



Electrónica aplicada

Guadalupe Carmona Rubio
Tomás Díaz Corcobado



Unidad

Introducción a los fenómenos eléctricos



En esta unidad aprenderemos a:

- Identificar la simbología normalizada en los esquemas de los circuitos eléctricos.
- Reconocer los elementos que constituyen un circuito eléctrico.
- Distinguir las principales magnitudes eléctricas y sus unidades.
- Realizar cálculos de las magnitudes eléctricas.
- Calcular el calor producido por el paso de la corriente eléctrica.

Y estudiaremos:

- El electrón.
- Los conceptos de conductor y aislante.
- El concepto de corriente eléctrica.
- Las unidades de medida.
- Los tipos de electricidad.
- La potencia y la energía eléctrica.



1. El módulo de Electrónica aplicada

El desarrollo de las telecomunicaciones en los últimos tiempos ha provocado que en la actualidad haya una gran demanda de especialistas en la materia para llevar a cabo las instalaciones y las reparaciones. Por ello, el Ciclo Formativo de Grado Medio Técnico en instalaciones de telecomunicaciones, nace con el fin de dar respuesta a esa importante demanda, para formar profesionales especializados en esta área de trabajo.

Aunque **electricidad** y **electrónica** son dos campos relacionados entre sí, hay que hacer una distinción entre ambos como ramas del conocimiento: la electricidad está enfocada a la obtención y distribución de energía eléctrica, mientras que la electrónica tiene como fin último la transmisión de información aprovechando los fenómenos eléctricos.

Por ello, el perfil profesional de este título está diseñado para la formación de un profesional polivalente, que sea capaz de adaptarse a las nuevas necesidades del mercado laboral. Además, prepara a un técnico con una **gran especialización** en la instalación y el mantenimiento de las infraestructuras de **telecomunicaciones**, los sistemas de seguridad, las **redes**, la domótica, la telefonía, el sonido y los **equipos informáticos**.

Una vez superados todos los módulos del Ciclo Formativo, el alumno estará capacitado para realizar las siguientes **actividades profesionales**: montaje y mantenimiento de instalaciones de telecomunicaciones y audiovisuales, así como instalaciones de radiocomunicaciones e instalaciones domóticas. Además, poseerá los conocimientos necesarios para desarrollar su actividad profesional atendiendo a las medidas de seguridad aplicables en cada caso, cumpliendo los protocolos de calidad y respetando el medio ambiente.

Entre los módulos profesionales necesarios para alcanzar dicha competencia se encuentra el que se estudia en este libro: **Electrónica aplicada**.

Todo técnico en instalaciones de telecomunicaciones debe tener una buena base de conocimientos sobre el funcionamiento y la aplicación de los circuitos electrónicos que va a estar utilizando habitualmente a lo largo del desarrollo de su profesión. Y es precisamente el módulo de **Electrónica aplicada**, el que tiene este cometido, aportando al alumno, y futuro técnico, los conocimientos suficientes, tanto en el ámbito de la electrónica analógica como en el de la electrónica digital, para entender el funcionamiento de los equipos que manejará en su entorno profesional (Fig. 1.1).

Electrónica aplicada es un módulo soporte que proporciona una adecuada **base teórica y práctica** para la comprensión de las funciones y características de los equipos y elementos electrónicos utilizados en instalaciones y sistemas de telecomunicaciones, instalaciones domóticas y redes de datos, entre otros. Por eso, los montajes y aplicaciones propuestos en este módulo no siempre tendrán una aplicación profesional inmediata, pero sin duda son la base del conocimiento necesario para entender el funcionamiento de equipos más complejos.

En el currículo del Ciclo Formativo, publicado en el **Real Decreto 1632/2009**, de 30 de octubre (BOE del 19 de noviembre de 2009), se establecen una serie de competencias tanto a nivel profesional como personal, que se pretenden alcanzar a la finalización de mismo. En el caso del módulo de **Electrónica aplicada**, este contribuye a alcanzar las siguientes **competencias**:

- Configurar y calcular las instalaciones de telecomunicaciones, audiovisuales, domóticas y eléctricas de interior.
- Mantener y reparar las instalaciones y equipos electrónicos relacionados con su ámbito profesional.



Fig. 1.1. La Electrónica aplicada estudia los principios en los que se basa el funcionamiento de los equipos con los que el técnico instalador y mantenedor deberá trabajar en su entorno profesional.

- Verificar el funcionamiento de las instalaciones o equipos realizando pruebas funcionales y de comprobación, para proceder a su puesta en funcionamiento.

Además, el módulo de *Electrónica aplicada* contribuye a alcanzar los **objetivos** generales del Ciclo Formativo, entre los que podemos citar los siguientes:

- Identificar los elementos de las infraestructuras, instalaciones y equipos, en función de los planos y esquemas de la instalación.
- Elaborar croquis y esquemas empleando medios y técnicas de dibujo y representación simbólica normalizada, para configurar y calcular la instalación.
- Obtener los parámetros típicos de las instalaciones y equipos, atendiendo a las especificaciones y prescripciones reglamentarias.
- Seleccionar el utillaje, las herramientas, los equipos y los medios de montaje y seguridad necesarios para el desarrollo de su actividad profesional.
- Localizar y reparar averías.
- Verificar el funcionamiento de las instalaciones mediante la comprobación del conexionado, el software, etc.
- Desempeñar la profesión atendiendo a criterios de seguridad y respeto al medio ambiente.

A lo largo de este libro desarrollaremos los **bloques de contenidos** que nos permitirán alcanzar las competencias necesarias para cumplir los objetivos descritos, y que podemos estructurar de la siguiente manera:

1. Fundamentos de Electrónica. Conceptos básicos.
2. Análisis de circuitos en corriente continua.
3. Análisis de circuitos en corriente alterna.
4. Fundamentos de la Electrónica analógica: componentes electrónicos y circuitos de aplicación.
5. Fundamentos de la Electrónica digital: componentes electrónicos y circuitos de aplicación.
6. Conversión analógica-digital y sistemas microprogramables.

Actividades

1. Busca en el BOE todo el listado de competencias profesionales que se adquieren por la realización del Ciclo Formativo, y añade a la lista anterior alguna más, aparte de las que hemos comentado aquí.
2. Realiza una lista con las posibles funciones que puede realizar un instalador de telecomunicaciones.
3. Busca en Internet ejemplos de instalaciones en las que podría intervenir un técnico que haya realizado el Ciclo Formativo de *Técnico en instalaciones de telecomunicaciones* y haz una lista de las mismas, con ayuda de tus compañeros. Añade, además, cuáles podrían ser las actuaciones a realizar por este técnico. Búsate para ello en la descripción que encontrarás en el BOE citado en el primer apartado de esta unidad.



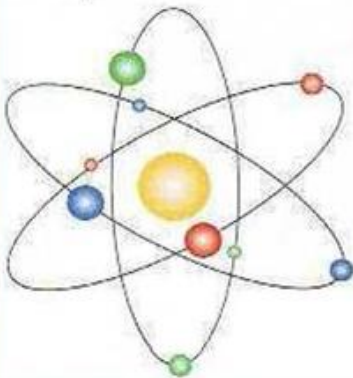
2. Clasificación de la electricidad

Importante

Todos los elementos químicos de la naturaleza están compuestos por átomos. A su vez, la **composición eléctrica del átomo** consta de:

Electrón: partícula cargada negativamente que gira alrededor del núcleo. Tiene una carga eléctrica de $-1.602 \cdot 10^{-19}$ culombios (C).

Núcleo: compuesto por **protones** y **neutrones**. Los **protones** son partículas cargadas positivamente y tienen una carga de $+1.602 \cdot 10^{-19}$ C. Los **neutrones**, en cambio, no poseen carga eléctrica, solo poseen masa; son partículas neutras (de ahí su nombre).



¿Sabías que...?

La **K** es la característica del medio donde se encuentran las dos cargas y su valor es de $9 \cdot 10^{-9} \text{ Nm}^2/\text{C}^2$.

¿Sabías que...?

Si coges un objeto aislante, como por ejemplo un bolígrafo, y lo frotas sobre un jersey, se electriza, con lo que será capaz de atraer pequeños trozos de papel. Sin embargo, un objeto metálico, que es conductor, también se electriza al frotarlo, pero no se aprecia su carga porque los electrones se distribuyen por todo el metal.

Podemos definir la **electricidad** como un fenómeno físico, originado por las cargas eléctricas, capaz de producir una energía que se manifiesta en forma de calor, movimiento, etc.

Según la movilidad de los electrones en los átomos que componen la materia, la electricidad se clasifica en electricidad **estática** y electricidad **dinámica**.

La **electricidad estática**, también llamada electrostática, es la parte de la Física que estudia las acciones que se producen entre cargas eléctricas en reposo.

Este tipo de electricidad se caracteriza porque el movimiento de electrones se realiza entre dos cuerpos diferentes.

Caso práctico 1: Producción de electricidad estática

Vamos a llevar a cabo un experimento práctico en el aula con el objetivo de producir electricidad estática. Para ello necesitaremos una hoja de papel, unos trozos pequeños de la misma hoja y la funda de un bolígrafo de plástico.

Solución:

Si acercamos la funda del bolígrafo a los trocitos de papel comprobamos que no ocurre nada. Sin embargo, si a continuación frotamos el bolígrafo en el papel y seguidamente lo arrimamos a los trocitos de papel, observamos que son atraídos hacia la funda del bolígrafo.

¿Por qué sucede esto? Se debe a la electricidad estática: los electrones son arrancados de un material (papel) y adheridos al otro (plástico).



Fig. 1.2. Funda de bolígrafo de plástico electrizado con los trozos de papel.

El físico Charles de Coulomb fue quien, en 1785, determina la ley por la que se rigen las manifestaciones eléctricas: la fuerza que actúa entre dos cargas eléctricas es proporcional al producto de las cargas, e inversamente proporcional al cuadrado de distancia que las separa. Además, esta fuerza entre las dos cargas depende también del medio en el que se encuentren, que vendrá definido en la ley de Coulomb media una constante (**K**), que lo caracteriza.

