disminuir enfriando el componente.

Con niveles prácticos de iluminación el coeficiente de temperatura es muy pequeño, por lo que puede ser despreciado.

Si una resistencia LDR se pasa de un cierto valor de iluminación a oscuridad total, el valor de su resistencia eléctrica no aumenta inmediatamente, sino que para alcanzar el valor de oscuridad debe transcurrir cierto tiempo. El tiempo o grado de recuperación de una resistencia LDR es una medida práctica del aumento del valor de la resistencia con el tiempo. Se expresa en kilohms por segundo.

Para los tipos corrientes de resistencias LDR, el tiempo de recuperación es mayor de 200kΩ/s (durante los primeros 20 segundos a partir de un nivel de iluminación de 1000 lux).

En el sentido inverso, es decir en el paso de la oscuridad a un cierto valor de iluminación, la velocidad del tiempo de recuperación es mucho mayor. Así, por ejemplo, al pasar de la oscuridad a un nivel de iluminación de 300

Dependencia de la temperatura de una resistencia LDR

Tiempo de recuperación de una resistencia LDR

lux, se tarda menos de 10ms en alcanzar un valor de resistencia que corresponde a un nivel de iluminación de 400 lux.

Tolerancias de una resistencia LDR

Las curvas características resistencia-iluminación de las resistencias LDR se miden para dos valores de iluminación: 1000 lux y oscuridad total.

Para 1000 lux se especifican los valores máximo y mínimo de la resistencia. En oscuridad total se especifica sólo el valor mínimo de la resistencia, alcanzado después de transcurrido un cierto intervalo de tiempo.

Dado que, como se ha dicho antes, el valor de no es constante, sino que presenta cierta dispersión, la dispersión para un nivel de iluminación diferente a los 1000 lux citados puede ser algo mayor (véase figura 3).

Comparación entre diferentes resistencias LDR

Para finalizar con el tema de las resistencias LDR, a continuación se comparan en una Tabla algunas de ellas, con indicación de sus características más importantes.

Características	Tipo de fotorresistencia		
	Cd S	Cd Se	Pb S
Umbral de sensibilidad (lux)	10^{-2}	10^{-2}	
Ruido de fondo	Medio	Medio	Fuerte
Respuesta de frecuencia (Hz)	10 a 1000	10 a 1000	
Influencia de la temperatura (°C)	Media a grande	Media a grande	Grande
Disipación máxima (W)	5×10^{-2} a 2	5×10^{-2} a 2	
Tensión máxima (V)	500	500	300
Superficie sensible (mm ²)	1 a 500	1 a 500	1 a 500
Respuesta espectral (µm)	Visible Máximo en el rojo (0,65)	Visible Máximo en el rojo (0,7)	Infrarrojo Máximo 2,5

Siguiendo con el estudio de los componentes semiconductores sensibles a las radiaciones luminosas, en este artículo nos referiremos a las células fotovoltaicas.

Célula fotovoltaica

Las células fotovoltaicas, también denominadas células solares fotovoltaicas o simplemente células solares, son sin duda uno de los componentes electrónicos que más porvenir ofrecen al reto que tiene la humanidad ante la cada vez menor reserva de fuentes de energía.

Las células solares no son más que dispositivos semiconductores capaces de convertir la energía solar en energía eléctrica, es decir son dispositivos capaces de efectuar una conversión fotovoltaica. Por eso pertenecen al grupo de los semiconductores.

Una célula fotovoltaica puede ser considerada como un diodo de silicio de gran área.

Estos componentes se forman a partir de una oblea de silicio, obtenida de un lingote de este elemento. El lingote está dopado con boro para

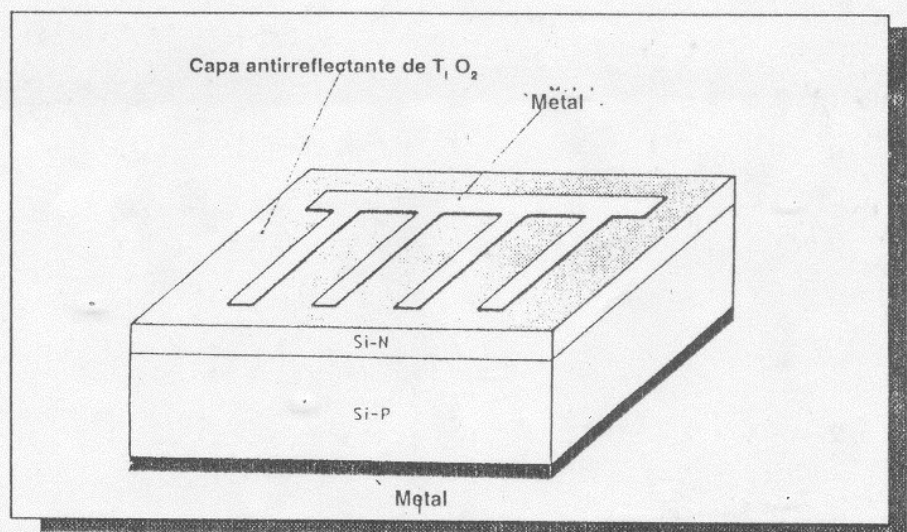


Fig. 5: Constitución de una célula solar

convertirlo en semiconductor tipo P. Luego se difunde fósforo sobre una de las superficies de la oblea, con el fin de obtener una región superficial de tipo N. La unión PN así formada se establece a pocas decenas de micrones por debajo de la superficie. El contac-

to con la cara superior de la oblea, es decir con el cristal tipo N, se efectúa mediante una rejilla de metal que cubre un 7% de la superficie, de forma que el 93% restante pueda quedar expuesto a las radiaciones solares.

