

## 3. Montaje de circuitos.

---



**Materiales formativos de FP Online propiedad del Ministerio de Educación y Formación Profesional.**

[Aviso Legal](#)

## 1.- Montaje de circuitos analógicos básicos.

---



### Caso práctico

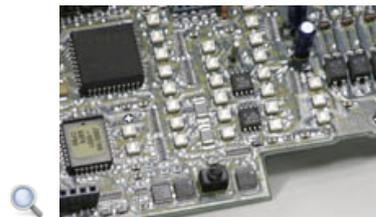
Por fin, llegó el momento de revisar el funcionamiento de los circuitos analógicos básicos. A **Isidro** le encanta "cacharrear" y hacer sus propios diseños, así que este tema le parece muy interesante y muy útil. Está revisando los montajes que hizo en su día para comprobar su funcionamiento. Hoy se los enseñará a Valle en su tiempo de estudio.



## 1.1.- Componentes activos.

---

Cuando se habla de los llamados **componentes electrónicos**, se hace referencia a los distintos dispositivos que forman parte de un circuito electrónico. Éstos, se suelen fabricar en forma  encapsulada, generalmente con materiales cerámicos, plásticos o metales y terminan en dos o más patillas o terminales metálicos. Su diseño está pensado para conectarse entre ellos, habitualmente soldándolos a un circuito impreso.



Ya has visto algunos componentes, los llamados pasivos (resistencia, bobina, condensador...), ahora verás los denominados activos, que son aquellos capaces de excitar los circuitos o de realizar ganancias o control del mismo. Son, en general, generadores eléctricos y ciertos componentes semiconductores. Su característica fundamental es que los componentes activos tienen un comportamiento no lineal, o sea, la relación entre la tensión aplicada y la corriente demandada no es lineal.

Dentro de los componentes activos podemos distinguir los componentes individuales (diodo,  transistor) de los componentes integrados (amplificadores operacionales y los microprocesadores).

La base principal en la construcción de los distintos tipos de componentes activos que veremos, son los  materiales semiconductores, gracias a ellos, se han podido sustituir en los circuitos actuales las antiguas  válvulas electrónicas, dando un gran paso adelante hacia la actual electrónica, además, las grandes ventajas de los materiales semiconductores son su reducido tamaño, su bajo consumo y su coste.

## 1.2.- Semiconductores.

---

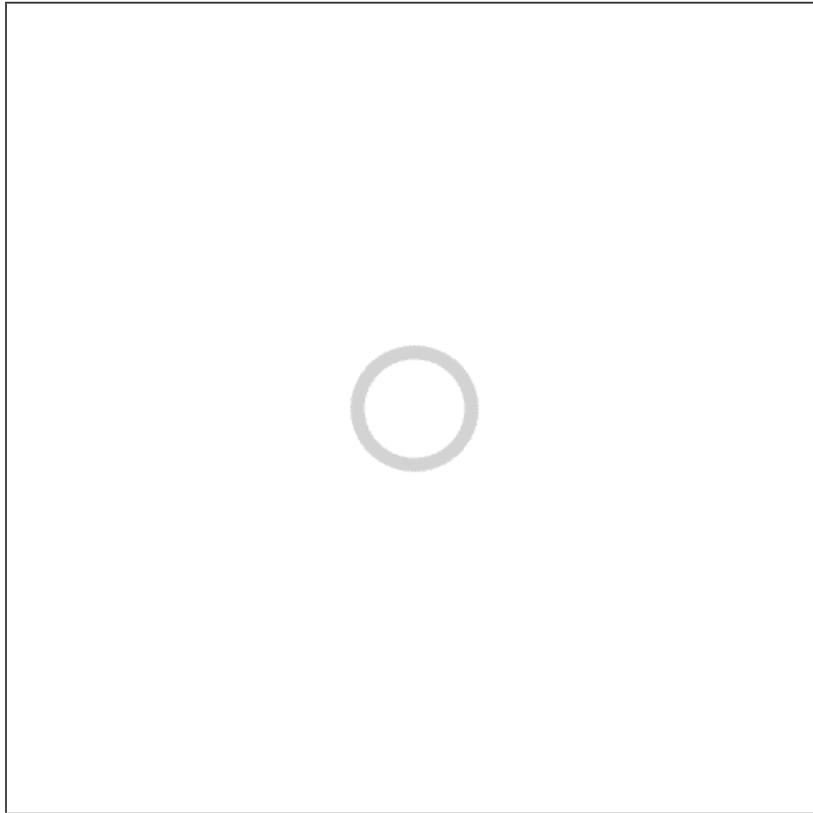
Una característica básica de los componentes electrónicos activos es el material del que están compuestos, dado que todos ellos constan de materiales semiconductores. Ya has visto en temas anteriores que precisamente la característica de estos materiales es que pueden comportarse o como aislantes, (la electricidad no se conduce a través de ellos) o como conductores (permiten la conducción de electricidad) en función de determinadas condiciones.

Los semiconductores más comunes son el **silicio** (Si) y el **germanio** (Ge). La razón principal de las diferencias de conductividad de los materiales reside en los electrones de valencia de los átomos que forman cada material. Los electrones de valencia son los electrones que giran alrededor del núcleo del átomo en la órbita exterior del mismo. El número de electrones de valencia de un átomo determinará el potencial de conductividad de un material, es decir, su facilidad para conducir el flujo de una corriente. En general se puede decir que más de cuatro electrones de valencia en la órbita exterior convierte al material en un buen aislante, mientras que menos de cuatro electrones hace que el material sea bastante buen conductor.

El silicio y el germanio tienen cuatro electrones de valencia, lo cual implica que sean buenos semiconductores. Los átomos de los materiales se acercan tanto entre sí que las orbitas de sus electrones de valencia se tocan compartiendo así parte de sus electrones con la órbita vecina, es decir que un átomo de silicio comparte sus cuatro electrones con las orbitas de sus vecinos por lo que habrá entonces ocho electrones de valencia en cada orbita, lo que da una gran estabilidad al silicio convirtiéndolo cuando se juntan muchos de estos átomos en un cristal totalmente aislante.

Para transformar el silicio puro o el germanio en material conductor hay que añadir impurezas, es decir átomos de elementos diferentes es lo que se llama como proceso de adulteración o dopaje. Por ejemplo, si adulteramos el silicio introduciendo arsénico que tiene cinco electrones de valencia solo cuatro electrones del mismo pueden unirse a los electrones de los átomos de silicio de alrededor, quedando un electrón libre que puede conducir el flujo de la corriente, este proceso se llama dopaje **tipo N**, la N es por el exceso de electrones o carga **Negativa**.

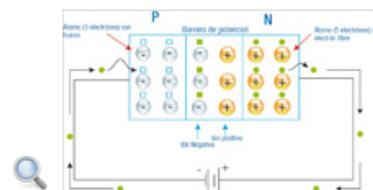
Ahora bien, si adulteramos el silicio con átomos de un material con solo tres electrones de valencia por ejemplo el galio, lo que sucederá es que habrá un espacio vacante dado que solo se pueden asociar tres electrones con los cuatro del silicio, está vacante se llama hueco o laguna de electrón. Los huecos pueden desplazarse a través de la materia igual que los electrones libres, así que el silicio adulterado de esta manera puede conducir también un poco de corriente, el resultado de este proceso se llama silicio de tipo P (**Dopaje tipo P**), la P es de **positivo** por el exceso de hueco con carga positiva en el material.



[Resumen textual alternativo](#)  
[DESCARGA PRESENTACIÓN](#)

## 1.3.- Unión PN.

Los **semiconductores de tipo P y tipo N** no tienen demasiada utilidad de forma separada, sin embargo la combinación de ambos en un cristal en el que la mitad del mismo sea una de cada tipo determina la llamada **unión PN**.



Como acabas de ver en el lado del cristal P hay más huecos que electrones libres, mientras que en el lado N ocurre exactamente lo contrario. Entre ambas zonas se forma una barrera de potencial lo que provoca que para que un electrón logre pasar de una zona a otra es preciso superar dicha barrera, para ello, hay que aplicar a los extremos de la unión una tensión eléctrica mínima que varía según el elemento utilizado, por ejemplo para el silicio se requiere un mínimo de 0,7V, el germanio tiene una tensión umbral de 0,2V.

La unión PN se puede polarizar en directa o en inversa. La polarización en directa se consigue con la aplicación de una tensión positiva al material tipo P y negativa al material tipo N, (mínimo de 0,7V para el silicio). En inversa se consigue el efecto contrario, la barrera de potencial se hace más ancha e impide el paso de la corriente eléctrica.

En este enlace apreciarás los diferentes comportamientos de una unión PN cuando es polarizada en directa y en inversa.



### Para saber más

Polarización directa e inversa en la unión PN.

[Polarización de la unión PN.](#)



### Autoevaluación

**Son materiales semiconductores:**

- El boro y la plata.
- El germanio y el silicio.
- El cadmio y el germanio.

Incorrecta. No, no es así.

Correcta. Son materiales semiconductoras el germanio y el silicio.

No es correcta.

### Solución

1. Incorrecto
2. Opción correcta
3. Incorrecto

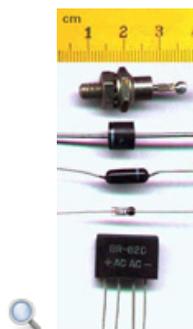
## 1.4.- Diodos.

Los principios característicos que acabas de ver sobre los materiales semiconductores, son aplicados en distintos ámbitos. Uno de los dispositivos semiconductores más sencillos y utilizados que podrás encontrar en casi cualquier circuito eléctrico son sin duda **los diodos**.

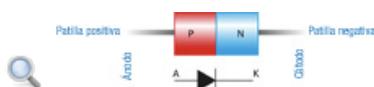
**Un diodo es un componente electrónico de dos terminales que permite la circulación de la corriente eléctrica a través de él en un sentido.**

Los diodos se fabrican principalmente en dos versiones la más común es la de silicio pero también se pueden encontrar en germanio. Constan de dos partes principales tan y como has visto en el apartado anterior, una parte llamada N y otra llamada P, ambas separadas por un junta que es la barrera o unión.

La parte del semiconductor tipo N tiene electrones libres (es decir, exceso de electrones) la parte del semiconductor tipo P por su parte cuenta con huecos libres (falta de electrones en los enlaces). Cuando una tensión positiva se aplica al lado P y una negativa al lado N los electrones son empujados del lado N al lado P, fluyendo por éste último lado a través del material más allá de los límites del propio semiconductor. De igual manera, recuerda que los huecos son empujados al lado del material N. En el caso opuesto, cuando una tensión positiva se aplica al lado N y una negativa al lado P, los electrones en el lado N son empujados al lado N y los huecos del lado P son empujados al lado P. En este caso los electrones en el **semiconductor** no se mueven y en consecuencia no hay corriente.



Tal y como ocurre con el resto de los componentes eléctricos los diodos también tienen su símbolo normalizado para representarlo, es el que puedes ver en la siguiente imagen:



Los diodos se utilizan para múltiples aplicaciones, entre las que destacan la protección de circuitos y los circuitos de conmutación por su capacidad para limitar la corriente eléctrica en un determinado circuito.

## 1.5.- Polarización de los diodos.

El funcionamiento de los diodos puede ser forzado de dos maneras diferentes, mediante la **polarización directa** de los mismos o efectuando su **polarización** de manera **inversa**.

Cuando la corriente que circula por el diodo sigue la dirección del ánodo al cátodo dicha polarización es directa. En este caso la corriente pasa por el diodo con mucha facilidad comportándose como si fuera un interruptor cerrado (deja pasar la corriente). Esto se consigue conectando los terminales del diodo a una fuente de tal manera que el polo positivo de la fuente se aplique al ánodo y el negativo al cátodo. Esta tensión aplicada debe ser mayor a la tensión umbral de este diodo.



Cuando se aplica la tensión en sentido opuesto, dicha polarización es inversa. En esta circunstancia la corriente no atraviesa el diodo ya que se comporta como un interruptor abierto (no deja pasar la corriente). Para conseguir este tipo de polarización, el terminal positivo de la fuente deber ir esta vez conectado al cátodo y el negativo se aplicará al ánodo. Si la tensión en inversa aumenta hasta un valor umbral, llamada tensión de avalancha, se produce el efecto avalancha que consiste en la destrucción del componente.

Entre las diversas aplicaciones que se le dan a los diodos destaca de la protección de los circuitos en los que están integrados, gracias a su propiedad de no permitir el paso de la corriente en ambos sentidos. Además se recurre a ellos para la conversión de corriente alterna en corriente continua, es decir como rectificadores.



### Debes conocer

Las curvas características del diodo en directa y en inversa explican el funcionamiento de estos dos estados en un diodo de manera gráfica. En este enlace podrás ver esta gráfica en su característica directa (a la derecha) y en su característica inversa (a la izquierda).

 [Curva característica de un diodo.](#)



### Autoevaluación

Los diodos se polarizan en:

- En directa y en inversa.
- En activa y en corte.
- En saturación y en corte.

Correcta. Los diodos se polarizan en directa y en inversa.