Por su parte, la **electricidad dinámica** fue descubierta por Volta en el año 1792. El físico realizó diversos experimentos y comprobó la circulación de los electrones a través de los átomos que componen un material conductor: es lo que se conoce como **corriente eléctrica**.

Este tipo de electricidad se produce por el movimiento de los electrones de los átomos. Dentro de un mismo material, los electrones que se encuentran en la corteza se movilizan, permitiendo que, en ciertas condiciones, se produzca un flujo de electrones de un átomo a otro. Cuando esto sucede, se dice que una corriente eléctrica atraviesa el cuerpo.

Puedes ver un ejemplo de electricidad dinámica en un circuito como el siguiente:

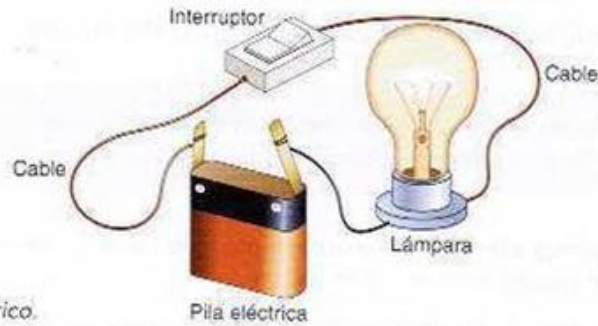


Fig. 1.3. Circuito eléctrico.

En el circuito de la Figura 1.3, los electrones se distribuyen a través del cable, de modo que si el interruptor está cerrado, deja pasar a los electrones a través de él y entonces la lámpara se enciende; si por el contrario está abierto, no permite el paso de electrones y por tanto la lámpara no se enciende.

2.1. Clasificación de los materiales desde el punto de vista eléctrico

La corriente eléctrica se produce como consecuencia de que los electrones se mueven de un átomo a otro dentro del material.

Sin embargo, no todos los materiales poseen la misma facilidad a la hora de permitir que sus electrones salten de un átomo a otro. De este hecho deriva una **clasificación** de los **materiales** desde el punto de vista eléctrico. Así, si los electrones tienen facilidad para desplazarse de un átomo a otro, se dice que es un material **conductor**; si por el contrario no tienen facilidad para desplazarse de un átomo a otro, se dice que es un material **no conductor, aislante o dieléctrico**.

En general, los metales son buenos conductores de la corriente eléctrica, aunque no todos la conducen igual de bien, y así por ejemplo el oro es mejor conductor de la electricidad que el hierro.

Para medir la capacidad de conducción de la corriente eléctrica de los materiales analizamos su **resistividad**, que se representa con la letra r : a mayor resistividad, peor conductor es el material, y a menor resistividad, mejor conductor es.

Caso práctico 2: Materiales conductores de electricidad

Indica qué metales, del siguiente listado, son mejores o peores conductores de la electricidad, en función de su resistividad:

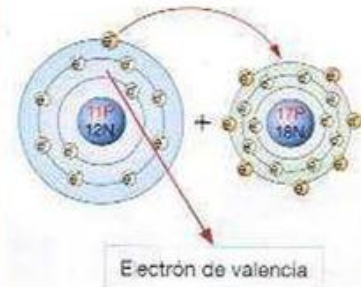
Material	Resistividad (ρ)
Cobre	0,0178
Aluminio	0,028
Hierro	0,13
Plata	0,016

Solución:

El metal que presenta menor resistividad es el cobre, por lo tanto, es el mejor conductor, ya que al tener menor resistividad, ofrece menos resistencia al paso de los electrones. A continuación le siguen, por orden, el aluminio, el hierro y la plata.

¿Sabías que...?

Los electrones que se desplazan de un átomo a otro son los llamados **electrones de valencia**, que son los que están en la última capa del átomo.



Unidades de medida

La medida de la resistividad (ρ) es: $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$.

Por tanto, comprobamos que a la hora de aplicar la fórmula del cálculo de la resistencia eléctrica de un conductor influirá la sección (mm^2) y la longitud del mismo (medida en metros).



2.2. Definiciones básicas relacionadas con la electricidad

El elemento fundamental relacionado con la electricidad es el circuito eléctrico.

Un **circuito eléctrico** es la interconexión de diferentes elementos eléctricos, de tal forma que se puede desplazar un flujo de electrones a través de ellos.

Los **elementos eléctricos interconectados** que debe contener un circuito eléctrico básico para que pueda funcionar son los siguientes:

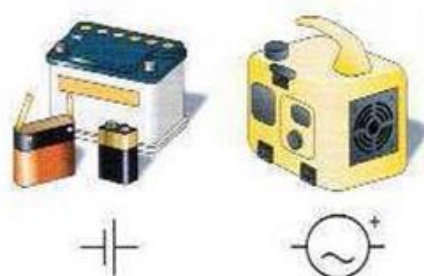
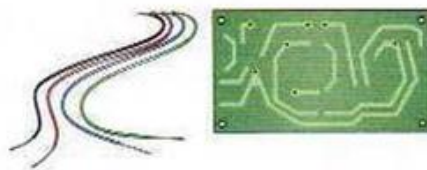


Fig. 1.4. Generadores eléctricos.

- **Generador eléctrico** (Fig. 1.4): es el que proporciona energía al circuito, es decir, alimenta eléctricamente al circuito. Puede ser una fuente de alimentación, una pila, acumulador eléctrico (batería), etc. En todo caso, la tensión generada debe ser acorde con el resto de los elementos que componen el circuito, ya que si no fuera así podría haber deterioros en los demás elementos.
- **Conductores** (Fig. 1.5): sirven para interconectar los elementos que componen el circuito, y la electricidad circula por ellos. Dado su escaso nivel de resistividad ($0,0178 \Omega \cdot \text{mm}/\text{m}^2$), el material del que están hechos normalmente es el cobre, muy apto para la conducción de la corriente eléctrica. Suelen tener forma de hilo o cable y estar compuestos por multitud de hilos. Además, están recubiertos por un aislante o dieléctrico, que suele ser el plástico, para evitar que haga contacto con los otros elementos del circuito, además de proteger contra las descargas eléctricas cuando son manipulados.



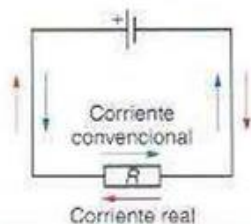
En los esquemas de circuitos eléctricos, los hilos conductores se representan con líneas finas

Fig. 1.5. Conductores.



Ten cuidado

El **sentido real** de la corriente va del polo negativo al positivo. Sin embargo, en los primeros experimentos se consideró al revés, por ello, cuando resolvamos ejercicios siempre consideraremos que el sentido de la corriente eléctrica irá del polo positivo al negativo (corriente convencional) como en la siguiente figura:



- **Receptores** (Fig. 1.6): son los elementos que transforman la energía eléctrica en otro tipo de energía y producen algún efecto al suministrarles energía eléctrica. Pueden ser, por ejemplo: lámparas, motores, resistores, relés, etc.

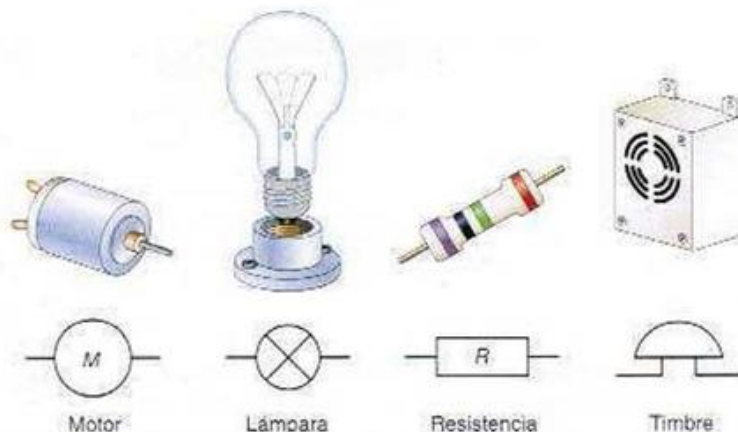


Fig. 1.6. Tipos de receptores y símbolos.

• **Interruptor** (Fig. 1.7): es un elemento de control que permite interrumpir la corriente eléctrica al paso de la electricidad. Si el interruptor está cerrado circulará corriente, pero si está abierto no circulará corriente por él.



Fig. 1.7. Interruptores y símbolo del interruptor.

• **Fusible** (Fig. 1.8): es un elemento de protección. Su magnitud más importante es que tenemos que tener en cuenta la corriente máxima que puede circular por él, es decir, la corriente que deja pasar, y a partir de la cual el fusible se fundirá e interrumpirá la circulación de electrones por el circuito.



Fig. 1.8. Fusible y símbolo de fusible.

Uniendo todos los elementos anteriores tenemos el circuito eléctrico como el representado en la Figura 1.9:

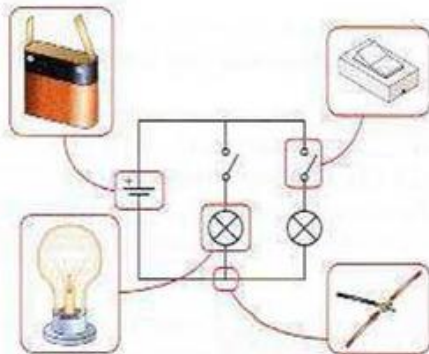
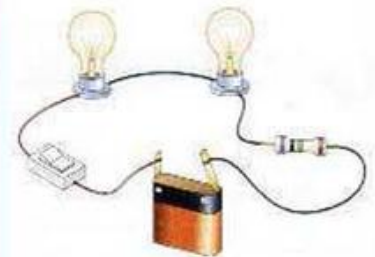


Fig. 1.9. Ejemplo de un circuito eléctrico.