La superficie completa de semi-

conductor tipo N está cubierta por una capa antirreflectante de TiO_2 (dióxido de titanio). El lado de tipo P se metaliza totalmente para reflejar los fotones no absorbidos y proporcionar un segundo contacto. En la figura 5 se muestra el dibujo esquematizado de una célula fotovoltaica construida de esta forma.

Veamos a continuación cómo se efectúa la conversión fotovoltaica:

Supongamos una célula en circuito abierto, es decir, no conectada y no expuesta a radiación de flujo luminoso.

En esta circunstancia la falta de homogeneidad de carga en la unión PN hace que algunos electrones suministrados por los átomos donadores del lado N de la unión se difundan a través de la unión en la región de átomos aceptadores del lado P.

Esta difusión ioniza positivamente los átomos donadores de la región N próxima a la unión, creando una carga de espacio positiva en la región N.

Los electrones difundidos en la región P llenarán los niveles de valencia de los átomos aceptadores de esta región, quedarán inmobilizados y crearán una carga de espacio negativa cerca de la unión.

En condiciones de equilibrio, esta separación de carga produce un potencial de barrera a lo largo de la unión.

El potencial de barrera V_B puede ser considerado como un potencial de contacto. Sin embargo, si se establecen contactos en las regiones P y N y se mide la tensión entre ellos, el voltímetro no acusará presencia de tensión alguna, debido a que los potenciales de contacto se anulan. Por ejemplo, valores típicos pueden ser:

$$V_B = -0,7V, V_{C1} = +0,5V \text{ y } V_{C2} = +0,2V$$

, por lo que se tiene:

$$V_B + V_{C1} + V_{C2} = -0,7V + 0,5V + 0,2V = 0V$$

Si ahora se irradia la célula fotovoltaica con energía solar (figura 7), se generan pares electrón-hueco en la zona de la unión PN, separados mediante el campo eléctrico asociado a V_B , forzando así a los huecos a trasladarse hacia la región P y a los electrones hacia la región N. En consecuencia, el potencial de contacto cae de manera brusca, por ejemplo a 0,1V. En estas condiciones, el contacto P se hallará a un potencial eléctrico 0,6V por encima del contacto N.

Esta tensión sí puede ser medida con un voltímetro, ya que el potencial de difusión en la unión inversa forma-

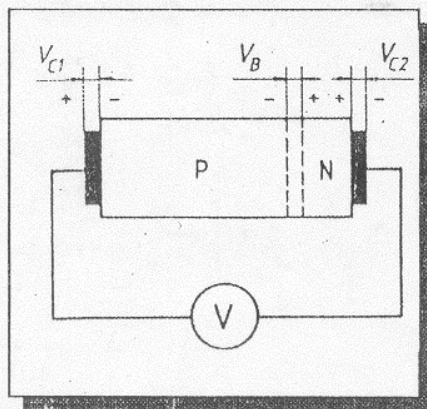


Fig. 6: Potencial barrera y potenciales de contacto presentes en una célula solar no irradiada

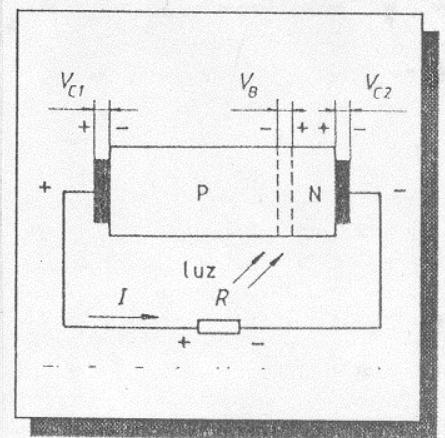


Fig. 7: Producción de una corriente fotovoltaica en una célula solar al ser expuesta a la luz