No es correcta.

Incorrecta. Repasa los contenidos.

## Solución

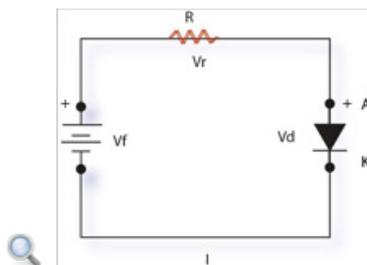
1. Opción correcta
2. Incorrecto
3. Incorrecto

## 1.6.- La recta de carga de un diodo.

Las hojas de información técnica de los diodos que suministra el fabricante nos informan de la corriente máxima de polarización de un diodo, hasta la cual no se superará la potencia máxima nominal. Si se supera esta corriente máxima, la potencia que disiparía el diodo sería superior a su capacidad de disipación y el diodo se destruiría.

Para conocer el valor real de intensidad que recorre un diodo, necesitamos aplicar la ley de Ohm al circuito de polarización de éste.

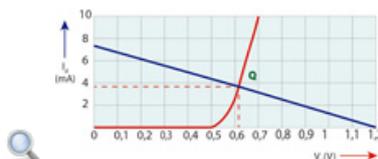
Para polarizar un diodo se necesita una fuente de tensión y una resistencia. A partir de aquí deducimos el punto de trabajo (Q) siendo éste el valor de tensión y de corriente del diodo en este circuito.



Aplicando la ley de Ohm, tenemos que:

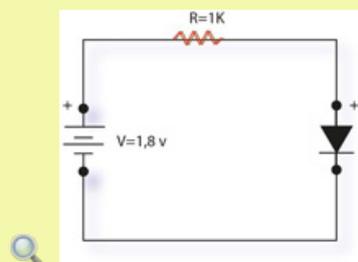
$$I_d = \frac{(V - V_d)}{R}$$

El punto de trabajo Q equivale a un punto de coordenadas  $V_d$  y  $I_d$  que coincide con el punto de intersección de la curva característica del diodo con la recta de carga del circuito, según se indica en la figura siguiente:



### Ejercicio resuelto

Determinar el valor de corriente o intensidad en el circuito de la siguiente figura.

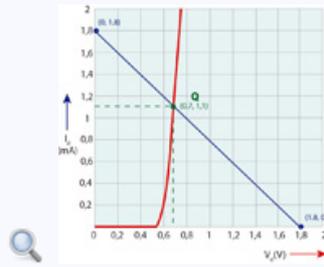


Mostrar retroalimentación

Para resolver el ejercicio sustituye los valores dados en la fórmula que ya conoces recuerda de la tensión del diodo es algo que ya conoces, dado que siempre es 0,7V cuando conduce corriente:

$$I_d = \frac{(V - V_d)}{R} = \frac{1,8 - 0,7}{1} = 1,1 \text{ mA}$$

Para representar la recta de carga del circuito, calculamos los puntos de corte con el eje de abscisas y con el eje de ordenadas: Un punto será ( $V_d=0$ ,  $I_d=1,8 \text{ mA}$ ) el otro será ( $V_d=1,8 \text{ V}$  y  $I_d=0$ ). Representamos la curva característica sobre la recta de carga y tenemos el punto de trabajo.



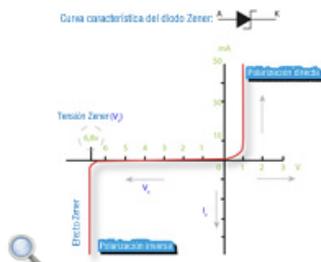
## 1.7.- Principales tipos de diodos (I).

Hay diversos y muy variados tipos de diodos, entre ellos los más habituales son los siguientes:

**El diodo Zener:** Se trata de un diodo que se utiliza polarizado inversamente (si se polariza en sentido directo se comporta como un diodo rectificador común).

Recuerda que al aplicar una tensión de polarización inversa a un diodo de unión PN, la corriente inversa que fluye por la unión es muy débil y que, aunque se aumente la tensión inversa aplicada, esta corriente apenas se modifica. Por otro lado, al aumentar gradualmente la tensión inversa, se llega a provocar un aumento brusco de la corriente.

A este efecto de ruptura de la unión se le conoce con el nombre de **efecto Zener**, y a la tensión inversa a la que se produce se le denomina **tensión Zener** ( $V_Z$ ). La corriente Zener ( $I_Z$ ) que puede soportar un diodo Zener, en polarización inversa, dependerá de la potencia ( $P_Z$ ) que éste pueda disipar térmicamente.



Una de las aplicaciones más usual del diodo Zener es como **estabilizador de tensión** para fuentes de alimentación. Cuestión que se logra aprovechando la propiedad que poseen dichos diodos de conducir con tensiones de polarización inversa, manteniendo la tensión entre sus extremos prácticamente constante, aunque se modifique apreciablemente la intensidad de corriente inversa que fluye por los mismos.



### Para saber más

En este enlace puedes visualizar el comportamiento de los diodos Zener modificando los valores característicos del circuito donde está integrado.

[Funcionamiento del diodo Zener.](#)



### Autoevaluación

Los diodos Zener se caracterizan por:

- Presentar una resistencia elevada en inversa.
- Ser prácticos en inversa por el efecto Zener.
- Permitir una corriente débil en directa.

No es la respuesta correcta, no es así.

Correcto, los diodos Zener se utilizan en polarización inversa.

No es correcto. Lee de nuevo los contenidos de este apartado.

## Solución

1. Incorrecto
2. Opción correcta
3. Incorrecto

## 1.7.1.- Principales tipos de diodos (II).

Aquellos elementos semiconductores capaces de producir una radiación luminosa y los componentes sensibles a la luz forman el grupo de los llamados **dispositivos optoelectrónicos**. Dentro de este grupo destacan los siguientes tipos de diodos:

**Diodo LED.** Con toda seguridad conoces este tipo de diodos, dado que se utilizan de manera frecuente en multitud de equipos electrónicos como señalizadores por ejemplo del encendido de un ordenador o aparato de música. El **LED** es un tipo especial de diodo que trabaja como uno común, pero que al ser recorrido por corriente eléctrica emite luz.

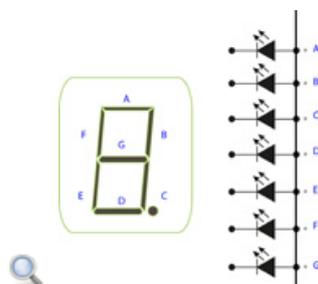


Los diodos LED se fabrican con elementos especiales, como arseniuro de galio y fósforo. Según el material con el cual fueron construidos pueden ser de diversos colores, rojo, verde, amarillo, ámbar, infrarrojo, etc.

Se polarizan de forma directa y sus principales parámetros son los mismos de los diodos convencionales:

- ✓ **Tensión directa ( $V_F$ )**, es decir la caída de tensión que se produce entre los extremos del diodo cuando fluye corriente directa (generalmente entre 1,5 y 2,2 v).
- ✓ **Corriente directa ( $I_F$ )**, es la corriente necesaria que debe circular para alcanzar la intensidad luminosa esperada (entre 10 y 50 mA).
- ✓ **Corriente inversa ( $I_R$ )** es la máxima corriente que puede fluir cuando se el aplica al diodo una tensión de polarización inversa (entorno a los 10  $\mu A$ ).

La combinación de varios de ellos pueden ser empleados para visualizar números y letras en pequeños indicadores luminosos (displays), por ejemplo en una calculadora. Mediante 7 diodos luminiscentes se pueden representar dígitos del 0 al 9. Para ello se deben excitar simultáneamente las combinaciones de diodos que correspondan.



### Para saber más

Los fabricantes de diodos facilitan en sus hojas de características los principales parámetros de los mismos, en el siguiente enlace puedes descargarte alguna de estas hojas de características.

 [Hoja de características de los diodos.](#)



## Debes conocer

Para conocer más sobre las características de los diodos LED y sus aplicaciones consulta este enlace.

 [Características de los diodos LED.](#)

## 1.7.2.- Principales tipos de diodos (III).

El **fotodiodo** se parece mucho a un diodo semiconductor común, pero tiene una característica que lo hace diferente, es un dispositivo que conduce una cantidad de corriente eléctrica proporcional a la cantidad de luz que lo incide (lo ilumina), es decir es sensible a la incidencia de la luz, sea ésta visible o su emisión se produzca por infrarrojos. Para un correcto funcionamiento se polariza inversamente.

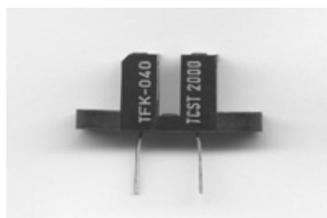
El fotodiodo se puede utilizar como dispositivo detector de luz, pues convierte la luz en electricidad y esta variación de electricidad es la que se utiliza para informar que hubo un cambio en el nivel de iluminación sobre el fotodiodo. Es frecuente su combinación con LED, como ocurre con los mandos a distancia, dado que el receptor es un fotodiodo sensible a los infrarrojos y el emisor del mando consta de un diodo LED emisor de dicha luz infrarroja.

**Diodo Varicap** es un tipo de diodo que basa su funcionamiento en el fenómeno que hace que la anchura de la barrera de potencial en una unión PN varíe en función de la tensión inversa aplicada entre sus extremos. Al aumentar dicha tensión, aumenta la anchura de esa barrera, disminuyendo así la capacidad del diodo. En realidad su comportamiento es similar al de un condensador donde su capacidad está controlada por la tensión, sus valores de capacidad van desde 1 a 500 pF y la tensión inversa mínima tiene que ser de 1 V.

Se utiliza con mucha frecuencia para sintonizar canales en circuito resonantes, por ejemplo de una radio o una televisión.



**Optoacoplador:** El optoacoplador es la combinación de un diodo luminiscente con un fotodiodo. Este componente sirve para acoplar dos circuitos que se quieren separar eléctricamente por cuestiones de seguridad. El LED generará una intensidad luminosa que dependerá de la intensidad eléctrica. A su vez, el fotodiodo recibirá esa intensidad luminosa que convertirá en señal eléctrica. De este modo hemos conectado dos circuitos sin que se produzcan riesgos por tensiones peligrosas. Una de las principales aplicaciones de los optoacopladores es el campo de la electromedicina.



El **diodo Schottky**: se trata de un diodo caracterizado por sus rápidas conmutaciones entre directa e inversa. Esta característica le hace adecuado para realizar filtros de altas frecuencias.



### Para saber más

Si quieres conocer más sobre la radiación infrarroja visita este enlace.

[Radiación infrarroja.](#)



## Autoevaluación

Los fotodiodos se excitan con:

- La luz.
- La corriente eléctrica.
- La tensión eléctrica.

Correcto, los fotodiodos se excitan con la luz.

No es correcto.

Incorrecta. No, no es así.

### Solución

1. Opción correcta
2. Incorrecto
3. Incorrecto

## 1.8.- Transistores.

Los **transistores** son la base de los circuitos integrados que hoy se fabrican, son fundamentales para realizar funciones de amplificación, control, estabilización de la tensión, etc.

El primer transistor fue un **invento de Shockley** y, a partir de su transistor bipolar, se han ido desarrollando otros tipos de características especiales que han abierto una nueva fase en **el área de la electrónica aplicada**.

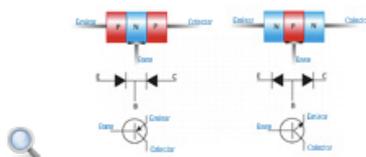


### Para saber más

Para conocer más detalles del trabajo de William Bradford Shockley puede visitar esta web.

[Biografía de Shockley.](#)

Un **transistor bipolar** es un dispositivo que se caracteriza por contar con tres terminales cada uno de ellos unido a un cristal semiconductor de tipo P o tipo N, es decir, cuenta con dos uniones PN. Los terminales reciben el nombre de emisor, base y colector. La combinación de cristales semiconductores da lugar a dos tipos de transistores los **PNP** y los **NPN**, en la siguiente imagen se pueden ver de forma más clara:



Un **transistor** es similar a dos diodos, pero con dos uniones: una entre el emisor y la base y la otra entre la base y el colector. El emisor y la base forman uno de los diodos, mientras que el colector y la base forman el otro. Estos diodos son denominados: Diodo de emisor y Diodo de colector.

**Las principales aplicaciones de los transistores son:**

- ✓ Amplificadores de señal.
- ✓ Generación de señales (osciladores, generadores de señal, etc.).
- ✓ Conmutación de señales, en esta aplicación el transistor funciona como un interruptor (control de relés, fuentes de alimentación conmutadas, otro tipo de controles, etc.).



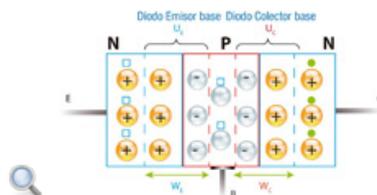
### Debes conocer

Es importante que conozcas los distintos encapsulados de los transistores. Para que aprendas a reconocerlos visita la siguiente web.