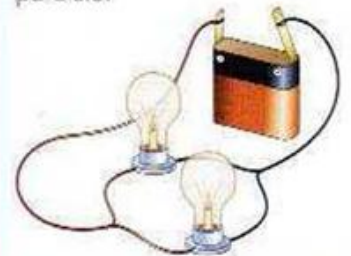
El esquema de la Figura 1.9 está formado por los siguientes elementos: un generador (en este caso una pila que proporciona corriente continua), dos receptores (lámparas) gobernados por sendos interruptores, y todos los conductores que sirven para conectar los elementos del circuito entre sí, y que por tanto hacen que pueda circular la corriente eléctrica a través de ellos.

¿Sabías que...?

La conexión de esta figura es un circuito eléctrico con dos bombillas conectadas en serie:

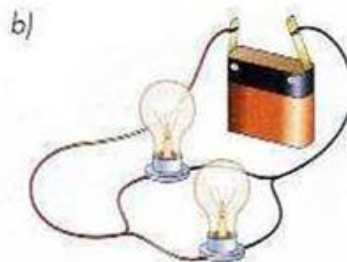


Y la conexión de la siguiente figura es un circuito eléctrico con dos bombillas conectadas en paralelo:



Actividad

4. Identifica los elementos que componen los siguientes circuitos:





● 2.3. Conceptos de tensión e intensidad

Para explicar estos conceptos y facilitar su estudio resulta útil hacer una comparación con la corriente de agua. En los siguientes apartados lo comprobaremos.

○ A. Tensión o voltaje eléctrico

Supongamos dos depósitos de agua, unidos por una tubería de comunicación, y cuyo nivel de agua sea el mismo para los dos. En esta circunstancia el agua permanece inmóvil.

Si elevamos el nivel de uno de los depósitos y con ello el nivel del agua, habrá una diferencia de niveles; en este caso, el agua circulará por la tubería desde el depósito de nivel más elevado al de nivel más bajo. Es decir, que para que el agua circule es necesario que haya una diferencia de nivel entre los dos depósitos, y con la electricidad sucede lo mismo: para que circulen los electrones por un hilo o cable es necesario que haya también una diferencia de nivel de electricidad entre los dos puntos del cuerpo. A esta diferencia de nivel es a lo que se denomina **tensión o diferencia de potencial eléctrico**.

Por tanto, **tensión eléctrica** es la diferencia de nivel eléctrico existente entre dos puntos de un circuito eléctrico. La unidad de la tensión eléctrica es el **voltio (V)**.

Si seguimos comparando la circulación del agua con la de la corriente eléctrica observamos al cabo de cierto tiempo, comprobaremos que los niveles se habrán igualado y la corriente, por tanto, cesará.

Para evitar este cese, colocamos una bomba y otra tubería que eleve el agua, como podemos ver en la Figura 1.10. En ella comprobamos que esta disposición forma un circuito cerrado; por su parte, el depósito y la bomba son los elementos productores de la corriente de agua, igual que la pila es el elemento productor de la corriente eléctrica.

Del mismo modo que la bomba produce una fuerza que hace subir el agua, manteniendo con ello la diferencia de nivel, la pila introduce una fuerza capaz de mantener la tensión entre los extremos de los hilos unidos a ella. Esta fuerza es lo que se denomina **fuerza electromotriz (fem)** y es la causa que mantiene la tensión en el circuito, y la función del generador es mantener la tensión gracias a la fuerza electromotriz.

Cuanta mayor presión ejerza la fuerza electromotriz (fem) sobre las cargas eléctricas, mayor será también el voltaje, la tensión o la diferencia de potencial que estará presente en un determinado circuito eléctrico.

En todo caso, conviene recordar que en un circuito cerrado las cargas eléctricas fluyen del polo negativo al polo positivo de la propia fuente de fuerza electromotriz (fem).

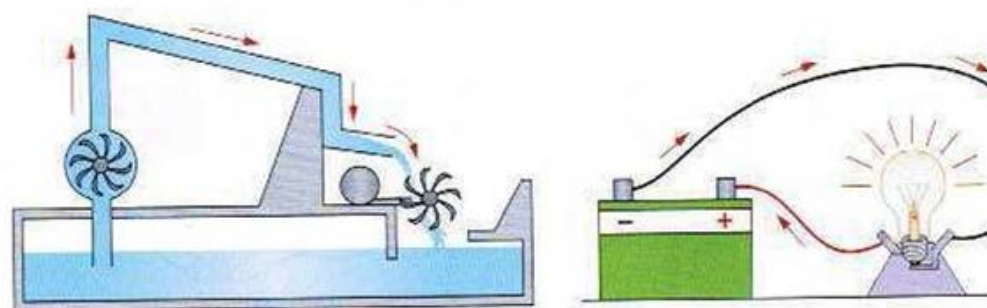


Fig. 1.10. Similitud entre un circuito hidráulico y otro eléctrico.

? ¿Sabías que...?

Peter Terren es un australiano fanático de la electricidad y autor de la página web: <http://tesladownder.com>, que realiza experimentos arriesgados con electricidad que pueden verse en su web. En muchos de sus experimentos utiliza la **bobina de Tesla**, de ahí el nombre de la página web.

@ Web

Si consultas el artículo «Bobina de Tesla» en Wikipedia (<http://es.wikipedia.org>) encontrarás información sobre qué es una **bobina de Tesla** y cuál es su funcionamiento.

! Importante

No hay que confundir la fem con la tensión: la primera es la causa y la segunda el efecto.



○ B. Corriente eléctrica

Si seguimos con la similitud hidráulica, otro aspecto importante es la corriente de agua que pasa por la tubería. En concreto, es útil conocer la cantidad de agua que pasa en un tiempo dado, por ejemplo, en 1 segundo (s). Es lo que se denomina **caudal** de la corriente de agua, y así se habla de caudal de «tantos litros por minuto» o «tantos litros por segundo».

Lo mismo sucede en una corriente eléctrica: resulta de gran interés saber la cantidad de electricidad que pasa por unidad de tiempo en un conductor, y a esta magnitud se le da el nombre de **intensidad de corriente eléctrica**, que se representa con la letra I .

La **unidad de corriente** es el **culombio/segundo (C/s)**, a la cual se le da el nombre de **amperio (A)** y la fórmula es:

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

Donde Q es la cantidad de electricidad e I la intensidad de la corriente. Son magnitudes directamente proporcionales:

$$Q = I \cdot t$$

De aquí se deduce que la cantidad de electricidad es igual a la intensidad de la corriente por el tiempo que circula esa corriente.

Como ya hemos comentado anteriormente, la unidad de corriente eléctrica es el amperio (A), sin embargo, en los circuitos electrónicos generalmente se trabaja con valores de corriente eléctrica muy pequeños, siendo habitual trabajar con miliamperios (mA, que son la milésima parte de un amperio) e, incluso, con microamperios (μA , la millonésima parte de un amperio).

Caso práctico 3: Corriente eléctrica

En una habitación tenemos un circuito eléctrico formado por una bombilla, un interruptor y un generador de corriente, tal como podemos observar en la Figura 1.11.

Vamos a medir esa corriente con un amperímetro colocado entre la bombilla y el generador:

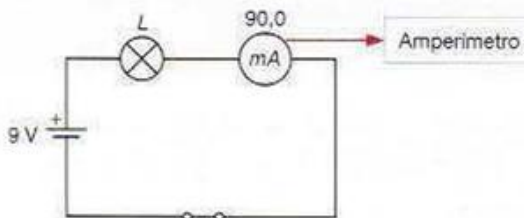


Fig. 1.11. Circuito eléctrico con amperímetro.

Solución:

Podemos observar que nos marca la corriente eléctrica en miliamperios (mA), en este caso, 90 mA.

$$I = 90 \text{ mA} = 90 \cdot 10^{-3} \text{ A}$$

Unidades de medida

La unidad de la carga o cantidad de electricidad (Q) es el **culombio**, que según la fórmula es igual al amperio por segundo:

$$Q = I \cdot t$$

Unidades de medida

Otras unidades de medida de la resistencia eléctrica son:

Kilohmios ($k\Omega$)

Megohmios ($M\Omega$)

$I \ V \ R$

3. Unidades de medida en electricidad

La actividad de los circuitos eléctricos no es perceptible a simple vista, por lo que tenemos que recurrir a estudiar su comportamiento a través de ciertas propiedades (magtudes) que producen diversos efectos en los instrumentos de medida.

Estos efectos están cuantificados siguiendo convencionalismos llamados **unidades de medida** (que, además, son específicas de este campo). A lo largo de los siguientes apartados analizaremos las magnitudes y unidades eléctricas, así como el instrumento de medida adecuado para cada caso.

3.1. Resistencia eléctrica

La **resistencia eléctrica** es la mayor o menor oposición que presenta un cuerpo al paso de la corriente eléctrica. Se representa con la letra **R** y la unidad de medida es el ohmio (Ω).

El óhmetro es el instrumento de medida con el que se mide la resistencia, conectando el resistor directamente al mismo, tal como muestra la Figura 1.12.

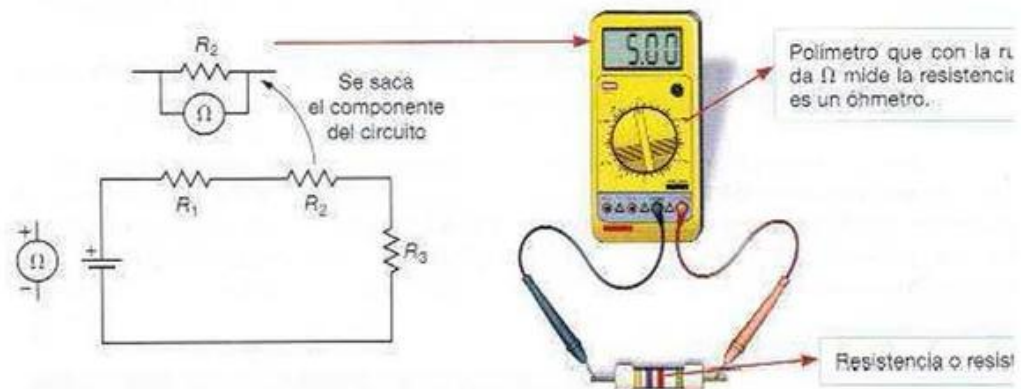


Fig. 1.12. Circuito de medida con óhmetro y polímetro funcionando como óhmetro.