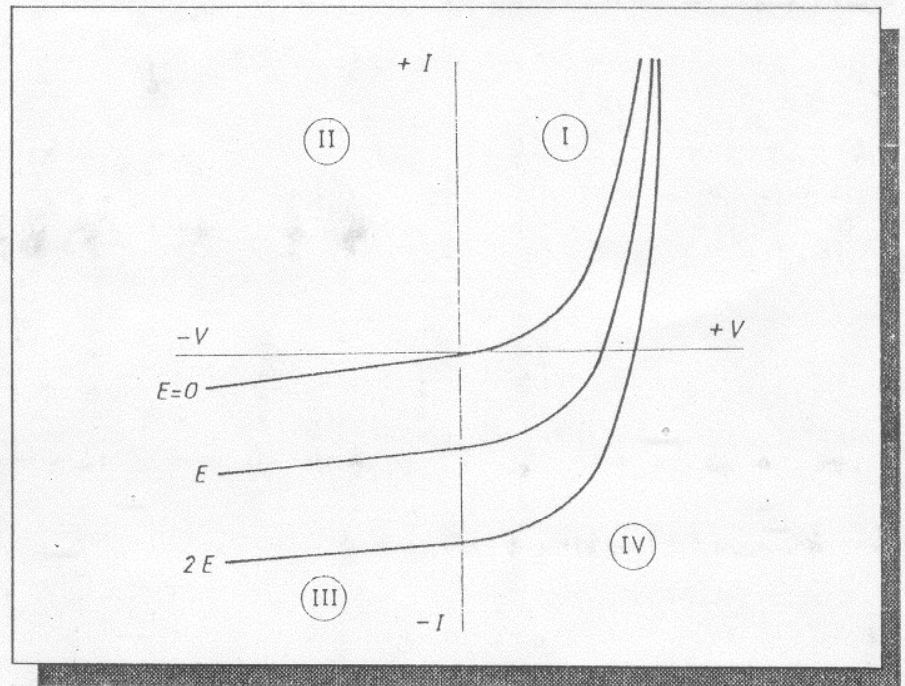


Fig. 8: Curvas características de un diodo. Al incidir la luz sobre la unión la curva característica se desplaza hacia abajo

da en el circuito externo se ve afectado. Con una irradiación solar suficiente puede mantenerse un flujo de corriente continuo de la región P a la N por el circuito externo a la célula.

La corriente que circula de la región N a la P por la interior de la célula recibe la denominación de *corriente fotovoltaica*.

Curva característica de una célula fotovoltaica

La generación de la corriente fotovoltaica (o tensión) tiene lugar en el cuarto cuadrante de la figura 8.

Como se verá se trata de la curva característica de un diodo, la cual es desplazada tanto más abajo del eje horizontal del sistema de coordenadas, cuanto mayor es la energía E irradiada sobre la unión PN. De esto se deduce que sólo el cuarto cuadrante

de la característica del diodo tiene validez en las células fotovoltaicas.

Paneles solares

En la práctica las células fotovoltaicas raramente se emplean en forma

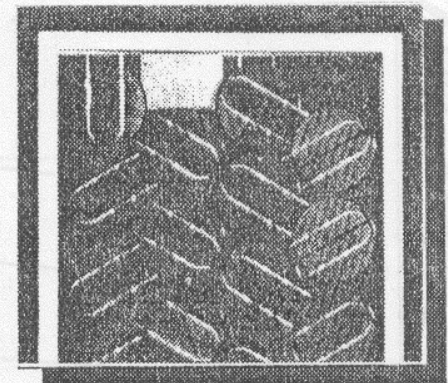


Fig. 9: Parte de una fotografía de un panel solar compuesto de 36 células solares que pueden proporcionar 33W cuando el sol está en el cenit (fabricado por Siemens AG)

de elementos independientes, sino en agrupaciones de 34 o 36 células. Estos grupos de células dan lugar a los denominados *paneles solares*, también conocidos como *baterías solares*. Las 34 o 36 células fotovoltaicas están conectadas en serie y colocadas entre dos placas de vidrio que permiten el paso de la energía solar, protegiendo al mismo tiempo a las células. Véase el ejemplo de la figura 9.

Curva característica de un panel solar

En la figura 10 se muestra la curva característica de un panel solar. Se dan las curvas características para una insolación de 500, 800 y 1000W/m² y a una temperatura de 60°C. Como se verá, en este caso la potencia máxima que puede obtenerse es de unos 10W cuando la insolación es de 1kW/m²