[Encapsulados de transistores.](#)

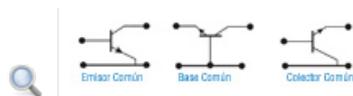
## 1.9.- Funcionamiento y polarización de transistores.

Para el estudio y descripción del funcionamiento de los transistores se recurre principalmente a los de tipo **NPN**, por tanto, las explicaciones que vas a encontrar aquí se basan en este tipo. En un transistor sin polarizar (sin pilas y en circuito abierto) se produce una "difusión" (como un gas en una botella), donde los electrones cruzan de la zona N a la zona P, se difunden, encuentran un hueco y se recombinan. Esto hace que en las uniones entre las zonas N y P se creen iones positivos y negativos. Esta difusión y recombinación se da hasta llegar al equilibrio, hasta conseguir una barrera de potencial de 0,7V (para el caso del silicio). **Las dos barreras creadas serán las existentes entre el emisor y la base ( $W_E$ ) y entre el colector y la base ( $W_C$ ).**



Si se conectan fuentes de tensión externas para polarizar al transistor, se obtienen diversos resultados en función de su configuración. Hay 3 configuraciones:

1. Base común (BC).
2. Emisor común (EC).
3. Colector común (CC).



Cada una de estas configuraciones a su vez puede trabajar en 3 zonas o regiones diferentes dependiendo del sentido o signo de los voltajes de polarización:

- ✓ **Zona ACTIVA:** Diodo emisor base polarizado en directa y diodo colector base en inversa (Amplificadores).
- ✓ **Zona de SATURACIÓN:** Diodo emisor base polarizado en directa y diodo colector base en directa (Conmutación).
- ✓ **Zona de CORTE:** Diodo emisor base polarizado en inversa y diodo colector base en inversa (Conmutación).

En resumen un transistor puede trabajar de 9 formas diferentes. Vamos a comprobar cómo funciona dos de esas posibilidades, la configuración en base común, y la configuración en emisor común.



### Para saber más

En el siguiente enlace podrás comprobar cuál es el comportamiento de un transistor dependiendo de la tensión aplicada entre sus extremos.

 [Animación del comportamiento de un transistor polarizado.](#)



## Autoevaluación

Relaciona las zonas de un transistor con la polarización de sus uniones PN.

### Ejercicio de relacionar

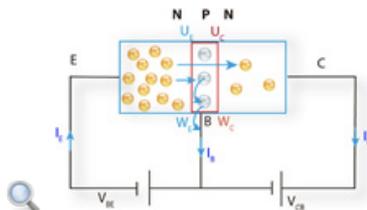
Zonas del transistor	Relación	Polarización de sus uniones
Activa.	<input type="checkbox"/>	1. EB directa, CB inversa.
Saturación.	<input type="checkbox"/>	2. EB inversa, CB inversa.
Corte.	<input type="checkbox"/>	3. EB directa, CB directa.

Enviar

Las zonas de funcionamiento de un transistor dependen del estado de las uniones PN que lo componen, las dos uniones en directa equivale a saturación, las dos uniones en inversa equivale a corte, una en directa y otra en inversa equivale a activa.

## 1.10.- Intensidad y tensión en transistor.

La zona que nos interesa analizar es la **zona activa**, por tanto nos centramos en ella. Primero observa el esquema:



El diodo  $U_E$  queda polarizado directamente por la tensión  $V_{BE}$ , para que esto ocurra será necesaria una tensión mínima que para el caso del silicio ya has visto que es de unos **0,7 V**.

Por otro lado, el diodo  $U_C$  se polariza inversamente por la tensión  $V_{CB}$ . La base ocupa una región muy reducida y está mínimamente dopada o impurificada por lo que tiene pocos huecos, por esta razón los electrones "emitidos" por el emisor superan sin dificultad la barrera  $W_E$  por estar polarizada directamente. Es probable que uno de estos electrones encuentre un hueco y se recombinen, por eso la corriente en la base es débil. Sin embargo, estos electrones, una vez superada la barrera  $W_C$  serán fuertemente atraídos o "recolectados" por el potencial eléctrico positivo del colector.

De los electrones emitidos por el emisor, aproximadamente un 1 % se recombinan en la base y un 99 % no se recombinan y llegan al colector, esto es el efecto transistor.

En un transistor la suma de las corrientes entrantes es igual a 0, es decir, resolvemos igual que en un nudo, tal y como recordarás de las primeras lecciones:  $I_E + I_B + I_C = 0$

Si por ejemplo, contamos con un transistor y sabemos que la intensidad del emisor es de 10 mA, para conocer el resto de corrientes tendrás que aplicar lo que acabamos de ver, es decir, se recombinan el 1% por tanto  $I_B = 1$  mA y no se recombinan el 99 % lo que significa que  $I_C = 99$  mA (recuerda que los signos, como siempre, si va a favor del electrón es negativa y si va en contra es positivo, aunque es frecuente cambiar el signo por comodidad en la resolución de ejercicios):  $I_E + I_B + I_C = 0 \Rightarrow -10 + 1 + 99 = 0$  despejando la fórmula tendríamos:  $I_E = I_B + I_C$

Respecto a las intensidades la tensión del colector emisor ( $V_{CE}$ ) es aproximadamente igual al valor de la tensión del colector base si se desprecia el escaso valor de la tensión de la base emisor. Esta relación se expresa con la siguiente fórmula:

$$V_{CE} = V_{CB} + V_{BE}$$

La circunstancia de que una pequeña corriente de base controle las corrientes de emisor y colector mucho más elevadas, indica la capacidad que posee un transistor para conseguir una ganancia de corriente. Se trata de un parámetro muy habitual en el análisis de transistores se designa con la letra  $\beta$  y es facilitado por el fabricante, su fórmula es la siguiente:

$$\beta = \frac{I_C}{I_B}$$



### Para saber más

En el siguiente enlace podrás ampliar lo expuesto aquí sobre los principales parámetros de los transistores.

[Parámetros de los transistores.](#)



## 1.11.- Curvas características de los transistores.

El estado eléctrico de un transistor o su punto de trabajo (Q) viene dado por las dos ecuaciones que definen su comportamiento:

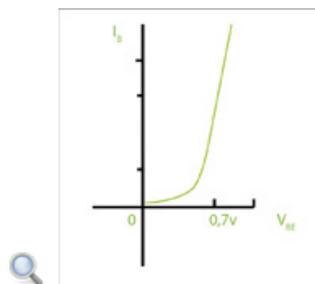
$$I_E + I_B + I_C = 0$$

$$V_{CE} = V_{CB} + V_{BE}$$

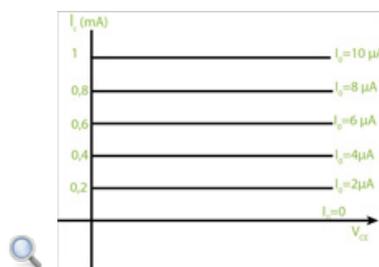
Normalmente de estas dos ecuaciones extraemos cuatro valores que resumirán el comportamiento del transistor:  $V_{BE}$  con  $I_B$ , y  $V_{CE}$  con  $I_C$  e  $I_B$ .

Estas relaciones vendrán expresadas en las hojas de características del fabricante como **curvas características**.

La característica  $V_{BE}-I_B$ , determina cómo influye la variación de la tensión entre extremos de la base y el emisor en la corriente que circula por la ella. Esta gráfica equivale a la curva característica de un diodo.



La característica  $V_{CE}-I_C$ , determina la relación existente entre la tensión y la intensidad del colector. Normalmente el fabricante suministra una familia de curvas para los diferentes valores de  $I_B$ . Idealmente en la región de actividad la intensidad que circula por el colector  $I_C$  es igual a la intensidad de la base multiplicada por la ganancia  $\beta$ .



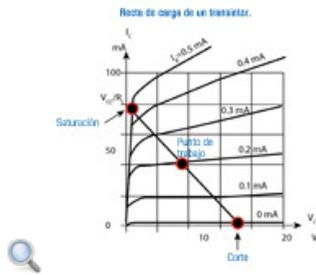
Si lo que queremos conocer es la recta de carga para comprobar cuál es el punto de trabajo, es decir los valores intersección entre la recta y las curvas características, hemos de calcular los puntos de corte de esta recta con las curvas características. Para calcular la recta de carga aplicamos la **ley de Ohm**:

$$I_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{R_L}$$

De esta recta calculamos los extremos para  $I_C=0$  y para  $V_{CE}=0$ :

$$I_C = 0 \rightarrow 0 = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{R_L} \rightarrow V_{CE} = V_{CC} \quad \text{y para } V_{CE} = 0 \rightarrow I_C = \frac{V_{CC} - 0}{R_L} \rightarrow I_C = \frac{V_{CC}}{R_L}$$

Llevamos estos puntos a la curva característica del colector y se dibuja la recta de carga de la que se podrán extraer los puntos de funcionamiento en corte, activa y saturación:



## Autoevaluación

**Rellenar los huecos con los conceptos adecuados.**

En un transistor la suma de las corrientes entrantes es igual a .  $\beta$  es  que se produce en activa entre la corriente de base y la corriente de colector.

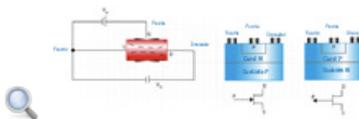
Enviar

En un transistor la suma de las corrientes entrantes es igual a **0**.  $\beta$  es **la ganancia de corriente** que se produce en activa entre la corriente de base y la corriente de colector.

## 1.12.- Tipos de transistores.

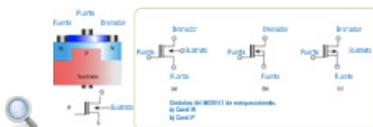
Además de los transistores bipolares, existen otros tipos de transistores:

Los transistores de efecto de campo **FET** o unipolares, se caracterizan porque sólo existe un tipo de portador de cargas y porque poseen una resistencia de entrada elevada. Normalmente se componen de un barra de material tipo P o tipo N, denominada canal, rodeada de por otro material que forma con el canal una unión PN. En los extremos del canal tendremos tres terminales, llamados fuente o surtidor (S), sumidero o drenador (D) y la puerta o graduador (G).

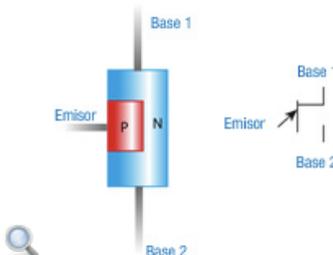


Los transistores FET se dividen en **JFET** y **MOSFET**. Los JFET pueden ser de canal N y de canal P. Los MOSFET se diferencian de los FET en que la puerta está aislada del canal y por ello la resistencia de entrada es muy elevada. Esta característica les convierte en componentes ideales para amplificadores de señales pequeñas.

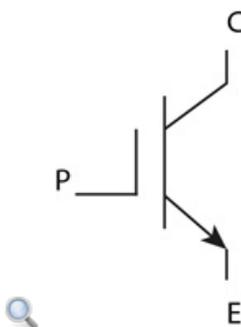
Los transistores **MOSFET** pueden ser de enriquecimiento y de empobrecimiento. Los primeros se utilizan para su integración en circuitos integrados por su bajo consumo y su pequeño tamaño. Los segundos se usan para la fabricación de amplificadores de baja señal.



Los Transistores **BJT** son transistores con tres terminales, dos bases y un emisor. Estos componentes se suelen emplear como generador de pulsos de disparo de los **tiristores**.

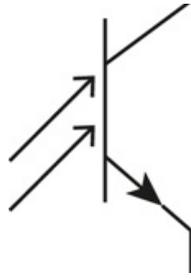


Los **IGBT** son transistores híbridos entre los transistores bipolares y los MOSFET. Mezclan las características de los transistores de efecto de campo con la capacidad de alta corriente y bajo voltaje de saturación del transistor bipolar. Se suelen aplicar como interruptores controlados en circuitos de electrónica de potencia.



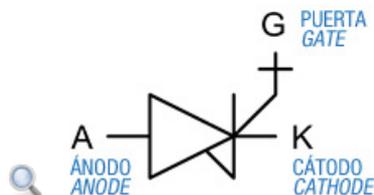
El **fototransistor** es un transistor sensible a la intensidad luminosa, normalmente a la radiación infrarroja.

]

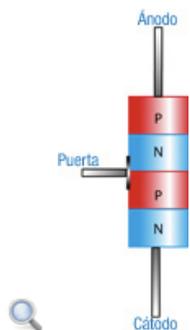


## 1.13.- Tiristores.

El **tiristor**, también llamado **SCR o Rectificador Controlado de Silicio**, es un dispositivo semiconductor **biestable** formado por tres uniones PN con la disposición **PNPN** y con tres terminales, llamados **Ánodo**, **Cátodo** y **Puerta**. El terminal puerta controla la conducción eléctrica entre ánodo y cátodo. El sentido de la corriente es unidireccional.