3.2. Tensión eléctrica o voltaje eléctrico

La **tensión eléctrica o voltaje eléctrico** es la diferencia de potencial que existe entre dos puntos de un circuito.

Se representa con la letra **V**, la unidad de medida es el voltio (V) y se mide con voltímetro (Fig. 1.13), que se conecta en paralelo sobre el circuito del que se quiere medir su tensión.

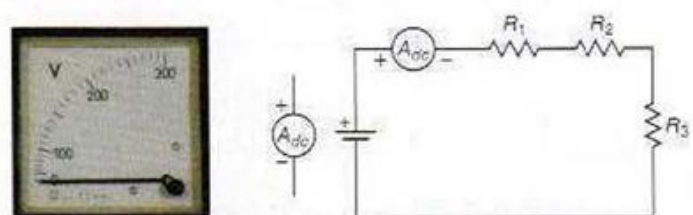


Fig. 1.13. Voltímetro y circuito de medida con voltímetro.

Unidades de medida

Otras unidades de medida de la tensión son:

Megavoltio (MV) = 1 000 000 V.

Kilovoltio (kV) = 1 000 V.

Milivoltio (mV) = 0,001 V.

Microvoltio (μV) = 0,000001 V.

3.3. Intensidad eléctrica

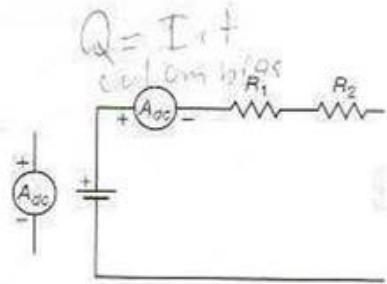
La **intensidad eléctrica** es la cantidad de electrones que circulan por un conductor en un segundo.

Tal como indicábamos anteriormente, se representa con la letra I , su unidad de medida es el amperio (A) y se mide con el amperímetro (Fig. 1.14), que se conecta en serie con la parte del circuito que se quiere medir.



Fig. 1.14. Amperímetro y circuito de medida con amperímetro.

$$V = I \cdot R \quad \text{Ley de Ohm}$$



3.4. Potencia eléctrica

La **potencia eléctrica** se define como el trabajo eléctrico desarrollado por unidad de tiempo.

Se representa con la letra P , su unidad es el vatio (W) y suele medirse con el vatímetro. La fórmula es:

$$P = V \cdot I$$

Donde V = tensión, que se mide en voltios (V), e I = intensidad, que se mide en amperios (A).

3.5. Energía eléctrica

La **energía eléctrica** es la potencia suministrada en un tiempo determinado, es decir, hace referencia al consumo eléctrico. Se representa con la letra J , su unidad de medida es el julio (J), se mide con un contador de energía y se representa con la letra E .

La medida más habitual es el kilovatio hora (kWh.); donde $1 \text{ kW} = 1000 \text{ W} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ J}$, y a su vez, $1 \text{ J} = 1 \text{ vatio} \cdot \text{segundo}$.

Su fórmula es la siguiente:

$$E = P \cdot t$$

Donde P = potencia en vatios (W); t = tiempo en segundos (s); E = energía en julios (J).

3.6. Efecto Joule

Partiendo de que un conductor absorbe energía durante cierto tiempo, el efecto Joule es la cantidad de calor que se produce como consecuencia de la energía absorbida. Por ejemplo, las resistencias calefactoras producen calor.

La cantidad de calor viene dada en calorías (cal) y su fórmula es:

$$Q = 0,24 \cdot E$$

Siendo Q = calor en calorías (cal); E = energía en julios (J) y $E = P \cdot t$

Donde P es la potencia en vatios (W) y t es el tiempo en segundos (s).

Unidades de medida

Otras unidades de medida de la intensidad son las siguientes:

Miliamperio (mA) = 0,001 A

Microamperio (μA) = 0,000001 A

Nanoamperio (nA) = 10^{-9} A

Unidades de medida

En electricidad se usa normalmente el kW (kilovatio); donde $1 \text{ kW} = 1000 \text{ W}$, equivalente a $1,36 \text{ CV}$ (caballos de vapor).

¿Sabías que...?

Un contador de energía podría ser el siguiente:



Unidades de medida

Otra unidad del calor es:

Kilocalorías (kcal) = 1000 cal



En la siguiente tabla se recogen todas las **magnitudes** citadas hasta ahora.

Magnitud	Definición	Unidad de medida
Resistencia	Oposición al paso de la corriente eléctrica.	Ω (ohmio)
Tensión o voltaje	Diferencia de potencial entre dos puntos de un circuito.	V (voltio)
Intensidad	Cantidad de electrones que circulan por un conductor en 1 segundo.	A (amperio)
Potencia	Trabajo eléctrico por unidad de tiempo.	W (vatio)
Energía	Potencia suministrada a un circuito durante un determinado tiempo.	kWh (kilovatio por hora) <i>15 = 1 Wh</i>
Cantidad de calor	Calor producido en un conductor por la energía absorbida.	Cal (calorías)

Tabla 1.1. Magnitudes de electricidad.



Caso práctico 4: Cálculo del calor que produce una resistencia

En una habitación tenemos un calefactor cuya resistencia está conectada a una tensión de 220 V. Esta resistencia consume 5 A durante 8 horas. Vamos a calcular el calor que produce la resistencia.

Solución:

Primero utilizamos la fórmula del valor que nos piden:

$$Q = 0,24 \cdot E$$

como nos falta el valor de la energía (E), usamos su fórmula:

$$E = P \cdot t$$

Donde P es la potencia, cuyo valor también desconocemos.

Aplicamos la fórmula de la potencia en función del valor que nos dan:

$$P = V \cdot I$$

y sustituimos los valores que nos dan, así:

$$P = 220 \cdot 5 = 1100 \text{ vatios (W)}$$

Luego la energía será:

$$E = 1100 \cdot (8 \cdot 3600) = 31\,680\,000 \text{ julios (J)}$$

Por tanto, finalmente, la cantidad de calorías es:

$$Q = 0,24 \cdot 31\,680\,000 = 7\,603\,200 \text{ cal}$$



Actividades

- La resistencia eléctrica de una estufa tiene un valor de 0,38 k Ω , y se encuentra conectada a una tensión de 220 V. ¿Qué tiempo debe estar conectada la estufa para calentar una habitación que necesita 12000 cal?
- Un termo eléctrico de 360 Ω de resistencia, y por el que circulan 3 A durante 5 minutos, ¿cuánto calor producirá?
- ¿Qué potencia consumirá un calefactor eléctrico conectado a 220 V con una resistencia de 35 Ω ?
- ¿Qué cantidad de energía producirá una lámpara eléctrica de 100 W en 3 minutos? ¿Y qué cantidad de calor generará?

Práctica final: Comprobación de la circulación de la corriente en un circuito

1. Objetivo

Vamos a comprobar los diferentes caminos que puede tomar la corriente eléctrica en un circuito. Para ello montaremos diferentes interruptores, para que podamos abrir y cerrar partes de los circuitos.

2. Materiales

- Bombillas de 6 V.
- Fuente de alimentación.
- Portalámparas.
- Cables para conectar.
- Interruptores.

3. Técnica

1. Realiza el montaje del siguiente circuito (Fig. 1.15):

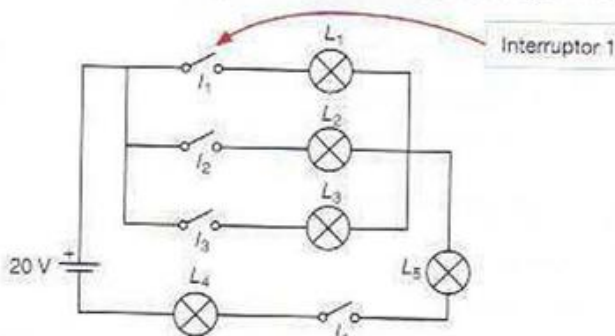


Fig. 1.15. Circuito con bombilla.

2. Corta el cable y ponlo como en el circuito anterior.
3. Conecta el portalámparas (Fig. 1.16) siguiendo el circuito.

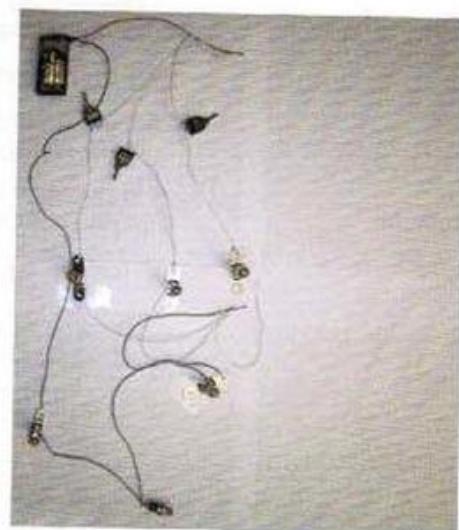


Fig. 1.17.



Fig. 1.18.

4. Inserta en el portalámparas las bombillas.
5. Coloca los interruptores (Fig. 1.17).
6. Pon la fuente de alimentación.
7. Da a la fuente un valor de 20 V.
8. Cierra el circuito (Fig. 1.18).

4. Cuestiones

Una vez realizado el montaje del circuito. Contesta a las siguientes cuestiones:

1. ¿Qué sucede con la bombilla (B_1) si cierras el interruptor I_1 ? ¿Se enciende?
2. ¿Qué sucede con las bombillas B_2 y B_3 si tienes abierto los interruptores I_2 e I_3 , respectivamente? ¿Pasará corriente por ellas?
3. ¿Qué sucede con la bombilla B_4 si se abre el interruptor I_1 y todos los demás interruptores están cerrados?
4. ¿Circula la corriente cuando todos los interruptores están cerrados? ¿Por qué?
5. ¿Circula la corriente cuando todos los interruptores están abiertos? ¿Por qué?
6. ¿Qué sucede con la bombilla B_5 si se abre el interruptor I_3 ? ¿Se enciende? ¿Por qué?
7. ¿Qué sucede con la bombilla B_4 si están todos los interruptores abiertos menos el I_1 ? ¿Se enciende? ¿Por qué?