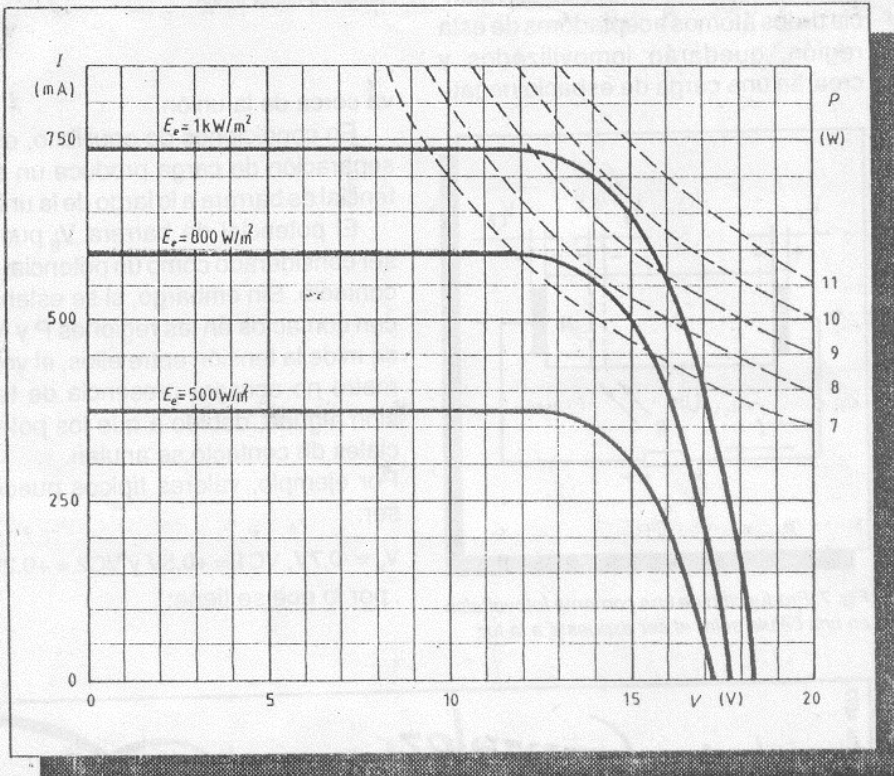


Fig. 10: Curva característica de un panel solar

Continuando con el tratamiento de los distintos dispositivos fotovoltaicos, en este artículo presentamos los fotodiodos y los diodos emisores de luz, de gran difusión en aparatos eléctricos y electrónicos.

Fotodiodos

El fotodiodo es un diodo semiconductor en el cual la corriente inversa varía con la iluminación que incide sobre su unión PN. En la figura 1 puede verse, en forma esquematizada, la constitución de un fotodiodo y en la figura 2 el símbolo empleado para representarlo y que, como podrá comprobarse, sólo difiere del símbolo de un diodo semiconductor convencional en la adición de dos flechas (símbolo de la luz incidente) que se dirigen hacia él.

La energía luminosa incidente sobre la lente del fotodiodo se concentra en la unión PN creando pares hueco-electrón y de este modo posibilita una corriente de desplazamiento en presencia de un campo eléctrico.

El fotodiodo debe polarizarse en sentido inverso. Una vez iluminado, la corriente varía en forma lineal con el flujo luminoso.

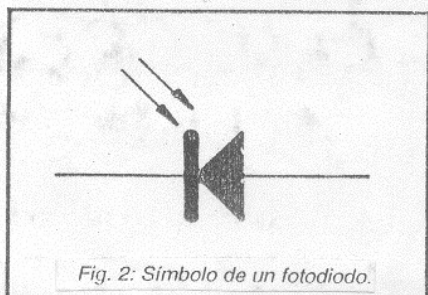


Fig. 2: Símbolo de un fotodiodo.

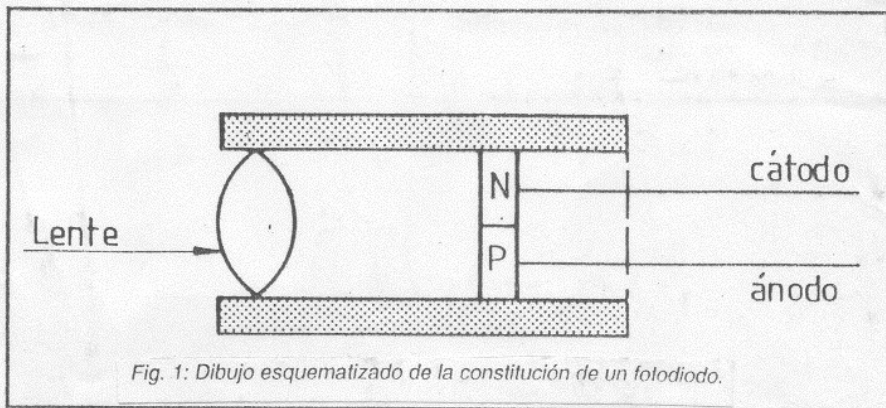


Fig. 1: Dibujo esquematizado de la constitución de un fotodiodo.

Curva característica de un fotodiodo

En la figura 3 se ha dibujado una curva característica típica de un fotodiodo. Observese como, para una misma tensión inversa de polarización, la corriente inversa aumenta de valor al incrementarse el flujo luminoso incidente. La corriente de oscuridad es usualmente de 10μA en los fotodiodos de germanio y de 1μA en los de silicio.

Con respecto a la sensibilidad de los fotodiodos se encuentran entre 10mA/lm y 50 mA/lm y la respuesta espectral cubre las frecuencias visible e infrarroja más cercana.

La corriente de fuga aumenta con la temperatura, del mismo modo que en todo componente semiconductor,

por lo tanto deberá tenerse en cuenta esta circunstancia al diseñar un circuito con este tipo de componente.