El **tiristor** es un conmutador biestable, así que puede realizar funciones de interruptor mecánico bloqueando o permitiendo el paso de la corriente, funciona de manera que al recibir un pulso instantáneo de corriente en el terminal puerta (terminal de control), cuando exista una tensión positiva entre ánodo y cátodo, pasa rápidamente al estado de encendido. No pasará al estado de apagado hasta que no se abra el circuito o pase corriente en sentido inverso. Si se polariza de modo inverso se produce una corriente inversa muy débil, pero si la tensión inversa aumenta hasta que se alcanza la tensión máxima se provocará la destrucción del componente por avalancha.



Para que el dispositivo **pase del estado de bloqueo al estado activo**, debe generarse una corriente de enganche positiva en el ánodo, y además debe haber una pequeña corriente en la compuerta capaz de provocar una ruptura por avalancha en la unión J2 para hacer que el dispositivo conduzca. Para que el dispositivo siga en el estado activo se debe inducir desde el ánodo una corriente de sostenimiento, mucho menor que la de enganche, sin la cual el dispositivo dejaría de conducir. A medida que aumenta la corriente de puerta se desplaza el punto de disparo. Se puede controlar así la tensión necesaria entre ánodo y cátodo para la transición de apagado a encendido, usando la corriente de puerta adecuada. Cuanto mayor sea la corriente suministrada al circuito de puerta  $I_G$ , tanto menor será la tensión ánodo-cátodo necesaria para que el tiristor conduzca. También se puede provocar que el tiristor conduzca sin intensidad de corriente en la puerta mediante una señal de tensión ánodo-cátodo mayor que la tensión de bloqueo.



### Para saber más

En el siguiente enlace podrás conocer las curvas de funcionamiento de los tiristores.

 [Curvas de funcionamiento de los tiristores.](#)



### Autoevaluación

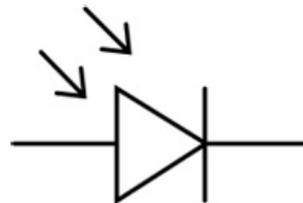
**Rellenar los huecos con los conceptos adecuados.**

El tiristor funciona de manera que al recibir un pulso instantáneo de corriente en el terminal [REDACTED], cuando exista una tensión positiva entre [REDACTED] y [REDACTED], pasa rápidamente al estado de encendido.

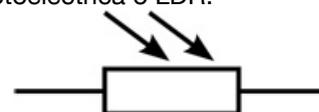
## 1.14.- Componentes optoelectrónicos.

Los **componentes optoelectrónicos** se caracterizan por **convertir la energía luminosa en energía eléctrica y por convertir la energía eléctrica en energía luminosa**. Los primeros se denominan **fotosensibles** y los segundos **luminiscentes**. Los principales tipos de componentes optoelectrónicos son:

- ✓ **Fotodiodos:** son diodos sensibles a la intensidad luminosa.



- ✓ **Fotoresistencias:** es un componente caracterizado por la disminución de resistencia a medida que aumenta la intensidad luminosa. También se denomina célula fotoeléctrica o LDR.



- ✓ **Fototransistor:** es un transistor sensible a la luz, normalmente a los infrarrojos. Cuando incide luz sobre la base del transistor se produce el paso del transistor a conducción. Se suelen utilizar como detectores de presencia.



Recordar que dentro de la categoría de componentes optoelectrónicos, también están incluidos dos de los diodos que visteis en el apartado correspondiente, se trata de:

- ✓ **Optoacoplador** que como viste es un dispositivo de emisión y recepción que funciona como un interruptor activado por luz mediante un diodo LED y un fotorreceptor en la misma cápsula. La ventaja de este componente es que permite el aislamiento eléctrico entre la zona de emisión y la zona de recepción.
- ✓ **El diodo LED:** un diodo emisor de luz. Se utiliza como elemento indicador, pero últimamente más como elemento de iluminación por su bajo consumo. El color de la luz depende de la banda de energía del semiconductor correspondiente. Un dispositivo semiconductor similar a los diodos LED es el **diodo láser** que emite luz láser en determinadas condiciones. Se utilizan como sensores, punteros, lectores de DVD, CD, etc.

El **dispositivo LFX** tiene una potencia de dos petavatios (2.000 teravatios), es decir de dos cuatrillones de vatios con una estructura de más de cien metros de largo.



### Reflexiona

### ¿Para qué necesitamos láseres tan potentes?

Mostrar retroalimentación

Por ejemplo, para comprimir un nanocristales de diamante hasta un presión de 5 billones de pascuales, unas 14 veces la presión que hay en el centro de la Tierra. Así se puede estudiar mejor el comportamiento de la materia en las entrañas de los planetas, como Júpiter.



### Para saber más

En el siguiente enlace podrás conocer más sobre el diodo láser.

 [El diodo láser más potente del mundo.](#)



### Recomendación

En el siguiente enlace puedes ver más sobre el diodo LED:

 [Diodo LED.](#)

## 2.- Circuitos analógicos básicos.



### Caso práctico

**Valle** escucha muy atentamente las explicaciones de **Isidro** sobre los circuitos básicos.

- ¿Este circuito amplificador es muy frecuente, verdad? - Dice **Valle**.
- La verdad es que este circuito es uno de los más importantes en el campo de la electrónica. - Le contesta **Isidro**.
- Piensa en un equipo de música, si no tuviera un buen circuito de amplificación no podríamos escuchar el sonido que proyectan. - Añade **Isidro**.
- Realmente me parece apasionante este tema de la electrónica. Poder construir diferentes circuitos combinando los circuitos básicos es algo genial. - Comenta **Valle**.
- Pues, prepárate, vamos a diseñar unos amplificadores de audio. ¿Estás preparada? - Pregunta **Isidro**.
- Cuando quieras. Preparada.

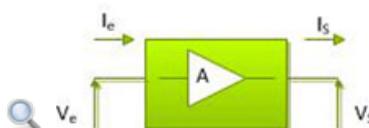


## 2.1.- Circuito amplificador.

Un **amplificador** es un circuito que genera a su salida una señal amplificada de la que se aplica en la entrada, es decir multiplicada por un valor determinado, que será el valor constante o ganancia del amplificador. La señal amplificada tiene la misma fase y frecuencia, pero una amplitud superior.



Las funciones de un amplificador son **múltiples**, desde el campo de las telecomunicaciones, transmisión de televisión, radiofrecuencia, telefonía móvil, hasta el campo de la acústica, circuitos de alimentación, etc.



El **amplificador** se representa mediante el esquema anterior, en el que aparece la ganancia  $A$  simbolizando al amplificador. La ganancia es un parámetro del amplificador que representa el número de veces que la salida multiplica a la entrada. La ganancia se calcula como el cociente de la señal de salida entre la señal de entrada. Es una magnitud adimensional, que se expresa en decibelio (dB).

- ✓ Ganancia de tensión ( $A_v$ ):

$$A_v = 20 \cdot \log\left(\frac{V_o}{V_i}\right)$$

- ✓ Ganancia de corriente ( $A_i$ ):

$$A_i = 20 \cdot \log\left(\frac{I_o}{I_i}\right)$$

- ✓ Ganancia de potencia ( $A_p$ ):

$$A_p = 10 \cdot \log\left(\frac{P_o}{P_i}\right)$$

**El funcionamiento del amplificador se caracteriza por una serie de parámetros que son: impedancia de salida, impedancia de entrada, distorsión, rendimiento:**

- ✓ **La impedancia de salida:** es el cociente entre la tensión de salida y la intensidad de salida.

$$Z_o = \frac{V_o}{I_o}$$

- ✓ **La impedancia de entrada:** es el cociente entre la tensión de entrada y la intensidad de entrada.

$$Z_i = \frac{V_i}{I_i}$$

- ✓ **Distorsión:** es la modificación que introduce en la señal de entrada el amplificador a su salida. Es una característica que ha de evitarse al máximo para un buen funcionamiento.



### Ejercicio resuelto

Calcula la ganancia de un circuito que tiene una señal de entrada de 10 mV. y a su salida se obtienen 2V.

Mostrar retroalimentación

$$\text{La ganancia de tensión de un amplificador } A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{2V}{10mV} = 200$$



## Autoevaluación

**No son parámetros de un amplificador:**

- La ganancia.
- La impedancia de salida.
- Las interferencias.

No es correcto.

Incorrecta. No, no es así.

Correcta. Las interferencia no son ningún parámetro del amplificador.

## Solución

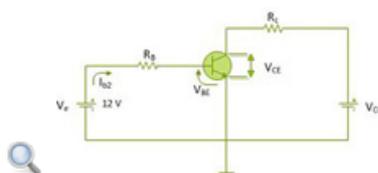
1. Incorrecto
2. Incorrecto
3. Opción correcta

## 2.2.- El amplificador con transistores (I).

Los **amplificadores implementados** con transistores aprovechan el funcionamiento del transistor en la zona de funcionamiento activa. Según veíamos en el apartado de transistores, en esta región la intensidad de colector es igual a la intensidad de base multiplicada por el factor de ganancia  $\beta$ . Así mismo la tensión de salida aparece amplificada respecto a la tensión de entrada.

**Los amplificadores se clasifican en función de diferentes criterios:**

1. **Según la señal que se amplifique** puede ser: **amplificador de pequeña señal** y **amplificador de potencia**. El amplificador de pequeña señal se utiliza en las etapas previas de amplificación. La ganancia de tensión es muy elevada y ha de tener una respuesta muy lineal (sin distorsión). El amplificador de potencia maneja señales más fuertes en las últimas etapas de los amplificadores. En un circuito amplificador de pequeña señal, para que el transistor funcione correctamente ha de ser polarizado correctamente en un punto de trabajo de la zona activa. Para su estudio trabajamos con una configuración en emisor común. Para mejorar la ganancia se colocan varios transistores en cascada de manera que su ganancia se multiplica.

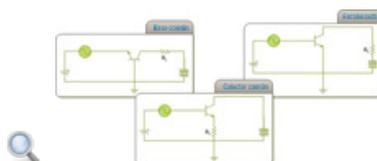


Las mallas del transistor se definen con dos ecuaciones: **Malla de base** para la obtención de la intensidad ( $I_b$ ) y **malla de colector** sus fórmulas son:

$$R_B I_{b2} + V_{BE} - V_e = 0 \Rightarrow I_{b2} = \frac{V_e - V_{BE}}{R_B} \qquad R_C I_c + V_{CE} - V_{CC} = 0$$

En el circuito existen dos condensadores, uno de acoplamiento de la señal de entrada que permite el paso de la corriente alterna y bloquea la señal continua. El condensador en paralelo con la resistencia de emisor se cortocircuita para la señal alterna y la señal continua circula por la resistencia de emisor.

2. **Según la configuración del transistor** que utilicen para la amplificación, los amplificadores pueden ser: de **Emisor común**, **Base común** y **Colector común**. Dependiendo de la configuración disponen de una impedancia de entrada, de salida y ganancia diferente.



### Características de los amplificadores según su configuración

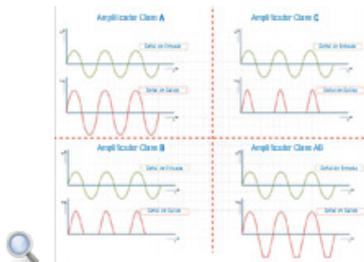
	Emisor común	Colector común	Base común
$A_v$	Sí	No	Sí
$A_i$	Sí	Sí	No
$Z_{ent}$	Intermedia ( $\approx 1 \text{ K}\Omega$ )	Muy grande ( $\approx 300 \text{ K}\Omega$ )	Pequeña ( $\approx 1 \Omega$ )
$Z_{sal}$	Intermedia ( $\approx 50 \text{ K}\Omega$ )	Pequeña ( $\approx 300 \Omega$ )	Muy grande ( $\approx 1 \text{ M}\Omega$ )

<b>Inversión de fase</b>	Sí	No	No
<b>Aplicaciones</b>	Universal	Amplificador aislamiento	de Amplificador de RF

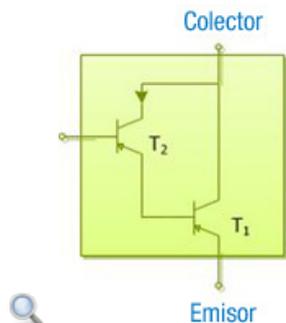
## 2.2.1.- El amplificador con transistores (II).

Los siguientes tipos de amplificadores serían:

3. **Según la clase**, es decir según la parte de la señal de entrada que se amplifica a la salida, los amplificadores pueden ser: clase A, clase B, clase C y clase AB. El amplificador clase A no produce distorsión, el amplificador clase B recorta las semiciclos negativos, el amplificador clase C produce una señal inferior a un semiciclo y el amplificador clase AB es una combinación del amplificador A y B.



4. **Según la frecuencia de la señal** los amplificadores pueden ser: de corriente continua, de audiofrecuencia ( $20\text{Hz} < f < 20\text{kHz}$ ), de videofrecuencia ( $20\text{Hz} < f < 15\text{MHz}$ ), de radiofrecuencia ( $200\text{kHz} < f < 300\text{MHz}$ ).
5. Los **amplificadores multietapa** tienen como su nombre indica varias etapas y la ganancia total del amplificador será la multiplicación de las ganancias de cada una de las etapas. Estas etapas se acoplan unas a otras mediante diversos métodos: mediante un condensador, a través de un circuito RC, con acoplamiento directo para señales de baja frecuencia o mediante un amplificador Darlington.
6. **Amplificador Darlington** es un conjunto de dos transistores en emisor común acoplados directamente. Tiene muchas ventajas entre las que destaca la alta ganancia, la baja impedancia de salida y una alta impedancia de entrada.