Responde a estas preguntas explicando qué sucede en cada caso y por qué hay o no corriente.

Fig. 1.16.



Test de repaso

- De los siguientes elementos, es un generador:
 - Un motor.
 - Una pila.
 - Una bombilla.
 - Un interruptor.
- Un circuito eléctrico está abierto cuando:
 - Circula corriente por él.
 - No circula corriente por él.
 - Hay un interruptor.
 - Hay bombillas.
- Un circuito eléctrico está cerrado cuando:
 - Circula corriente por él.
 - No circula corriente por él.
 - Hay un interruptor.
 - Hay bombillas.
- Otra unidad de la corriente eléctrica es...
 - El miliohmio.
 - El voltio.
 - El miliamperio.
 - El kiloohmio.
- ¿Cuál es la unidad del voltaje eléctrico?
 - El amperio.
 - El voltio.
 - El julio.
 - El vatio.
- ¿Cuál es la unidad de la potencia eléctrica?
 - El amperio.
 - El voltio.
 - El julio.
 - El vatio.
- ¿Cuál es la unidad de la energía eléctrica?
 - El amperio.
 - El voltio.
 - El julio.
 - El vatio.
- ¿Cuál es la unidad del calor?
 - El amperio.
 - La caloría.
 - El julio.
 - El vatio.
- ¿A qué capa del átomo se denomina capa de valencia?
 - A la primera capa.
 - A la segunda capa.
 - A la tercera capa.
 - A la última capa.
- Un átomo consta de...
 - Núcleo.
 - Corteza.
 - Núcleo y corteza.
 - Ninguna es correcta.
- Un material que tenga una resistividad muy grande será:
 - Buen conductor de electricidad.
 - Mal conductor de electricidad.
 - Es indiferente.
 - Será un excelente conductor.
- A la potencia que suministra un circuito por unidad de tiempo se le denomina:
 - Tensión.
 - Intensidad.
 - Corriente.
 - Energía.

Comprueba tu aprendizaje

Identificar la simbología normalizada en los esquemas de los circuitos eléctricos

1. Explica los distintos elementos de los que consta un circuito eléctrico.
2. Indica si se encienden las bombillas (L_1 y L_2) de los siguientes circuitos y por qué.

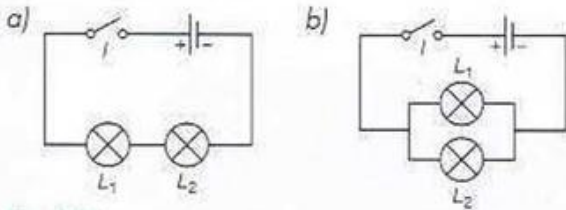


Fig. 1.19.

3. En los circuitos del ejercicio 2, si el interruptor estuviera abierto, ¿qué ocurriría? ¿Circularía la corriente eléctrica en cada uno de los circuitos? ¿Por qué?
4. ¿Cuál es el sentido de circulación de la corriente eléctrica en un circuito?
5. Dibuja los símbolos de los siguientes elementos de un circuito eléctrico:
 - a) Interruptor.
 - b) Lámpara.
 - c) Fusible.
 - d) Motor.
 - e) Timbre.
 - f) Resistencia.

Identificar los elementos que constituyen un circuito eléctrico

6. Haz una lista con los elementos que aparecen en cada uno de los siguientes circuitos eléctricos:

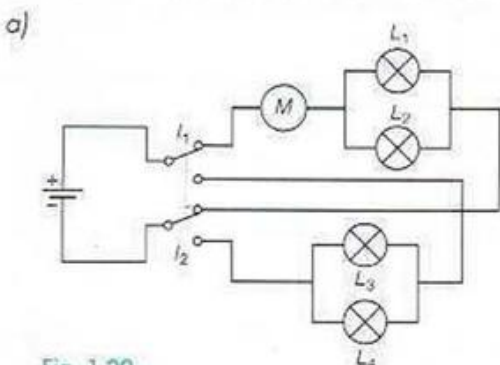


Fig. 1.20.

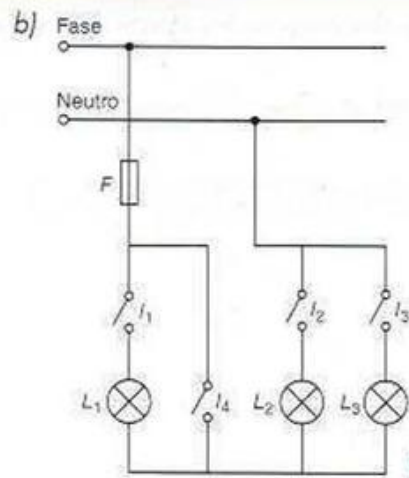


Fig. 1.21.

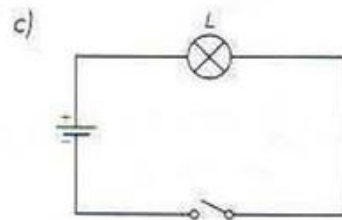


Fig. 1.22.

7. Realiza el esquema eléctrico de los circuitos mostrados en las siguientes figuras:

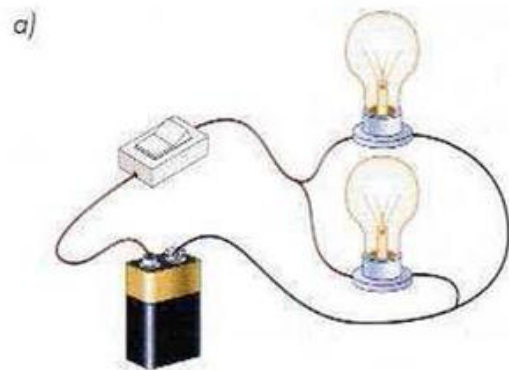


Fig. 1.23.

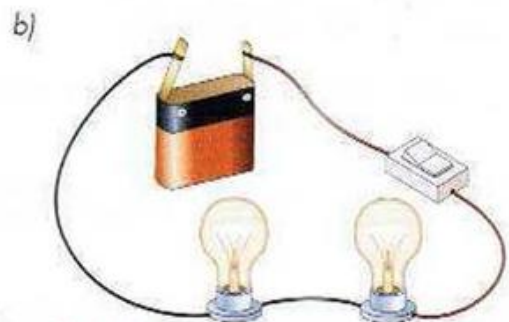
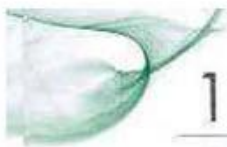


Fig. 1.24.



Comprueba tu aprendizaje

Identificar las principales magnitudes eléctricas y sus unidades de medida

8. Pasa las siguientes unidades al Sistema Internacional:

- a) 12 mA.
- b) 22 μ A.
- c) 40 kV.
- d) 5 mV.
- e) 7 mW.
- f) $12 \cdot 10^{-3}$ mA.
- g) $21 \cdot 10^{-6}$ μ A. *0,000021*
- h) $2 \cdot 10^3$ kV.
- i) $12 \cdot 10^{-3}$ mW.
- j) $21 \cdot 10^{-6}$ mA. *0,000021*

9. Explica cómo se hace el paso de una cantidad dada en mV a la cantidad equivalente en kV.

10. Haz una lista con las magnitudes de medida, dadas en el Sistema Internacional, de los siguientes parámetros:

- a) Tensión.
- b) Intensidad de la corriente.
- c) Tiempo.
- d) Carga eléctrica.
- e) Cantidad de calor.
- f) Potencia.
- g) Energía eléctrica.

Realizar cálculos de las magnitudes eléctricas

- 11. En una habitación tenemos un calefactor cuya resistencia está conectada a una tensión de 220 V. Esta resistencia consume 8 mA durante 5 horas. Calcula el calor que produce la resistencia.
- 12. Calcula la potencia de un circuito que tiene una tensión de 12 V y una intensidad de 2 A.
- 13. ¿Qué cantidad de energía producirá una lámpara eléctrica de 200 mW en 3 horas? ¿Qué calor produce?
- 14. Un calefactor eléctrico conectado a 220 V de resistencia 40 Ω , ¿qué potencia consume?

15. La resistencia eléctrica de una estufa tiene un valor de 0,098 k Ω y está conectada a una tensión de 220 V. ¿Cuánto tiempo tiene que estar conectada la estufa para calentar una habitación que necesite 12000 calorías?

16. Calcula el coste de la energía consumida en un mes, suponiendo 2 horas de funcionamiento y que la instalación está compuesta por 300 focos, conteniendo cada uno dos lámparas de 2000 W. El precio del kWh es 0,09 € (más 16% de IVA).

17. Si las lámparas del apartado anterior están conectadas a una tensión de 230 V, ¿cuál será la intensidad que circula por cada una de ellas?

18. Calcula la energía absorbida por un motor, en 2 horas de funcionamiento, si a 230 V consume 6 A. Expresa el resultado en J y kWh.

19. Sabemos que una instalación ha consumido 18 kWh en 40 minutos a una tensión de 125 V, ¿cuál ha sido la intensidad absorbida?

20. Un receptor conectado a 750 V, por el que circula una intensidad de 5 A, ha consumido 10000 J. ¿Cuánto tiempo habrá invertido en el proceso?

21. Un calentador eléctrico de agua, de 1,5 kW, funciona a 230 V. Calcula:

- a) La intensidad que circula a través de él.
- b) La energía consumida en un día de funcionamiento.

22. Calcula la carga eléctrica en un circuito en el que fluye una intensidad de 24 mA en un tiempo de 1 hora.

23. Calcula la intensidad en un circuito de carga eléctrica que produce 45 culombios en un tiempo de 43 s.

24. Dado el siguiente circuito, calcula la carga eléctrica que circula en un tiempo de 3 ms.

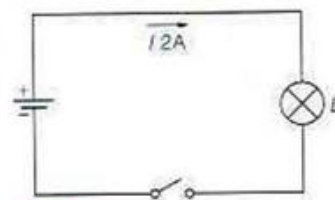


Fig. 1.25.