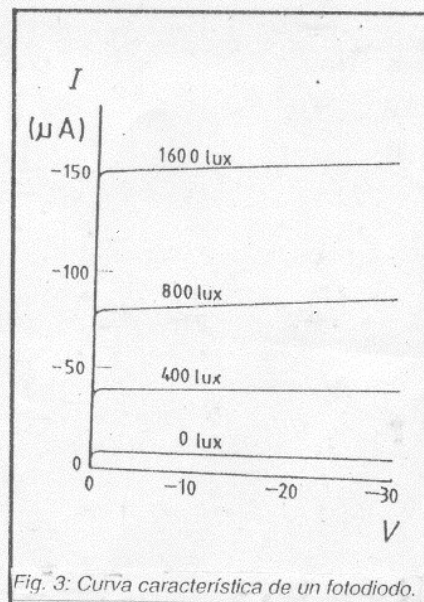


Fig. 3: Curva característica de un fotodiodo.

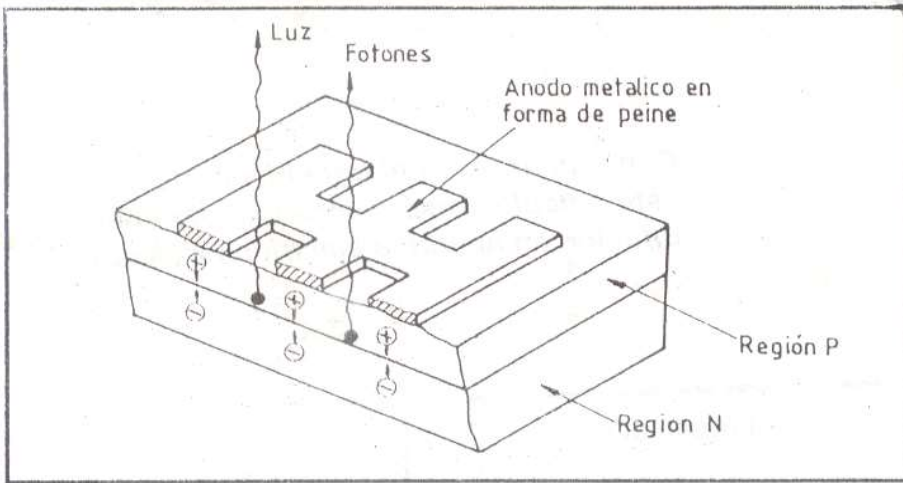


Fig. 4: Dibujo esquematizado de la constitución de un diodo emisor de luz.

Diodo emisor de luz

Los diodos emisores de luz o diodos LEDs (del inglés *Light Emitter Diode*) son semiconductores, que al aplicarles una determinada tensión, radian luz desde su unión PN.

En la figura 4 se representa un tipo de diodo emisor de luz de fosfoarseniuro de galio (GaAsP) que consta de una capa epitaxial tipo N formado sobre un sustrato de arseniuro de galio. La región P, de característica muy delgada, se difunde en la capa epitaxial y es allí donde se constituye un ánodo de forma similar a un peine; característica ésta que tiene por finalidad disminuir el efecto de enmascaramiento sobre la luz emitida.

Aplicando una tensión en sentido directo los electrones se introducen en la región ánódica y los huecos en la región catódica.

Sin embargo, muchos electrones, al no poseer suficiente energía, no llegan a la banda de conducción y deben volver a su banda de valencia. Al retornar se desprenden fotones (energía luminosa) dentro del espectro visible. La energía luminosa radiada es de distinto color según el material que se ha utilizado en la fabricación de los diodos.

Por ejemplo, para obtener luz roja se emplea el galio-arsénico, para la luz verde el galio-fósforo y para el color azul el carburo de silicio, que aún permanece en los laboratorios de investigación, al no disponerse de los

Fig. 5: Diodo emisor de luz.



Fig. 6: Símbolo de un diodo emisor de luz.

correspondientes sustratos de gran superficie de este material, necesarios para el proceso epitaxial.

El símbolo de un diodo emisor de luz, que se puede ver en la figura 6, está compuesto por el símbolo del diodo semiconductor convencional y dos puntas de flecha que apuntan hacia afuera, que significan la indicación de luz emitida.

Curvas características de los diodos emisores de luz

En las figuras 7 a 10 se han trazado cuatro curvas características de un diodo emisor de luz.

La curva de la figura 7 corresponde a la intensidad luminosa (en milicandelas) en función de la corriente directa que circula por el diodo (en miliamper). Esta intensidad luminosa aumenta al aumentar la corriente directa, es decir, cuanto mayor sea la corriente a través del diodo mayor será la luz proporcionada por éste.

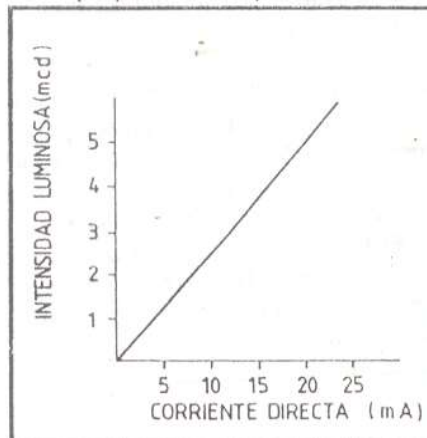


Fig. 7: Curva característica de la intensidad luminosa en función de la corriente directa de un diodo emisor de luz.