### Autoevaluación

Según la configuración de los transistores los amplificadores pueden ser:

- De base común.
- De colector común.
- De base común, colector común y emisor común.

Incorrecta. No es completa.

Vas bien, pero no es la solución correcta.

Los amplificadores con transistores se clasifican según la configuración de los transistores en emisor común, base común y colector común.

## Solución

1. Incorrecto
2. Incorrecto
3. Opción correcta

## 2.3.- Amplificador de potencia.

El **amplificador de potencia** es necesario en circuitos donde se precisa una señal de alta potencia a la salida. Normalmente va incorporado en amplificadores de audio que luego activan un sonido a través de un altavoz. El micrófono trabajaría con señales pequeñas (de mV), que se amplificarían en tensión en las primeras etapas. En las últimas etapas se amplificaría la potencia (etapas de potencia). El rendimiento de un amplificador de potencia se expresa como la relación entre la potencia de salida y la potencia de entrada de

la fuente de alimentación de corriente continua, normalmente se expresa en porcentaje.  $\eta\% = \frac{P_{sal}}{P_{CC}} \cdot 100$

Como viste en el punto anterior se diferencian distintos tipos de amplificadores de potencia: amplificadores tipo A, tipo B y tipo AB. Sus características se expresan en la siguiente tabla.

**Características de los amplificadores de potencia**

	Clase A	Clase B	Clase AB
<b>Distorsión</b>	Muy pequeña.	Elevada.	Pequeña.
<b>Rendimiento</b>	Hasta el 50 %.	Hasta el 78,5 %	Entre las clases A y B.
<b>Polarización del diodo emisor</b>	Directo (en el centro de la recta de la carga).	Ninguna (Transistores en corte).	Directa (cerca del corte).
<b>Aplicaciones</b>	Amplificadores de pequeña señal y en algunos amplificadores de audio de pequeña potencia.	No se utilizan en equipos de audio por su gran distorsión. Amplificadores de gran potencia.	Etapas finales de potencia en equipos de audio.

Lo más normal es que las diferentes etapas de un amplificador de potencia se encuentren integradas en circuitos integrados comerciales. Los fabricantes editan Data Books, que especifican las características de los circuitos.



### Debes conocer

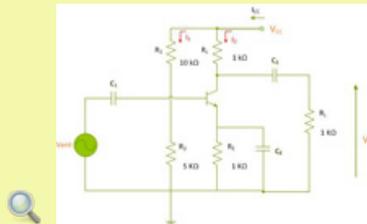
En el siguiente enlace puedes consultar las hojas de características del circuito integrado LM384.

 [Características del LM384.](#) (0,21 MB)



### Ejercicio resuelto

En el siguiente circuito amplificador se requiere conocer la ganancia de tensión, de potencia, el rendimiento y la potencia de salida máxima. Los datos que conocemos son los siguientes:  $\beta=150$ ; la señal de entrada es  $V_{entrada}=10\text{mV}$ , la señal de salida es  $V_{salida}=2,5\text{V}$  y la potencia máxima de salida  $=0,7812\text{mW}$ .



Mostrar retroalimentación

La ganancia de tensión  $A_v = \frac{V_{salida}}{V_{entrada}} = \frac{25}{0,01} = 250$  . La ganancia de potencia es igual al producto de la ganancia de tensión multiplicada por la ganancia de corriente:  $A_p = A_v \cdot A_i = 250 \cdot 150 = 37.500$  . La potencia máxima en la carga de salida que es  $R_L=1K\Omega$ : Para calcular el rendimiento necesitamos conocer la potencia de la fuente ( $P_{cc}$ ). Para el cálculo de  $P_{cc}$  necesitamos el valor de  $I_{cc}$ , de tal modo que  $P_{cc} = V_{cc} \cdot I_{cc}$  . siendo  $V_{cc}=15V$ . El valor de  $I_{cc}$  se deducirá aplicando las leyes de resolución de circuito que vimos en el primer tema.  $I_{cc}$  es igual a la suma de las corrientes que circulan por cada una de las ramas. Así pues,  $I_{cc} = I_1 + I_2$  .

Siendo  $I_1 = \frac{V_{cc}}{R_1 + R_2} = \frac{15}{10+5} = 1mA$  y  $I_2 = I_c$ , considerando que la intensidad del colector es aproximadamente igual a la del emisor. Podemos deducir la corriente que circula por el emisor mediante el análisis del circuito  $R_2$ ,  $R_E$ ,  $V_{BE}$ , que quedaría así:  $V_E = V_B - 0,7V$  , siendo  $V_B = R_2 \cdot I_1 = 5 \cdot 1 = 5V$  ; luego  $V_E = 5 - 0,7 = 4,3V$

Deducimos  $I_E = \frac{V_E}{R_E} = \frac{4,3}{1} = 4,3mA$  así pues la corriente que suministra la fuente es

$I_{cc} = I_1 + I_2 = 1mA + 4,3mA = 5,3mA$  . La potencia suministrada por la fuente:

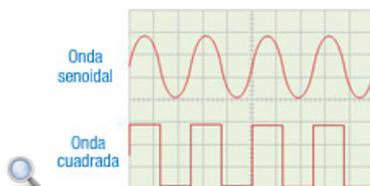
$P_{cc} = V_{cc} \cdot I_{cc} = 15 \cdot 5,3 = 79,5mW$  . Luego el rendimiento sería

$$\eta\% = \frac{P_{sal}}{P_{cc}} \cdot 100 = \frac{0,78}{79,5} \cdot 100 = 0,98\%$$

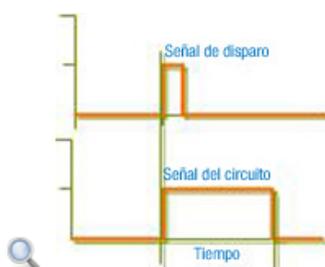
## 2.4.- Circuitos generadores de señal.

Un **circuito generador de señal** es aquel que puede producir señales eléctricas, la cuales se pueden clasificar atendiendo precisamente, como es lógico, al tipo de señal que reproducen.

**Los circuitos osciladores:** Son capaces de generar señales del tipo analógico y digital. Normalmente los circuitos osciladores proporcionan señales senoidales o cuadradas basadas en los procesos de resonancia mediante bobinas y condensadores y, a partir de una fuente de alimentación continua.



**Los circuitos temporizadores:** son aquellos que pueden temporizar la activación o la desactivación de otros circuitos durante un periodo de tiempo previamente programado en ellos.



### Debes conocer

En el siguiente enlace puedes consultar las características de los temporizadores.

[Características de los temporizadores.](#)



### Autoevaluación

Relaciona los amplificadores de potencia con sus características principales.

#### Ejercicio de relacionar

Tipos de amplificadores de potencia	Relación	Polarización de sus uniones
Tipo A	<input type="checkbox"/>	1. Distorsión elevada.
Tipo B	<input type="checkbox"/>	2. Aplicaciones de elevada potencia de audio.
Tipo AB.	<input type="checkbox"/>	3. Distorsión muy pequeña.

Enviar

Las amplificadores de potencia se caracterizan por una serie de características, entre ellas la distorsión, la cual es muy elevada para los amplificadores tipo B y muy baja para los amplificadores tipo A. También se pueden caracterizar por el tipo de aplicaciones, entre los que se encuentran los equipos de audio en las etapas finales de alta potencia como las del amplificador tipo AB.

## 2.5.- Osciladores (I).

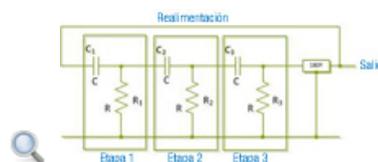
Los **osciladores** se clasifican en función de la onda que generen en **osciladores senoidales**, que generan una onda senoidal y **los osciladores no senoidales**, también llamados multivibradores, que generan una señal cuadrada.

Los osciladores senoidales que generan una señal senoidal a partir de una señal continua. Se suelen utilizar en **moduladores y demoduladores en equipos de televisión, telefonía y radio**.

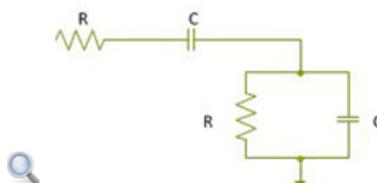
Existen tres tipos de osciladores senoidales: **osciladores RC**, **osciladores LC** y **osciladores de cristal de cuarzo**.

**Los osciladores RC** se construyen mediante resistencias y condensadores. Entre ellos tenemos **osciladores por desplazamiento de fase**, que basan su funcionamiento en la realimentación de un amplificador y un conjunto de resistencias y condensadores. A la salida de la red RC se consigue una señal con un desfase total de 180° que se introduce al amplificador de nuevo que, a su vez, vuelve a añadir otro desfase de 180° consiguiendo una oscilación permanente. El amplificador puede ser un transistor o un amplificador operacional, mientras que la red de realimentación estará compuesta por la red RC. La frecuencia del oscilador depende del número de células RC según la siguiente fórmula, en donde n es el número de células:

$$f = \frac{1}{2\pi RC\sqrt{2n}}$$



Dentro de los osciladores RC tenemos el oscilador de puente de Wien, el cual genera una onda senoidal mediante la red de realimentación como en la siguiente imagen.



### Para saber más

En el siguiente enlace puedes consultar la simulación de un circuito oscilador con desplazamiento de fase.

[Simulación de un circuito oscilador con desplazamiento de fase.](#)

## 2.5.1.- Osciladores (II).

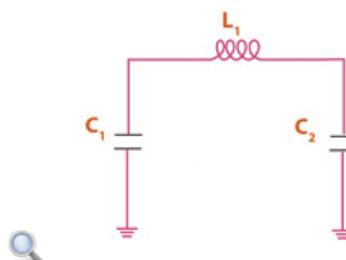
Los **osciladores LC** se construyen con inductancias y condensadores. Su uso se da para generar señales de alta frecuencia (HF y VHF), así pues se suelen encontrar en transmisores y receptores de radio, en telefonía, etc. Su funcionamiento se basa en el fenómeno de resonancia, de tal manera que con la red de realimentación se obtendría la frecuencia de resonancia que será la de la señal de salida. Dentro de estos osciladores tenemos los **osciladores Colpitts** y los **osciladores Hartley**.

El **oscilador Colpitts**: se caracteriza por utilizar como red de realimentación una bobina y dos condensadores. La frecuencia se calcula mediante la fórmula:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

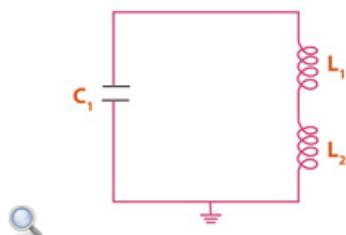
C es el equivalente de la conexión de dos condensadores en serie:

$$C = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}$$

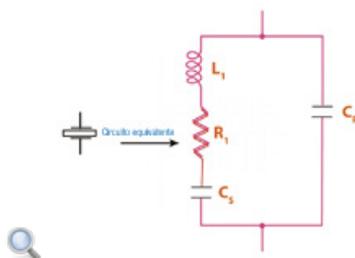


El **oscilador Hartley**: en este oscilador la red de realimentación está formada por dos inductancias y un condensador. La frecuencia se calcula como el inverso del producto de 2 por  $\pi$  y por la raíz cuadrada de la suma de las inductancias de las bobinas.

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{C \cdot (L_1 + L_2)}}$$



El **oscilador de cristal de cuarzo**: se utiliza para altas frecuencias, pues presenta una gran estabilidad en la frecuencia que se obtiene a su salida. Se suelen encontrar en los microprocesadores para generar la señal de reloj. También se encuentran en la telefonía móvil, en los emisores y receptores de radio, en los relojes, etc.





## Para saber más

En el siguiente enlace puedes consultar más información sobre el uso de los osciladores de cristal de cuarzo.

[Información sobre el uso de los osciladores de cristal de cuarzo.](#)



## Ejercicio resuelto

Calcula la frecuencia obtenida en un oscilador tipo Colpitts, cuando su valor de inductancia  $L=1\text{mH}$ , la capacidad del condensador 1 es de  $20\text{pF}$  y del 2 de  $100\text{pF}$ .

Mostrar retroalimentación

Aplicamos la fórmula del oscilador tipo Colpitts, pero antes calculamos la capacidad equivalente.

$$C = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} = \frac{20 \cdot 100}{20 + 100} = 16,67 \text{ pF} \quad \text{entonces}$$

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{10^{-3} \cdot 16,67 \cdot 10^{-12}}} = 12,33 \text{ mMHz}$$



## Autoevaluación

**Rellena los huecos con los conceptos adecuados.**

Los osciladores se clasifican en función de la onda que generen en , que generan una onda senoidal y , también llamados multivibradores, que generan una señal cuadrada.