1. Resistores

Importante

Un concepto importante a la hora de manejar los componentes electrónicos es el de **tolerancia**. Esta indica la **desviación** que puede tener el **valor teórico** que nos está dando el fabricante. En algunas ocasiones la desviación puede ser bastante importante.

En el caso de los resistores, el fabricante, cuando nos da el marcado del resistor, nos está indicando que el valor real de su resistencia se encontrará dentro del margen que resulta de la siguiente operación: el valor de la R nominal \pm el valor determinado por la tolerancia. Esta tolerancia siempre es un **porcentaje** sobre el valor teórico de la resistencia.

Los **resistores** son componentes pasivos diseñados para presentar un determinado valor de resistencia eléctrica.

Se utilizan con mucha frecuencia en los equipos electrónicos y sirven para:

- Limitar la intensidad en determinados puntos de un circuito.
- Proteger otros componentes del equipo.
- Polarizar componentes como, por ejemplo, transistores (es decir, hacer que funcionen correctamente).

Su valor nominal se da en **ohmios** (Ω), que es la unidad de medida de la resistencia.

Antes de analizar cómo podemos identificar los resistores, vamos a ver cuáles son los **parámetros** fundamentales que debemos tener en cuenta cuando vayamos a elegir un componente. Así, tendremos:

- **Resistencia nominal:** es el valor de la resistencia eléctrica del componente (en Ω).
- **Potencia máxima:** es la máxima potencia que puede soportar el resistor sin estropearse.
- **Tolerancia:** es la desviación (o margen de variación) que puede tener el valor nominal de la resistencia, y se debe al propio proceso de fabricación.

1.1. Clasificación de los resistores

Podemos clasificar los resistores en **tres grandes grupos**:

- **Resistores fijos:** son los que presentan un valor óhmico que no podemos modificar.
- **Resistores variables:** son los que presentan un valor óhmico que podemos variar nosotros mismos, modificando la posición de un **contacto deslizante**.
- **Resistores especiales:** son los que varían su valor óhmico en función de la estimulación que reciben de un factor externo (**luz, temperatura, etc.**).

Los **resistores fijos** pueden ser divididos, a su vez, en dos grandes grupos:

- **Bobinados:** están fabricados con hilos metálicos bobinados sobre núcleos cerámicos (Fig. 2.1). Se suelen utilizar aleaciones de níquel. Dentro de estos resistores tenemos también dos subgrupos:
 - Resistores bobinados **de potencia:** son robustos y se utilizan en circuitos de alimentación, como divisores de tensión. Están formados por un soporte de porcelana o aluminio aglomerado sobre el que se devana el hilo resistivo. La protección la aporta el proceso final de cementado o vitrificado externo (Fig. 2.2).
 - Resistores bobinados **de precisión:** su estabilidad es muy elevada y presentan una tensión de ruido poco relevante. El soporte, cerámico o de material plástico (baquelita), posee gargantas para alojar el hilo resistivo (Fig. 2.3).



Fig. 2.1. Resistores bobinados.



Fig. 2.2. Resistor bobinado de potencia.

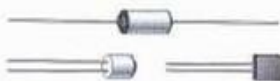


Fig. 2.3. Resistores bobinados de precisión.

- **No bobinados:** en estos resistores el material resistivo se integra en el cuerpo del componente. Están previstos para disipar potencias de hasta 2 W. Son más pequeños y económicos que los bobinados y el material resistivo suele ser el carbón (Fig. 2.4) o una película metálica.



Fig. 2.4. Resistor fijo de película de carbón (no bobinado).

Los **símbolos** que más se utilizan en los esquemas eléctricos para los resistores fijos son los que se muestran en la Figura 2.5:



Fig. 2.5. Símbolos más comunes para los resistores fijos.

Los **resistores variables** son aquellos cuyo valor óhmico puede modificarse a voluntad. Para ello disponen de un **cursor** metálico que se desliza sobre el cuerpo del componente, de tal forma que la resistencia eléctrica entre el cursor y uno de los extremos del resistor dependerá de dónde esté situado dicho cursor. En esta categoría podemos distinguir los siguientes tipos:

- **Resistencias ajustables:** tienen tres terminales, dos que fijan el valor nominal de la resistencia y una común, de manera que puede variarse la resistencia (hasta su valor máximo) entre el común y cualquiera de los dos extremos. Están pensados para no cambiar su valor una vez se ha realizado el ajuste del valor de la R (Fig. 2.6).
- **Resistencias variables (potenciómetros):** su estructura es semejante a la de los resistores ajustables, aunque la disipación de potencia es considerablemente superior. Están pensadas para variar su valor frecuentemente (Fig. 2.7).



Fig. 2.6. Diferentes potenciómetros utilizados en los equipos electrónicos.

Utilizamos el destornillador para hacer el ajuste.



Fig. 2.7. Resistencias ajustables.

Al igual que en los casos anteriores, cuando colocamos un resistor variable en un esquema deberíamos utilizar su **símbolo**. Los más utilizados son los siguientes (Fig. 2.8):



Fig. 2.8. Símbolos más utilizados para los resistores variables.

¿Sabías que...?

Los **resistores** son componentes muy utilizados en los equipos electrónicos. Algunos ejemplos de su uso son:

- Los **resistores fijos** se utilizan en los circuitos para limitar la corriente que circula hacia un determinado componente. Un ejemplo típico es el de los circuitos de polarización de los transistores.
- Los **resistores variables** son utilizados en los mandos de volumen de los equipos de sonido.
- Los **resistores especiales** tienen aplicaciones muy diversas: control de temperaturas, activación de luces, etc.



Fig. 2.11. VDR.



Fig. 2.12. LDR.

Los **resistores especiales** modifican su valor óhmico en función de algún factor externo: temperatura, tensión aplicada, luminosidad incidente, etc. Los principales **tipos** son:

- **Termistores:** los termistores son resistores que varían con la temperatura. Podemos encontrar dos tipos:
 - **NTC (Negative Thermistor Coefficient):** posee un coeficiente de temperatura negativo. La resistencia eléctrica del componente disminuye al aumentar la temperatura (Fig. 2.9).
 - **PTC (Positive Thermistor Coefficient):** en este caso el coeficiente de temperatura es positivo. La resistencia eléctrica del componente aumenta al incrementarse la temperatura (Fig. 2.10).



Fig. 2.9. NTC.



Fig. 2.10. PTC.

- **Varistores o VDR (Voltage Depended Resistor):** son resistores cuyo valor óhmico varía con la tensión. Cuanto mayor es la tensión aplicada en sus extremos, menor es el valor de la resistencia del componente (Fig. 2.11).
- **Fotorresistores o LDR (Light Depended Resistor):** el valor óhmico del componente disminuye al aumentar la intensidad de la luz que incide sobre él (Fig. 2.12).

Los **símbolos** que debemos utilizar para representar cada uno de estos componentes se presentan en la Tabla 2.1.

	Termistor (PTC). Coeficiente de temperatura positivo.		Termistor.
	LDR* - Fotorresistor. Resistencia dependiente de la luz.		Varistor (VDR). Resistencia dependiente de la tensión.
	LDR - Fotorresistor. Resistencia dependiente de la luz.		Varistor (VDR). Resistencia dependiente de la tensión.
	LDR - Fotorresistor. Resistencia dependiente de la luz.		Varistor (VDR). Resistencia dependiente de la tensión.

Tabla 2.1. Algunos símbolos utilizados en los resistores especiales.

1.2. Identificación de los resistores

Existen diferentes formas para asignar los valores de los parámetros que hemos estudiado en el apartado anterior. En el caso de los resistores lineales fijos, lo habitual es utilizar el **código de colores** para indicar el valor de la **resistencia nominal** y la **tolerancia**. La potencia máxima que aguanta el resistor viene determinada por el tamaño físico del mismo. Todos estos valores están estandarizados, como veremos más adelante, por lo que cuando necesitemos utilizar un resistor tendremos que aproximar el valor teórico calculado a uno que exista en el mercado.

El **código de colores** consiste en un marcado por franjas sobre el cuerpo del resistor. Puede ser de 4 o 5 bandas de color, y cada una de ellas tendrá un significado (Fig. 2.13).

Ten cuidado

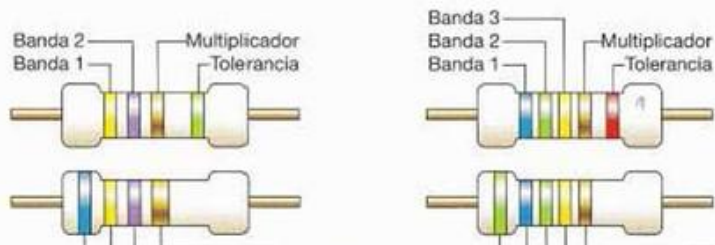
Cuando en un resistor lineal fijo marcado con el código de colores no exista ninguna franja de tolerancia, el componente tendrá un margen de desviación de $\pm 20\%$.

Truco

Entre la franja de tolerancia y las cifras significativas existe una separación mayor. Esto nos puede ayudar a la hora de identificar el orden de los colores marcados sobre el resistor.

Truco

Una forma fácil de recordar el **multiplicador** es la siguiente: se añaden tantos ceros detrás de los dos primeros números como indique el número del color de la franja.



Color	Cifras significativas	Multiplicador	Tolerancia
Negro	0	1	
Marrón	1	10	
Rojo	2	100	
Naranja	3	1000	
Amarillo	4	10000	
Verde	5	100000	
Azul	6	1000000	
Violeta	7		
Gris	8		
Blanco	9		
Plata			$\pm 10\%$
Oro		0,1	$\pm 5\%$

Color	Cifras significativas	Multiplicador	Tolerancia
Negro	0	1	$\pm 1\%$
Marrón	1	10	$\pm 2\%$
Rojo	2	100	
Naranja	3	1000	
Amarillo	4	10000	
Verde	5	100000	$\pm 0,5\%$
Azul	6		
Violeta	7		
Gris	8		
Blanco	9		
Plata		0,01	10%
Oro		0,1	$\pm 5\%$

Fig. 2.13. Código de colores para los resistores lineales fijos.