La figura 8 muestra la corriente directa en función de la tensión directa. Se puede observar que la curva hasta no alcanzar un determinado valor de tensión directa no inicia la circulación de corriente (al igual que en cualquier otro diodo), y que sobrepasado un codo, la corriente directa aumenta rápidamente de valor al incrementarse ligeramente la polarización directa.

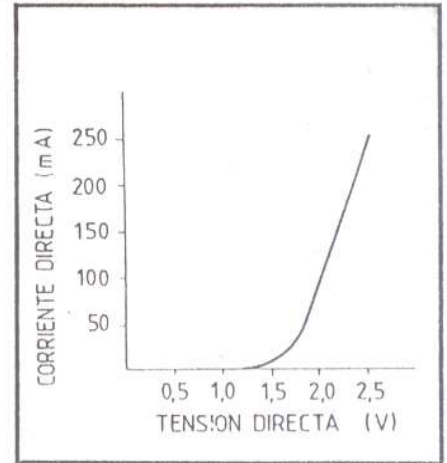


Fig. 8: Curva característica de la corriente directa en función de la tensión directa de un diodo emisor de luz.

Las curvas correspondientes a las figuras 9 y 10 están vinculadas con la temperatura ambiente. De la curva correspondiente a la figura 9 se deduce que, hasta unos 25 °C, la corriente directa permanece prácticamente estable. De los 25 °C a los 85 °C la corriente directa disminuye rápidamente con el aumento de la temperatura y a los 85 °C la corriente directa queda anulada.

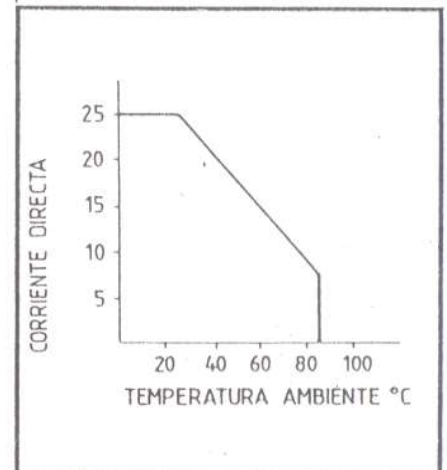


Fig. 9: Curva característica de la corriente directa en función de la temperatura ambiente en un diodo emisor de luz.

Por último, la curva de la figura 10 muestra la intensidad luminosa en función de la temperatura ambiente y al igual que lo expresado en la figura 9, la intensidad luminosa decrece al aumentar la temperatura.

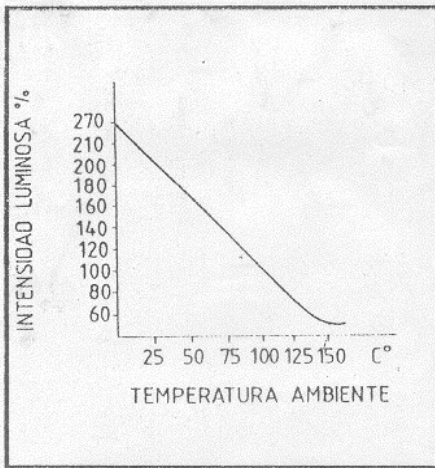


Fig. 10: Curva característica de la intensidad luminosa en función de la temperatura ambiente en un diodo emisor de luz.

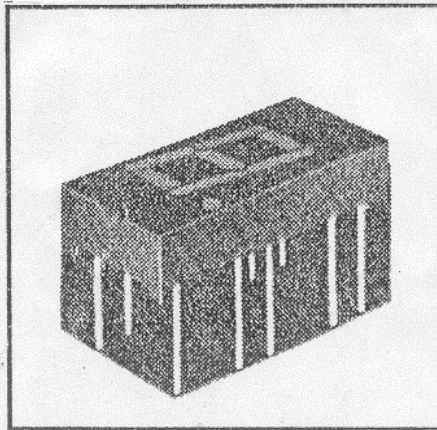


Fig. 11: Display de siete segmentos más coma decimal

conteniendo cuatro o siete segmentos.

En la figura 11 puede verse uno de

estos bloques compuesto por siete segmentos y un punto decimal. Cada segmento corresponde a un diodo LED y el punto decimal a otro, por lo que en total suman ocho diodos emisores de luz. El cátodo de todos estos diodos es común, por lo que aplicando una tensión directa de polarización a los distintos ánodos se encenderá uno u otro de los segmentos. Combinando adecuadamente las tensiones directas puede formarse, como ya se ha expresado, cualquier caracter. En la figura 12 se muestra cómo se forman las cifras de 0 a 9.

Para finalizar digamos que los displays se fabrican con dimensiones del símbolo que oscilan entre 8 y 20 mm.