Enviar

Los osciladores se clasifican en función de la onda que generen en **osciladores senoidales**, que generan una onda senoidal y **los osciladores no senoidales**, también llamados multivibradores, que generan una señal cuadrada.

## 2.6.- Multivibradores.

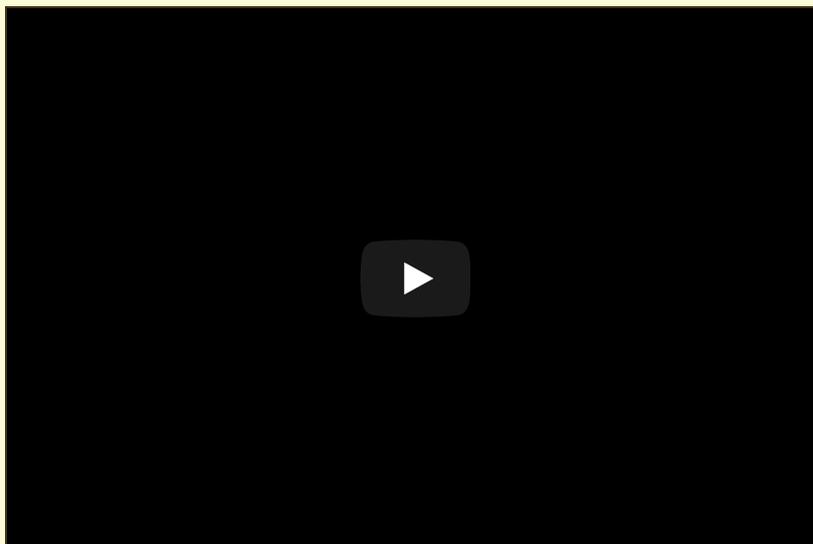
Los **multivibradores** son circuitos osciladores capaces de generar señales cuadradas a partir de una alimentación en corriente continua. Los multivibradores se clasifican en: **multivibrador astable**, circuito con dos estados estables, **multivibrador monoestable**, circuito con un estado estable y otro inestable, y **multivibrador biestable**, circuito con dos estados inestables. El segundo se utiliza como temporizador, ya que la señal después de un tiempo vuelve a su estado inicial.

El **multivibrador astable** es un circuito que posee un estado de oscilación constante. Su funcionamiento se basa en el paso de los transistores opuestos de corte a conducción y viceversa.



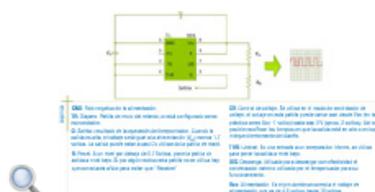
### Para saber más

En el siguiente vídeo puedes simular el funcionamiento de un multivibrador astable.



[Resumen textual alternativo](#)

La forma más práctica de realizar circuitos multivibradores es a través de un circuito integrado. Como oscilador integrado, el circuito más utilizado es el CI 555. Este circuito se puede utilizar como multivibrador astable, como temporizador, como modulador de una señal.



Los valores  $T_1$  y  $T_2$  se calculan con las siguientes formulas:

$T_1 = (R_A + R_B) \cdot C_1 \cdot 0,693$  Tiempo que la salida permanece a nivel alto.

$T_2 = R_B \cdot C_1 \cdot 0,693$  Tiempo que la salida permanece a nivel bajo.

El periodo T se calcula como la suma  $T_1 + T_2$ .



## Debes conocer

En el siguiente enlace puedes consultar las características del circuito 555.

 [Características del C.I. 555.](#)

Hay otros circuitos integrados que hacen la función de osciladores como el ICL8038. Busca sus características en la web e intenta interpretarlas.



## Autoevaluación

**El circuito integrado 555 puede funcionar como:**

- Circuito restador.
- Fuente de alimentación.
- Temporizador y oscilador.

No es correcto.

Incorrecto. No, no es así.

Correcta. El circuito integrado 555 puede funcionar como temporizador y como oscilador.

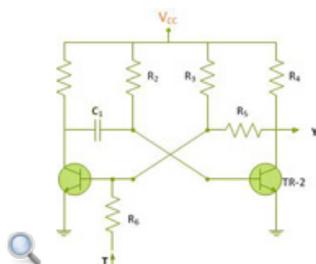
## Solución

1. Incorrecto
2. Incorrecto
3. Opción correcta

## 2.7.- Circuitos temporizadores.

Tal y como has visto en apartados anteriores de manera muy somera, un circuito temporizador es un circuito que sirve para marcar un tiempo de activación o desactivación. Se suelen denominar también monoestables. Al igual que para los osciladores podemos encontrarlos diseñados mediante componentes discretos o bien integrados en un  chip.

El circuito de la siguiente imagen es un **monoestable** realizado a través de componentes discretos. Estos circuitos se caracterizan por poseer un estado de conducción estable una vez aplicada una señal externa, que es la señal de disparo. Cuando pasa cierto tiempo, que se podrá programar mediante los componentes del circuito, vuelve a estado inicial.

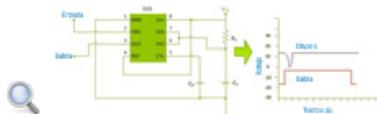


### Para saber más

En el siguiente enlace puedes consultar la simulación del montaje de un circuito monoestable.

 [Montaje de un circuito monoestable.](#)

Como decíamos antes, también se puede construir un circuito monoestable con un C.I. 555. La conexión del circuito ha de ser la que sigue:



En este caso solo se origina un solo pulso cuya duración estará en función del Resistor  $R_1$  y del condensador  $C_1$ . es decir el tiempo será igual a  $T = 1,1 \cdot R_1 \cdot C_1$  (en segundos)



### Para saber más

En el siguiente vídeo puedes consultar la simulación del funcionamiento de un monoestable con un C.I. 555.

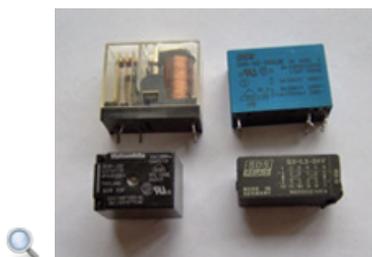


[Resumen textual alternativo](#)

## 2.8.- Circuitos de potencia: el relé

El **relé** es un dispositivo electromecánico que permite activar salidas de alta potencia a partir de señales de control más bajas, así pues se podría considerar como un interruptor electromecánico o como un amplificador. Los relés tienen dos estados: activado o desactivado y pueden ser de contactos normalmente abierto (N.A.) o normalmente cerrado (N.C.). **Se denominan  contactores cuando controlan grandes potencias.**

Su funcionamiento se basa en las leyes del electromagnetismo, de manera que cuando una corriente circula por la bobina genera un campo magnético que produce un magnetismo entre los contactos del relé, de manera que se produce la apertura o el cierre de un circuito.



### Para saber más

En el siguiente enlace puedes ver el funcionamiento de un relé por medio de una animación.

 [Funcionamiento del relé.](#)



### Autoevaluación

**Rellenar los huecos con los conceptos adecuados.**

Los circuitos de temporización son circuitos que determinan un tiempo de conexión o desconexión. También se denominan , los cuales se caracterizan por tener un estado  y otro inestable.

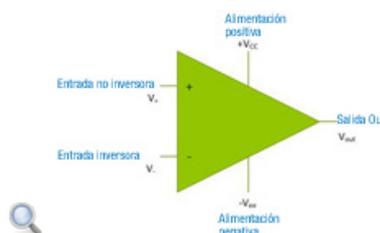
El relé es un dispositivo  que se puede utilizar como interruptor y se basa en las leyes del .

Enviar

## 2.9.- Amplificadores operacionales.

El **amplificador operacional** es un circuito eléctrico (habitualmente en forma de circuito integrado) cuya principal característica o función es la de lograr generar una importante ganancia de tensión para aplicaciones de baja potencia. Recibe su nombre de operacional porque en un principio se utilizó en calculadoras analógicas, ya que con este tipo de amplificador se pueden realizar operaciones matemáticas. Para ello, se simula los términos que aparecen en una ecuación matemática a resolver con tensiones que aplicadas al operacional. Su principal uso, pronto pasó a la práctica totalidad de aplicaciones electrónicas como filtros, rectificadores de alta precisión, convertidores I-V, conversores analógico-digitales, en definitiva, en todas aquellas ocasiones donde sea preciso un control respecto de alguna operación aritmética.

El operacional básico tiene cinco patillas, dos entradas llamadas, **inversora (-)** y **no inversora (+)**, **una salida** y **dos terminales de alimentación**, tal y como se muestra en la imagen:



Ten en cuenta que a los tres terminales de señal y los dos terminales de alimentación, se les puede añadir otros para propósitos específicos. Las características ideales de un operacional serían las siguientes:

- ✓ Impedancia de entrada ( $Z_i$ ): Infinita.
- ✓ Impedancia de salida ( $Z_o$ ): Cero.
- ✓ Ganancia de tensión ( $A_v$ ): Infinita.
- ✓ Ancho de banda ( $A_f$ ): Infinito.
- ✓ Rechazo en modo común (CMRR): muestra la relación de la ganancia diferencial frente a la ganancia común. Ha de ser muy elevado.

La ecuación ideal que determina el comportamiento del amplificador operaciones es:  $V_o = A((V_+) - (V_-))$  siendo A la ganancia de voltaje sin carga. Estas prestaciones, como es lógico son imposibles sin embargo son útiles para comparar con las reales. Las características reales las encontraremos en las hojas de características de un componente.

La entrada 1 ( $V_+$ ) se denomina entrada no inversora porque varía en el mismo sentido que la salida: de la fórmula anterior se deduce, que si mantenemos la entrada inversora (entrada 2 o  $V_-$ ) constante, cuando  $V_+$  aumenta,  $V_o$  también aumenta, y cuando  $V_+$  disminuye,  $V_o$  disminuye igualmente. La entrada 2 ( $V_-$ ) se denomina entrada inversora porque varía en sentido contrario que la salida. Aplicando la fórmula anterior se deduce, que si mantenemos la entrada no inversora (entrada 1,  $V_+$ ) constante, cuando  $V_-$  aumenta,  $V_o$  disminuye, y cuando  $V_-$  disminuye,  $V_o$  aumenta.

Para su funcionamiento adecuado es necesario disponer de dos fuentes de alimentación, una positiva ( $+V_{cc}$ ) y otra negativa ( $-V_{cc}$ ). Podemos distinguir dos modos de funcionamiento: **el modo diferencial** y **el modo común**. En el modo diferencial la señal de la entrada se calcula como la resta de las tensiones ( $V_+ - V_-$ ). En el modo común la tensión de salida se calcula como  $V_o = \frac{V_+ + V_-}{2}$

La tensión de salida se expresa como  $V_o = A_d \cdot V_d + A_c \cdot V_c$ , donde  $A_d$  es la ganancia en modo diferencial y  $A_c$  la ganancia en modo común.



## Debes conocer

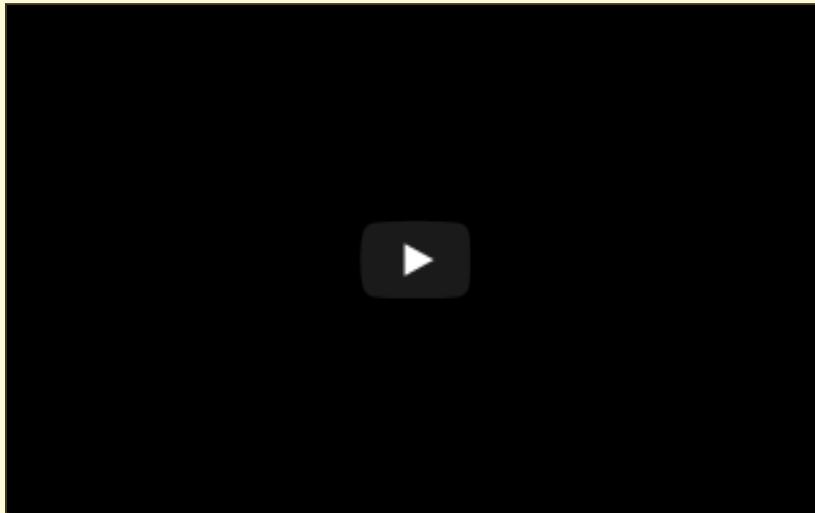
En el siguiente enlace puedes comprobar cuáles son las características reales del amplificador operacional integrado 741.

 [Características del A.O. integrado 741.](#)



## Para saber más

En el siguiente vídeo sobre qué es un convertidor I/V:



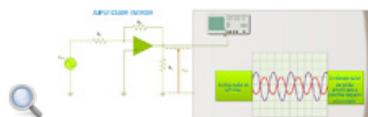
## 2.10.- Aplicaciones del amplificador operacional (I).

El **amplificador operacional** debe su nombre a la posibilidad que tiene de efectuar operaciones aritméticas. Otras funciones que desarrollan es la de amplificación y la de filtrado.