Como podemos ver en la Figura 2.13, las dos primeras franjas son los valores significativos de la resistencia nominal (las tres primeras en el caso de que se trate de un resistor de cinco bandas), la tercera es la potencia de 10, por la que hay que multiplicar el valor anterior, y la última la tolerancia del resistor.

Caso práctico 1: Identificación del valor de dos resistores lineales fijos

Calcula el valor nominal de la resistencia, así como los valores máximo y mínimo que puede tener el resistor en cada uno de los siguientes ejemplos:



Fig. 2.14.



Fig. 2.15.

(Continúa)

Caso práctico 1: Identificación del valor de dos resistores lineales fijos

(Continuación)

Solución:

Como vemos, tenemos dos resistores con diferente número de bandas. En el primer caso (cuatro bandas), la forma de obtener el valor será la siguiente:

Los dos colores significativos son rojos, luego el valor nominal será de 22. El multiplicador es negro: si miramos en la tabla de los códigos, cuando el negro está como multiplicador no se añade ningún cero al valor nominal, por lo que el valor de la resistencia será 22 Ω . Para determinar los valores máximo y mínimo del intervalo en el que se puede encontrar la resistencia tenemos que fijarnos en la franja de la tolerancia. En este caso el color es el oro, luego la tolerancia será del 5% sobre el valor nominal.

Así, tendremos: 5% de $22\ \Omega = (5 \cdot 22) / 100 = 1,1\ \Omega$

El valor mínimo de la resistencia que puede tener el resistor se obtiene restando el porcentaje obtenido al valor nominal, y el máximo, sumándose al valor nominal. Así, en nuestro ejemplo, tendremos:

$$R_{\min.} = 22 - 1,1 = 20,9\ \Omega$$

$$R_{\max.} = 22 + 1,1 = 23,1\ \Omega$$

Por tanto, la resistencia de un resistor que compremos con ese código puede tener cualquier valor de los comprendidos entre $R_{\min.}$ y $R_{\max.}$.

En el segundo caso, al tener cinco bandas, el valor significativo viene marcado por las tres primeras: rojo, rojo y negro, por lo que su valor será 220. El multiplicador es una banda de color marrón (tenemos que añadir un 0 al valor anterior), de modo que la resistencia nominal será de 2200 Ω . La tolerancia en este caso es de color marrón, lo que nos indica que es de un 1%. Volvemos a realizar los cálculos que hemos hecho en el primer ejemplo:

$$R_{\min.} = 2200 - 22 = 2178\ \Omega$$

$$20,9\ \Omega < R_{\text{real}} \text{ del resistor} < 23,1\ \Omega$$

$$R_{\max.} = 2200 + 22 = 2222\ \Omega$$

$$2178\ \Omega < R_{\text{real}} \text{ del resistor} < 2222\ \Omega$$

Actividades

- Coloca en una tabla el código de colores y los valores máximo y mínimo de los resistores cuyo valor nominal y tolerancia se indican a continuación:
 - $34\ \text{k}\Omega/5\%$.
 - $820\ \text{M}\Omega/20\%$.
 - $100\ \Omega/10\%$.
 - $340\ \Omega/2\%$.
- Indica cuál es el valor de los resistores marcados con los siguientes colores:
 - Marrón, rojo, rojo, oro.
 - Gris, azul, amarillo, plata.

El **tamaño** del resistor generalmente nos indica la **potencia máxima** a la que este puede trabajar, y depende también de la fabricación del mismo. En la Figura 2.16 podemos ver un ejemplo de cómo varían los tamaños en los resistores aglomerados:

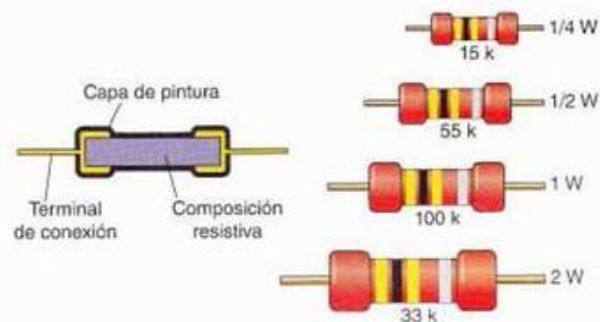


Fig. 2.16. Resistores aglomerados de diferentes potencias.

Existen otras dos series: la **E96**, con una tolerancia de $\pm 1\%$, utilizada en los **resistores de precisión**, y la **E192**, con una tolerancia de $\pm 0,5\%$.

En los **resistores bobinados** (Fig. 2.17) se utiliza el **marcado alfanumérico**, de tal forma que: $R = \Omega = 1$; $k = 10^3$; $M = 10^6$.

La posición de la letra sirve de coma decimal para calcular el valor del componente.



Fig. 2.17. Resistores bobinados con marcado alfanumérico.

Caso práctico 2: Identificación de los resistores según su código de marcado

Completa en la siguiente tabla el valor de la resistencia que tendría cada uno de los resistores en función de su código.

Solución:

Código del resistor	Valor en ohmios (Ω)
R22	0,22
2R4	2,4
23k	23 000
4k6	4 600
k20	200

Hay que tener en cuenta que la letra actúa como coma decimal, por tanto, si aparece en primer lugar, el valor será 0, y el número correspondiente que las acompañe en el código. Aunque no es habitual dar un valor como el último de la tabla, k20, lo hemos puesto a modo de ejemplo. En este caso el cálculo se haría así:

$$0,20 \times 1\,000 = 200 \, \Omega$$

Recordemos que la letra k es el factor que indica que el resultado se multiplica por 1 000.

En algunos casos, sobre el cuerpo del resistor viene impreso el valor de la potencia máxima del mismo, de esta forma:

$$1 \, k2 \, 2 \, W$$

(Resistor de 1 200 Ω y 2 vatios de potencia nominal)

Actividades

- Utilizando la notación alfanumérica, indica el código que correspondería a cada uno de los siguientes resistores, con estos valores nominales de resistencia:
a) 10 000 Ω b) 1,4 Ω c) 0,56 Ω d) 2 000 000 Ω
- Además del código de colores, hay otras formas de indicar la tolerancia del componente. Explica cómo se realiza este marcado utilizando el código de letras.

1.3. Medida de la resistencia de un resistor

Aunque podemos obtener el valor del resistor gracias a su código de marcado, tenemos que conocer cómo podemos medir su valor de resistencia para poder comprobar si funciona correctamente, o si está dentro de los márgenes que nos ha dado el fabricante al vendernos el componente.

El aparato que se utiliza para medir los resistores es el **óhmetro**. Generalmente, utilizamos un **polímetro** o **multímetro**, que nos permitirá realizar diferentes medidas según las seleccionemos en el conmutador.

Caso práctico 3: Medida de los resistores con un óhmetro

Vamos a ver cuál es el proceso que tenemos que seguir para poder medir la resistencia que tiene cualquier resistor mediante un polímetro funcionando en la posición de óhmetro.

Las consideraciones a tener en cuenta para realizar la medida son las siguientes:

- Asegúrate de que el resistor que vas a medir no está conectado a ninguna fuente de tensión.

- Si se encuentra soldado a una placa de circuito impreso, deberás desoldar uno de los terminales para que la medida que realices sea correcta (si no lo haces, no estarás midiendo la resistencia del componente, sino la de todos los elementos que estén conectados al resistor).

Solución:

Vamos a utilizar un polímetro digital (Fig. 2.18) para comprobar el resistor. La lectura de la resistencia la obtendremos directamente sobre la pantalla del polímetro.



Fig. 2.18.

La forma de tomar la medida de la resistencia es la que mostramos a continuación en la Figura 2.19:



Fig. 2.19.

Conviene tomar el valor de la medida en la escala más cercana, por encima: por ejemplo, si el resistor es de 1k2, la medida la debemos hacer en la escala de 2k. Así el margen de error del aparato será menor.

El **polímetro** necesita una **pila** de 9 V para tomar las medidas de las resistencias. Asegúrate de que está colocada y tiene carga suficiente. Si en la pantalla aparece el indicador de *Low Bat*, deberás cambiarla para que no tengas problemas con las medidas.

Si, cuando tomes la medida, en la pantalla se queda parpadeando un **1**, quiere decir que estás **fuera de escala**, que es demasiado pequeña para la medición que estás llevando a cabo, y por tanto debes cambiar a una escala mayor para que puedas tomar la lectura correcta.



¿Sabías que...?

La **resistividad eléctrica** de la materia aparece en las fórmulas como ρ . Este es un valor característico de cada material y no puede ser modificado. Además, da idea de lo buen o mal conductor que es dicho material (cuanto más pequeño sea ρ mejor conductor será el material).

Los valores de resistividad para los conductores más empleados son:

Cobre (Cu):

$$\rho = 0,017 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$$

Aluminio (Al):

$$\rho = 0,029 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$$



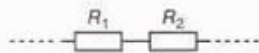
Importante

La **conductancia** se mide en **siemens** ($1/\Omega$).

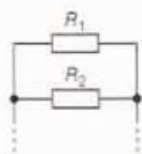


Recuerda

Conexión en serie: dos componentes se encuentran conectados en serie cuando solo tienen en común un terminal:



Conexión en paralelo: dos componentes están conectados en paralelo si tienen en común sus dos terminales:



1.4. La resistencia, cualidad de los resistores

Los materiales se pueden clasificar en función de su comportamiento ante la electricidad. De esta forma se puede decir que los **materiales** considerados **aislantes** o **dieléctricos** se oponen fuertemente al paso de la electricidad, es decir, que **no dejan paso a la corriente eléctrica**, y los **conductores** son los que presentan una **resistencia muy baja**.

Por otra parte, la resistencia eléctrica de un material conductor depende también de la longitud y del área de la sección del mismo. La resistencia de un material es directamente proporcional a su longitud, e inversamente proporcional al área. Se puede ver en esta fórmula:

$$R = \rho \frac{L}{S}$$

Donde R es la **resistencia**, L es la **longitud**, S es la **sección** y ρ es la **resistividad**, que es un valor propio de cada conductor.