Displays

Son prácticamente ilimitados los campos de aplicación de los diodos LEDs. Podemos encontrarlos en calculadoras, aparatos de medida, diales de receptores de radio, etc. En la mayoría de los casos son utilizados como elementos indicadores.

Se fabrican de manera individual (como el de la figura 5) o en conjunto, pudiendo en este caso representar cualquier caracter. Para ello se fabrican unos "bloques" denominados dis-

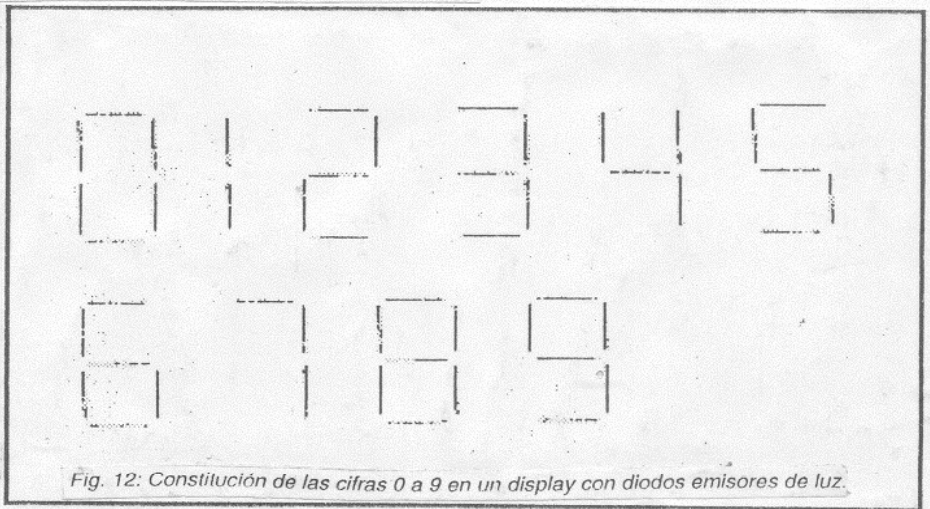


Fig. 12: Constitución de las cifras 0 a 9 en un display con diodos emisores de luz.

En este artículo se desarrolla el funcionamiento de los fotoacopladores como así también de un rectificador controlado de silicio activado por la luz, denominado LASCR. Todo esto acompañado de una tabla que presenta la designación de fotosemiconductores.

Fotoacopladores

Los fotoacopladores son elementos electrónicos cuya misión es proporcionar un excelente medio para transmitir información entre dos circuitos eléctricamente aislados entre sí.

Están constituidos por un diodo LED y un fototransistor dispuestos en una misma cápsula.

Si se hace pasar una corriente directa a través del diodo, éste emite una radiación infrarroja de una longitud de onda de 0,9µm. Esta radiación se transmite a través de un medio de acoplamiento transparente a la base del fototransistor.

Los fotoacopladores presentan un elevado aislamiento entre entrada y salida (hasta 4kV) y una baja capacidad de acoplamiento (aproximadamente 1pF).

La base del fototransistor puede dejarse sin conectar o bien conectada al emisor. Si el circuito de base está

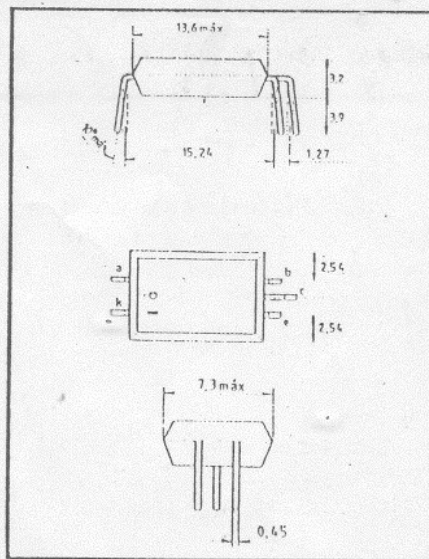


Fig. 13: Cápsula SOT-91A de un fotoacoplador.

conectado al emisor, el fototransistor trabaja entonces como un fotodiodo y la corriente de salida es simplemente la debida a la fotogeneración de portadores de carga. Si el circuito de base está abierto, los huecos generados hacen que la unión base-emisor que-

de polarizada en sentido directo y, como consecuencia, la corriente de colector aumenta varios centenares de veces con respecto a la del fototransistor con base conectada a emisor, aunque ello supone una respuesta más lenta. El funcionamiento con circuito de base abierto es el más corriente.

En la figura 12 (ver Electro Gremio Nro. 48) se muestra el símbolo utilizado para representar los fotoacopladores y en la figura 13 puede observarse las vistas principales de una cápsula de fotoacoplador.