Las **principales aplicaciones del amplificador operacional son**: amplificador inversor, amplificador no inversor, amplificador sumador, comparador de voltaje, amplificador diferencial, filtros, etc.

**Amplificador inversor**: Se caracteriza porque la señal de la salida está desfasada 180° con respecto a la de entrada. Un ejemplo de aplicación es el mando de volumen de los amplificadores de audio. La ganancia del amplificador es negativa y depende únicamente de la relación de los valores  $R_2$  y  $R_1$ .

$$V_o = -\frac{R_2}{R_1} \cdot V_i$$



**Amplificador no inversor**: Se trata de una aplicación fundamentalmente de amplificación sin realizar ninguna otra operación aritmética. La ganancia sólo dependerá del circuito exterior, es decir de las dos resistencias, según la siguiente fórmula:  $V_o = (1 + \frac{R_2}{R_1}) \cdot V_i$ . En este caso la ganancia siempre será mayor de 1.

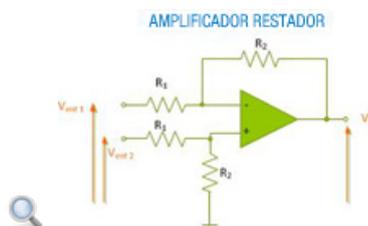


**Amplificador sumador**: este amplificador realiza la suma de varias señales aplicadas en las diferentes entradas. La fórmula que describe su funcionamiento es:  $V_o = -R_3(\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2})$



**Amplificador restador**: este amplificador realiza la resta de las señales que se introducen a su entrada. La fórmula con cuando le valore de la resistencia 1 y 2 son iguales es la siguiente:

$$V_o = \frac{R_2}{R_1} \cdot (V_1 - V_2)$$



### Ejercicio resuelto

Calcula la señal de salida de un circuito amplificador no inversor si tiene una señal de entrada de 10 mV.

Mostrar retroalimentación

La señal que obtendremos a la salida será igual a la entrada multiplicada por la ganancia de un amplificador no inversor.

$$V_o = (1 + R_2/R_1) \cdot V_i = (1 + 50) = 0,51V$$



## Autoevaluación

**No son características de los amplificadores operacionales:**

- Ancho de banda.
- Ganancia.
- La tensión de salida.

No es correcto.

Incorrecta. No, no es así.

Correcta. El ancho de banda y la ganancia son características de los amplificadores operacionales.

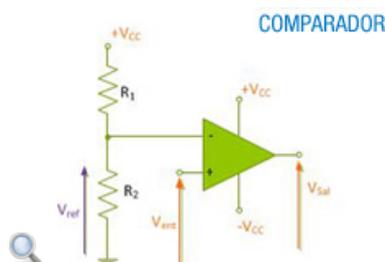
## Solución

1. Incorrecto
2. Incorrecto
3. Opción correcta

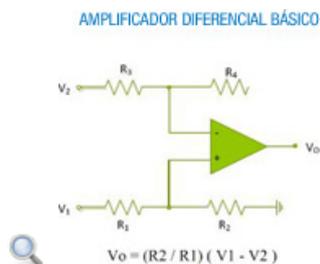
## 2.10.1.- Aplicaciones del amplificador operacional (II).

Las aplicaciones anteriores de los amplificadores operacionales se denominan **lineales** por la relación lineal entre la entrada y la salida, pero hay otras aplicaciones que no guardan dicha relación y a estas se las denomina operaciones no lineales de los amplificadores operacionales. Las principales aplicaciones no lineales se utilizan en telecomunicaciones. Se trata de filtros, comparadores de señal, generadores de ondas, integradores, etc.

**Comparador de señal:** Esta es una de las aplicaciones no lineales más importantes que tiene un operacional, de hecho existen circuitos integrados específicos para esta aplicación. El comparador es fundamental en un circuito en el que es necesario comparar dos valores para tomar una decisión. Por ejemplo, si se quiere encender una calefacción cuando la temperatura caiga por debajo de un determinado valor.

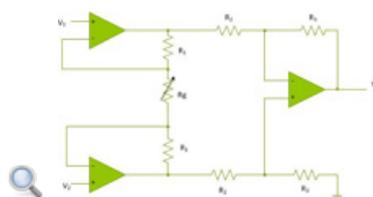


**Amplificador diferencial:** La señal que se consigue a la salida es igual a la resta de las señales de entrada multiplicada por la ganancia. Este circuito tiene como desventajas importantes la baja impedancia de entrada y la dificultad de modificar la ganancia. Para solventar estos problemas se utiliza el amplificador de instrumentación.



**Amplificador de instrumentación:** En este amplificador se consigue aumentar la impedancia de entrada y la ganancia se controla con la  $R_{gain}$  que es una resistencia variable. Es un amplificador muy útil sobre todo para aumentar señales muy débiles como las señales biológicas de un electrocardiograma.

$$V_o = (V_2 - V_1) \left(1 + \frac{2R_1}{R_g}\right) \cdot \left(\frac{R_3}{R_2}\right)$$



## 2.11.- Circuitos operacionales integrados.

Los **operacionales** normalmente se comercializan en circuitos integrados. Uno de los más comunes es el operacional 741. El  encapsulado que se muestra en la figura es el metálico TO-5, pero existen otros tipos de encapsulados como el encapsulado DIP de 8 patillas y el encapsulado para montaje SMD.



Diferentes tipos de encapsulados en los que se encuentra los integrados.



### Para saber más

En el siguiente enlace puedes conocer los distintos tipos de encapsulado que hay.

 [Tipos de encapsulado.](#)

La hoja de características que nos suministra el fabricante de integrados es fundamental para analizar el funcionamiento de este. Por ejemplo, en un LM741 de National Semiconductor encontraremos entre otras estas características: el CMMR o Relación de Rechazo en Modo Común que para este caso sería de 90dB, la tensión offset (tensión de la salida cuando la tensión en la entrada es 0) es de 0,8V, etc. Normalmente los valores se dan según el modelo del integrado y se distinguen entre valores típicos y máximos y entre diferentes temperaturas. Es importante saber interpretar las características de estos **datasheet**, para que te familiarices con ellas revisa el enlace que aparece a continuación. No olvides que el inglés es fundamental, pues casi todos los fabricantes las publican en inglés.



### Para saber más

En este enlace podrás conocer la información que aparece en el datasheet de un circuito integrado 741.

 [Datasheet de un circuito integrado 741.](#) (0.20 MB)



### Autoevaluación

El amplificador de instrumentación se caracteriza por:

- El control de la ganancia mediante una resistencia variable.

- La resta de los valores de entrada.
- La comparación de los valores de la entrada.

Correcta. El amplificador de instrumentación se caracteriza por disponer de una ganancia variable dependiente de una resistencia variable.

Incorrecta. No, repasa los contenidos.

No es la respuesta correcta, ese sería el comparador.

## Solución

1. Opción correcta
2. Incorrecto
3. Incorrecto

## 2.12.- Montaje y simulación de circuitos.

Para el montaje y simulación de circuitos existen numerosas aplicaciones de diseño electrónico que permiten hacerlo de forma fácil e intuitiva. En la mayor parte de ellas, puedes utilizar una versión demo o de evaluación que te podrás descargar de sus páginas oficiales. Estas son alguna de ellas:



**Crocodile Clips:** Es una aplicación de diseño y de simulación de electrónica y de mecánica. Es muy gráfico en la descripción del funcionamiento de los componentes, pero es más un programa para aprender que profesional. En su página web te puedes descargar una demo o versión de evaluación que te permitirá realizar y simular gran número de circuitos. Dispone de un módulo en 3D.

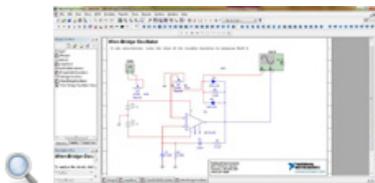


### Para saber más

En este enlace podrás descargarte una versión de evaluación de Crocodile Clips.

 [Crocodile Clips.](#)

**Electronics Workbench:** Esta aplicación de diseño y simulación de electrónica analógica y digital de National Instruments, es una aplicación muy utilizada en la simulación de circuitos por su fácil uso. Puedes descargarte una versión de evaluación en su página web.

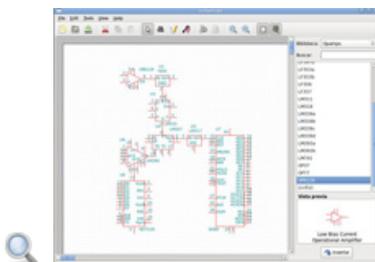


### Para saber más

En este enlace podrás descargarte una versión de evaluación de Electronics Workbench.

 [Electronics Workbench.](#)

**Pspice:** es un programa que se desarrolló en la Universidad de California. Permite realizar simulaciones de circuitos analógicos y digitales en tiempo y en frecuencia. Se puede descargar una versión demo en su página oficial.





## Para saber más

En este enlace podrás descargarte una versión de para estudiante del programa Pspice.

 [Página web para la descarga de la versión de estudiante de Pspice.](#)

## 3.- Conversión analógica digital.



### Caso práctico

La conversión analógica digital es un tema importante y de actualidad, por ello hoy han llamado a **Jaime** para que les eche una mano en este tema. Saben que cuando él estudiaba el ciclo formativo de Mantenimiento Electrónico esta parte le gustaba mucho.

- ¿La conversión analógica digital y viceversa es muy importante en electrónica, verdad? - Pregunta **Valle**.

- Pues, claro que si **Valle**. Piensa que la mayor parte de los circuitos electrónicos se basan en este proceso de conversión analógico-digital y digital-analógico. - Le contesta **Jaime**.

- ¿Podrías darme algún ejemplo? - Continúa **Valle**.

- Hay muchos ejemplos en nuestro entorno. Piensa por ejemplo en un equipo de música digital. El formato de entrada de la música MP3 es digital, sin embargo, el equipo lo reproduce en forma de señales de audio en nuestros altavoces. En todo este recorrido hay un proceso claro de conversión.- Explica **Jaime**.

- Otro ejemplo lo podríamos encontrar en la televisión digital. - Continúa **Valle**.

- Exacto. -Le contesta **Jaime**.

- ¡Este tema me gusta! - Concluye **Valle**.



La mayor parte de los dispositivos electrónicos modernos reciben señales analógicas y las convierten en señales digitales para poder procesarlas. Un ejemplo muy común es un grabador MP3, pero podemos encontrar muchos más en el sector de las telecomunicaciones y del audiovisual.

La **conversión analógico digital** es el proceso por el que una señal analógica, física se puede convertir en una señal digital. La conversión digital analógica será el proceso inverso.

En un proceso de tratamiento de señales digitales podemos encontrar un esquema como el que sigue:



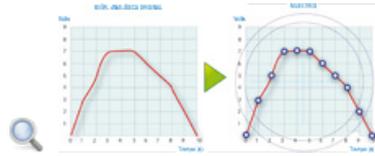
Primero encontramos un micrófono, que funciona como transductor, es decir un dispositivo que convierte una señal física (la voz) en una señal eléctrica. La señal del micrófono será muy débil, por ello es amplificada con un preamplificador. Después pasaría por un convertidor analógico digital para su procesamiento digital. Si pretendemos proyectar ese sonido sobre un altavoz, habría que convertir la señal en un convertidor digital analógico para luego amplificarla y proyectarla sobre un altavoz.

**La conversión analógica digital consta de las siguientes fases:**

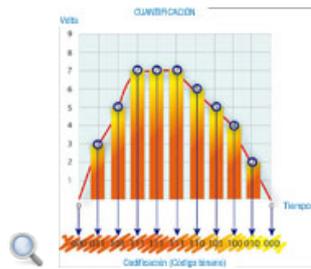
- ✓ **Muestreo:** consiste en tomar una serie de muestras de la señal para luego llevar a cabo una reconstrucción de la misma. El tiempo durante el cual se recoge las muestras se denomina **periodo de**

**muestreo.** La inversa sería **la frecuencia de muestreo**, que indica la velocidad de adquisición de la señal. Estos valores son importantes porque dependiendo de ellos podremos realizar una reconstrucción más fidedigna. A mayor frecuencia de muestreo, la señal será de mayor fidelidad. La frecuencia a la que debe muestrearse la señal viene determinada por el **Teorema de Nyquist**.

$$F = 2 \cdot f_{max} \quad (\text{en Hz}), \text{ siendo } f_{max} \text{ la frecuencia más alta de la señal.}$$



- ✓ **Cuantificación:** se trata de dividir la amplitud de la señal en diferentes franjas o escalones a los que habrá que hacer corresponder las muestras tomadas anteriormente.
- ✓ **Codificación:** es el último paso del proceso y consiste en asignar a cada una de las franjas un código o combinación binaria, con lo que ya hemos asignado un código digital a una señal analógica.

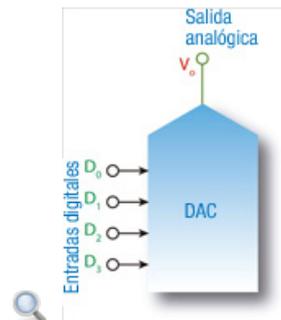


## 3.1.- Características de los convertidores.

Los **convertidores analógico digitales (ADC)** son los dispositivos que realizan la conversión analógico digital. Los convertidores digital analógicos (DAC) realizan el proceso inverso.