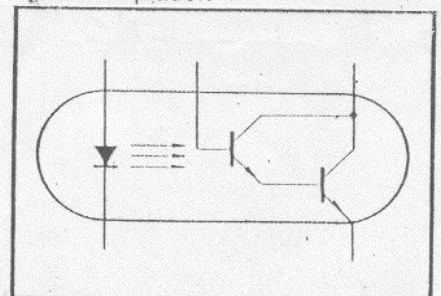


Fig. 14: Símbolo de un fotoacoplador dotado de un segundo transistor en configuración Darlington, con el fin de obtener una mayor ganancia.

Existe un modelo especial de fotocoplador en el cual se incluye un transistor adicional conectado en configuración Darlington con el fototransistor, a fin de obtener una mayor ganancia. En la figura 14 se ha dibujado el símbolo mediante el cual se representa este último componente.

LASCR

El LASCR no es más que un rectificador controlado de silicio activado por la luz. Su denominación proviene de la unión de las siglas "Light Activated Silicon Controlled Rectifier". El LASCR está dotado, al igual que los tiristores normales, de tres terminales: el ánodo, el cátodo y el electrodo de compuerta. La única diferencia con respecto al tiristor se encuentra en la adición, en su parte superior, de una lente capaz de concentrar la luz incidente directamente en la zona fotosensible del dispositivo.

El funcionamiento de un LASCR es completamente similar al de un tiristor. En efecto, aplicando entre ánodo y cátodo una tensión eléctrica con el positivo al ánodo, es posible hacerlo pasar al estado de conducción cuando al electrodo de compuerta se le proporciona un breve impulso positivo.

El estado de conducción del LASCR se mantiene incluso después de haber cesado el impulso de cebado, y hasta que la tensión entre ánodo y cátodo no desciende por debajo de un cierto valor.

Además de la posibilidad de disparo por impulso eléctrico, el LASCR puede hacerse pasar al estado de

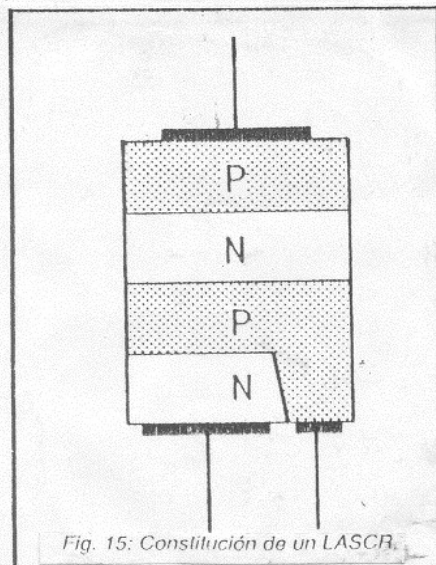


Fig. 15: Constitución de un LASCR.

conducción mediante una radiación luminosa que, a través de la lente convergente del dispositivo, incide sobre la zona fotosensible del componente.

En la figura 15 puede observarse la constitución de un LASCR y en la figura 16 el símbolo utilizado para

representarlo, que es en todo similar al de un tiristor pero con la adición de las dos puntas de flecha que se añaden a todo componente fotosemiconductor.

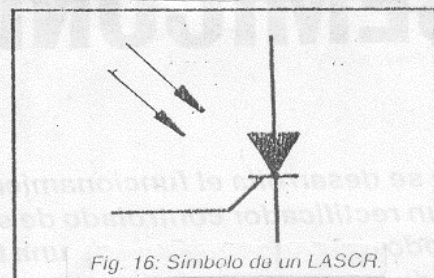


Fig. 16: Símbolo de un LASCR.

Designación de componentes fotosemiconductores

Para la identificación de los componentes fotosemiconductores se utiliza un código que consta de dos letras seguidas de un número de serie.

La primera letra indica el material semiconductor utilizado.

La segunda letra indica la aplicación principal o aplicación y construcción en el caso de que se requiera una mayor diferenciación.

El número serie está formado por tres cifras para los dispositivos diseñados para aplicación en aparatos de uso doméstico o por una letra y dos cifras para los dispositivos diseñados para equipos profesionales.

En la tabla 2 se indica el significado de cada una de las letras constituyentes de este código.

Tabla 2. Código de designación de componentes fotosemiconductores

Primera letra		Segunda letra		Número de serie	
Letra	Significativo	Letra	Significativo	Número	Significativo
A	Dispositivo con una o más uniones, que utiliza materiales con un margen de banda de 0,6 a 1,0eV, tales como el germanio.	P	Elemento sensible a radiaciones.	tres cifras.	Aplicación en aparatos de uso doméstico.
		Q	Elemento generador de radiaciones.	Una letra y dos cifras.	Aplicación en equipos profesionales.
B	Dispositivo con una o más uniones que utiliza materiales con un margen de banda de 1,0 a 1,3eV, tales como el silicio.	T	Dispositivo de potencia para control y conmutación disparado eléctricamente o por medio de la luz, que tiene una		
C	Dispositivo con una o más uniones, que utiliza materiales con un margen de banda de menos de 0,6eV, tales como el antimonio de indio o el arseniuro de galio.				
R	Dispositivo sin unión, que utiliza materiales como los empleados en células fotosemiconductoras.				