Estos convertidores tienen una serie de características y parámetros como son:

- ✓ **Velocidad de conversión:** es la velocidad a la que se realiza la conversión. Está en función del número de bits y de la frecuencia de muestreo.
- ✓ **Tiempo de conversión:** tiempo requerido para realizar una conversión A/D.
- ✓ **Resolución:** Número de bits que se proporcionan a la salida de un convertidor A/D.
- ✓ **Errores de ganancia:** es la desviación de la respuesta de la señal a la salida con respecto a la ideal.
- ✓ **Error de offset:** es la señal que aparece a la salida cuando el código digital equivale a 0 en un convertidor D/A.
- ✓ **Error de linealidad:** es la pérdida de linealidad de la función de transferencia.
- ✓ **Monotonicidad:** es la característica de transmitir las variaciones de la señal de entrada a la salida.
- ✓ **Tiempo de asentamiento:** es el tiempo que pasa desde que se inicia la retención de la señal para su muestreo hasta su asentamiento definitivo.



Los valores ideales de estas características para un convertidor son: La velocidad de conversión ha de ser elevada, debe tener una buena monotonicidad, los errores de linealidad, de ganancia y de offset han de ser pequeños y los tiempos de conversión y de asentamiento deben ser reducidos.



### Para saber más

En este enlace podrás comprobar las características de un convertidor analógico digital comercial.

[Características del ADC10080](#). (0.38 MB)



### Autoevaluación

La codificación consiste en:

- Dividir la magnitud de la señal analógica en franjas.
- Asignar un código binario a una señal analógica.
- Determinar la velocidad de muestreo necesario para la conversión analógico digital.

No es correcto.

Correcta. La codificación consiste en la asignación de un código binario a una señal analógica.

No es la respuesta correcta, no es así.

## Solución

1. Incorrecto
2. Opción correcta
3. Incorrecto

## 3.2.- Convertidores A/D (I).

**Convertidor A/D** es un **convertidor que transforma señal analógica en digital**. La señal digital se representa mediante un número determinado de bits. El funcionamiento del convertidor es asignar a cada valor de señal de entrada un determinado código de salida, siempre a través de una determinada característica de transferencia.

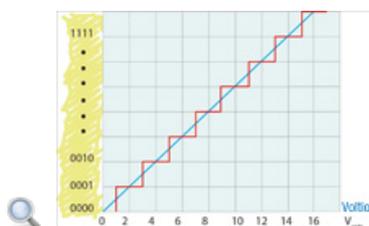


Los **convertidores analógico-digitales (ADC)** se clasifican fundamentalmente en realimentados, paralelo e integradores. Los convertidores A/D en paralelo se denominan también convertidores flash. Entre los convertidores realimentados están los ADC aproximaciones sucesivas, los ADC en escalera, los ADC de seguimiento. Los ADC integradores pueden ser de una rampa, de doble rampa o de tensión-frecuencia.

Son datos importantes en un ADC el valor de tensión a fondo de escala y el número de bits de salida. Con ellos podemos calcular la resolución.  $R = FE / (2^n - 1)$  siendo FE el valor de tensión de fondo de escala y n el número de bits.

En la figura siguiente tenemos la característica de transferencia de un convertidor D/A, donde se representa la correspondencia entre un valor analógico y su correspondiente digital para un convertidor ideal de 4 bits. En este caso el fondo de escala del convertidor sería 16V, si queremos calcular la resolución tendríamos:

$R = 16 / (2^4 - 1) = 1,07V$  El número de códigos distintos que se pueden generar en este convertidor será  $2^n$ , luego será de 16 códigos binarios.



### Ejercicio resuelto

Calcular la resolución de un circuito analógico digital de un convertidor analógico digital de 4 bits, cuando la tensión máxima de la entrada es de 20V.

Mostrar retroalimentación

La resolución se entiende como el voltaje necesario para lograr que en la salida haya un cambio del bit menos significativo.

$$R = FE / (2^n - 1) = 20 / (16 - 1) = 1,33V$$

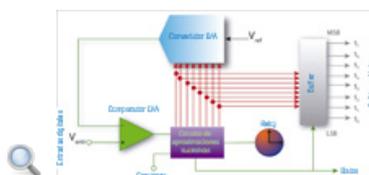
## 3.2.1.- Convertidores A/D (II).

Vamos a conocer los tipos de convertidores A/D más comunes:

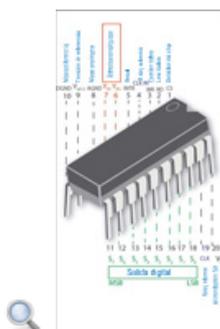
**Convertidor Flash:** este convertidor se basa en la función de comparación que tienen los amplificadores operacionales. Los valores de tensión a comparar en cada uno de los operacionales son la tensión de referencia y el valor de la tensión en cada punto del divisor de tensión. Como ya sabéis, la señal de salida del comparador es 1 cuando la señal de la entrada no inversora es mayor que la señal de la entrada inversora.



Un ejemplo de convertidores realimentados es el convertidor de Aproximaciones Sucesivas.



Un convertidor de aproximaciones sucesivas se basa en el funcionamiento de un DAC, cuya función es convertir los datos digitales y compararlos con la señal de entrada. El registro de aproximaciones sucesivas genera un código binario a mitad de escala. Esta se convierte a señal analógica y se compara con la señal de entrada, si la de entrada es mayor se genera un pulso en el comparador que provoca la generación de un código binario superior en el registro de aproximaciones sucesivas y así sucesivamente hasta que los valores coincidan y no se genere un pulso en el comparador.



Uno de los convertidores más utilizados es el de la serie ADC080X. Este convertidor es del tipo de las aproximaciones sucesivas, dispone de una salida de 8 bits y su resolución es de 19,6mV.



### Autoevaluación

El convertidor de aproximaciones sucesivas es un tipo de:

- Convertidor digital analógico.
- Convertidor analógico digital del tipo flash.

Convertidor analógico digital realimentado.

No es correcto.

No es la respuesta correcta, no es así.

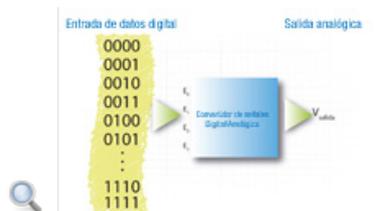
Correcta. El convertidor de aproximaciones sucesivas es un ejemplo de convertidor analógico digital realimentado.

## Solución

1. Incorrecto
2. Incorrecto
3. Opción correcta

## 3.3.- Convertidores D/A (I).

Un **convertidor digital analógico** transforma un valor digital de n bits en una señal analógica de tensión o intensidad proporcional al valor digital. A cada uno de los códigos digitales les corresponderá un valor analógico único.



Se caracterizará por el **Fondo de Escala (FE)** que será el valor máximo de la señal de salida y por una constante K de proporcionalidad entre la salida y la entrada. Igual que en el ADC, se denomina **resolución** a la mínima variación que aparece en la señal de salida cuando se produce un cambio en la señal de entrada.

$$Salida = K \cdot Entrada$$

$$Resolución = FE / (2^n - 1)$$

La resolución también se puede expresar en porcentaje.  $Resolución = (Resolución / FE) \cdot 100$

**Vamos a ver un ejemplo de cálculo de resolución:**



### Ejercicio resuelto

Calcular la correspondencia de conversión de las entradas digitales con las salidas analógicas de un convertidor de cuatro bits cuyo FE=15V.

El código 0000 equivaldrá a 0V en un extremo de la conversión. En el otro, el valor máximo será 1111 en digital que equivaldrá al FE en la señal analógica que es 15V.

Mostrar retroalimentación

El valor de la constante de proporcionalidad  $K = Salida / entrada = 15V / 15 = 1$

Luego la correspondencia queda de la siguiente manera:

Entrada digital → Salida analógica: 0000 → 0V. 0011 → 3V. 1101 → 13V. 0001 → 1V. 0100 → 4V.  
1110 → 14V. 0010 → 2V. 0101 → 5V. 1111 → 15V.

La resolución de este convertidor será:

$$Resolución = FE / (2^n - 1) = R = 15 / 15 = 1,0V$$

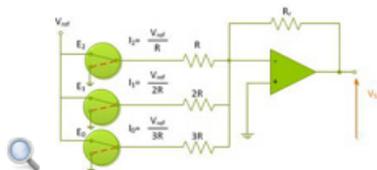
La resolución en porcentaje es igual a  $R = (1,0 / 15) \cdot 100 = 6,7\%$

Los principales tipos de convertidores D/A se basan en la suma de las tensiones que proporciona cada bit del código de entrada digital, según el peso de este bit. Dentro de estos tipos se encuentran: convertidores D/A de resistencias ponderadas y convertidores D/A de resistencias R-2R en escalera. El circuito comercial más utilizado es el DAC0800, convertidor D/A de resistencias R-2R de 8 bits.

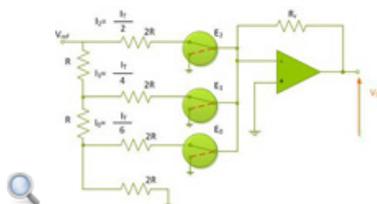


### 3.3.1.- Convertidores D/A (II).

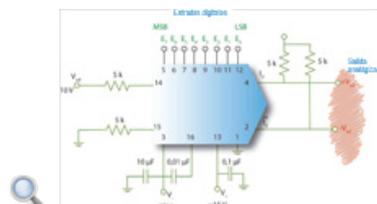
El **convertidor D/A de resistencias ponderadas** funciona teniendo en cuenta que los interruptores cerrados añaden un valor de tensión a la salida y corresponden a un '1' digital, mientras que los interruptores abiertos son '0' digitales y no suman tensión a la salida. Dependiendo del peso del bit añade más o menos valor de tensión. El amplificador funciona como un circuito sumador cuya salida es proporcional a la suma de los valores de entrada.



El **convertidor D/A de resistencias R-2R en escalera** utiliza redes de resistencias R-2R en escalera, así la corriente se divide en progresión por  $\frac{1}{2}$ .



El **esquema del convertidor D/A comercial DAC0800** es el siguiente. Se trata de un convertidor de resistencias R-2R de 8 bits. Funciona con una tensión de alimentación simétrica.



## Autoevaluación

El **circuito integrado DAC0800** es:

- Un convertidor analógico digital de aproximaciones sucesivas.
- Un convertidor digital analógico de resistencias ponderadas.
- Un convertidor digital analógico de resistencias R-2R.

No es correcto.

No es la respuesta correcta, no es así.

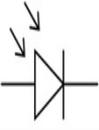
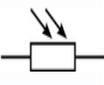
Correcta. El circuito integrado DAC0800 es un convertidor digital analógico de resistencias R-2R.

## Solución

1. Incorrecto
2. Incorrecto
3. Opción correcta

## Anexo.- Licencias de recursos.

### Licencias de recursos utilizados en la Unidad de Trabajo.

Recurso (1)	Datos del recurso (1)	Recurso (2)	Datos del recurso (2)
	Autoría: Ulfbastel. Licencia: Creative Commons. Procedencia: <a href="http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/60/Dioden2.jpg">http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/60/Dioden2.jpg</a>		Autoría: HUMANOC. Licencia: Creative Commons. Procedencia: <a href="http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/1c/Tiristor_IGTC.png">http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/1c/Tiristor_IGTC.png</a>
	Autoría: Johanna83. Licencia: Creative Commons. Procedencia: <a href="http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/62/Fotodiode.jpg">http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/62/Fotodiode.jpg</a>		Autoría: knutux. Licencia: Creative Commons. Procedencia: <a href="http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a5/Photo-diode.svg">http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a5/Photo-diode.svg</a>
	Autoría: BenTheWikiMan. Licencia: Creative Commons. Procedencia: <a href="http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/32/LDR.jpg">http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/32/LDR.jpg</a>		Autoría: Benjamin D. Esham. Licencia: Creative Commons. Procedencia: <a href="http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/48/Light-dependent_resistor_schematic_symbol.svg">http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/48/Light-dependent_resistor_schematic_symbol.svg</a>
	Autoría: Paweł Wiesław Kaczorowski. Licencia: Creative Commons. Procedencia: <a href="http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/6d/Fototranzystor.jpg">http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/6d/Fototranzystor.jpg</a>		Autoría: Tatoute. Licencia: Creative Commons. Procedencia: <a href="http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a0/Phototransistor.symbol.npn.svg">http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a0/Phototransistor.symbol.npn.svg</a>
	Autoría: Fdominec. Licencia: Creative Commons. Procedencia: <a href="http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/8a/Electronic_component_relays.jpg">http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/8a/Electronic_component_relays.jpg</a>		Autoría: Mike 1024. Licencia: Creative Commons. Procedencia: <a href="http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/92/741_op-amp_in_TO-5_metal_can_package_close-up.jpg">http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/92/741_op-amp_in_TO-5_metal_can_package_close-up.jpg</a>