La unidad de medida de la resistencia (R) es el **ohmio** (Ω).

El **resistor** es el componente electrónico diseñado para dar un valor determinado de resistencia.

Se puede definir un concepto inverso al de resistencia. Si resistencia es la oposición que ofrece un cuerpo al paso de la corriente eléctrica, la **conductancia** será la mayor o menor facilidad que presenta un cuerpo para ser recorrido por la corriente eléctrica. Por tanto, la fórmula con que podemos calcularla será:

$$\text{Conductancia } (Y) = \frac{1}{\text{Resistencia } (R)}$$

1.5. Asociación de resistencias

Las resistencias se pueden asociar de diferentes maneras: **en serie**, **en paralelo** o combinando las dos anteriores, lo que llamamos asociación **mixta**.

A. Asociación en serie

Cuando varias resistencias se conectan **en serie**, cada una con su valor óhmico, la resistencia total es la suma de todas esas resistencias.

Este tipo de asociación tiene el siguiente aspecto (Fig. 2.20):

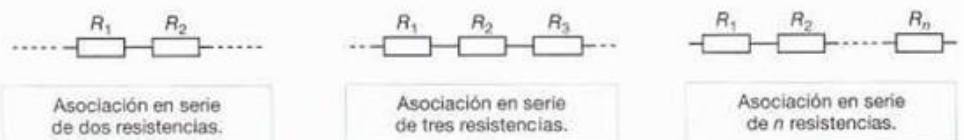


Fig. 2.20. Asociación en serie de varias resistencias.

Lo más característico de este tipo de asociación es que **la corriente eléctrica que circula por cada resistencia es la misma para todas ellas**. Por ello, la resistencia total (**magnitud física**) del circuito ha de ser la suma del valor óhmico de cada una de las resistencias (**componente**) que forman la asociación, ya que la corriente encontrará la oposición de la primera resistencia, a continuación la de la segunda, etc. Por tanto, tendremos que la **resistencia total**, R_t , de este tipo de asociación será:

$$R_t = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

Es decir, la oposición total del circuito al paso de la corriente eléctrica será la suma de las oposiciones parciales que presenta cada resistencia.

B. Asociación en paralelo

La disposición de resistencias conectadas en paralelo es la siguiente:

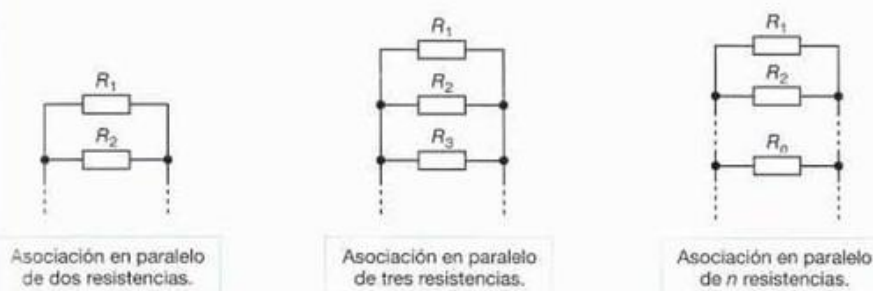


Fig. 2.21. Ejemplos de resistencias asociadas en paralelo.

La asociación de resistencias en paralelo se caracteriza porque la corriente puede circular en ella por varios caminos, tantos como resistencias tenga la asociación. A estos caminos se los denomina **ramas del circuito**.

Hemos de razonar pensando en la conductancia asociada a cada resistencia. La corriente eléctrica tendrá un camino con conductancia Y_1 (facilidad para atravesar a R_1), un camino con conductancia Y_2 , etc. Es fácil ver que la conductancia total de la asociación de resistencias es la suma de las conductancias, que es la inversa de las resistencias: $Y_t = Y_1 + Y_2 + \dots + Y_n$.

o lo que es lo mismo:

$$\frac{1}{R_t} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

Fórmula general para n resistencias

Esto último se suele expresar de la siguiente forma:

$$R_t = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}}$$

Vocabulario

Valor óhmico. Es el valor que tiene una resistencia. Se mide en ohmios (Ω).

Web

En muchas páginas web hay aplicaciones en JAVA o en FLASH que te pueden ayudar a realizar pruebas, entender conceptos, etc.

Para practicar con las asociaciones de resistencias, entra en <http://lectureonline.cl.msu.edu/~mmp/kap20/> y selecciona el archivo *RR506a.htm*. Aquí tienes un simulador que te permitirá realizar diferentes configuraciones y calcular la resistencia equivalente.

Truco

En el caso de que solo tengamos dos resistencias asociadas en paralelo, la fórmula se puede poner como:

$$R_t = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

Es decir, es el producto de los dos, partido por la suma (para recordarlo mejor).

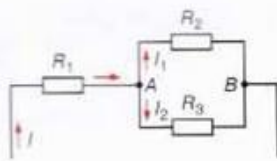


Fig. 2.22. Asociación mixta.

C. Asociación mixta

En la práctica, nos encontraremos asociaciones de resistencias que serán una mezcla de los dos tipos básicos que hemos visto hasta ahora. En estos casos, para poder calcular la resistencia total tendremos que aplicar las reglas de cálculo de cada asociación básica. Un ejemplo de asociación mixta es el de la Figura 2.22.



Caso práctico 4: Comprobación de una asociación de resistencias mixta

Una caja de altavoces que vamos a conectar a un amplificador de sonido presenta una configuración como la de la Figura 2.23:

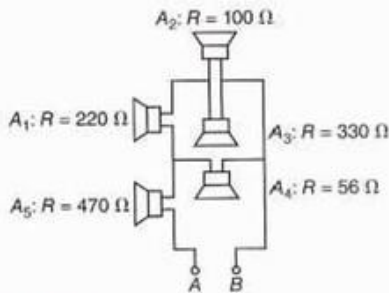


Fig. 2.23.

Para calcular la **potencia** que va a entregar el amplificador necesitamos saber la **resistencia equivalente** del conjunto.

Calcula el valor de esta resistencia aplicando los conceptos que hemos visto en los apartados anteriores.

Solución:

Primero, vamos a comprobar de forma práctica cuál es el valor de la **resistencia total** del circuito. Para ello, montamos sobre una placa BOARD el circuito equivalente del conjunto de altavoces, y después hacemos los cálculos y comprobamos que la medida obtenida es correcta y coincide con el valor teórico. El circuito equivalente es el de la Figura 2.24 y, sobre ese esquema, realizaremos después todas las comprobaciones.

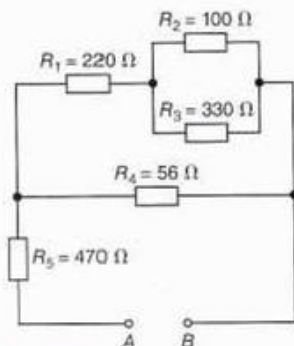


Fig. 2.24.

1. Colocamos las **puntas de prueba** en los extremos del circuito, con el polímetro en la posición de óhmetro, ajustamos la **escala**, y realizamos la **lectura**. El valor obtenido es de 525 Ω (Fig. 2.25).

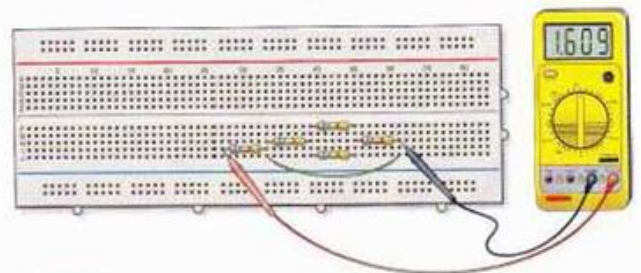


Fig. 2.25.

2. Calculamos ahora, a partir de las fórmulas, la resistencia equivalente (Fig. 2.26):

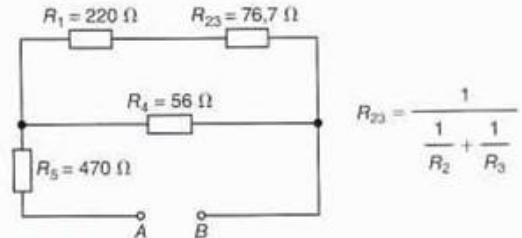


Fig. 2.26.

Este primer valor es la resolución de R_2 en paralelo con R_3 .

3. Resolvemos la rama en serie de R_1, R_2, R_3 (Fig. 2.27):

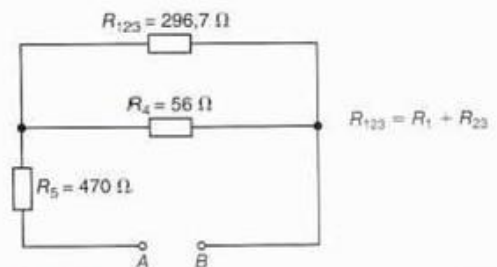


Fig. 2.27.

(Continúa)

Caso práctico 4: Comprobación de una asociación de resistencias mixta

(Continuación)

4. Calculamos el equivalente de las resistencias R_1 a R_4 (Fig. 2.28):

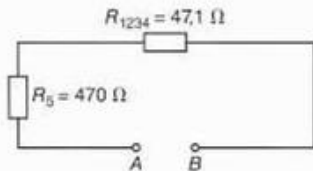


Fig. 2.28.

$$R_{1234} = \frac{1}{\frac{1}{R_{123}} + \frac{1}{R_4}}$$

5. Realizamos la asociación final (Fig. 2.29):

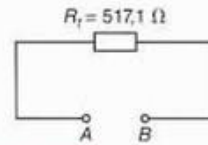


Fig. 2.29.

$$R_t = R_{1234} + R_5$$

El resultado es: $R_t = 517,1 \Omega$. La diferencia del valor teórico con el medido se debe a las tolerancias de los resistores.

Caso práctico 5: Asociación mixta de resistencias

Tenemos que conectar a un **generador** una regleta de focos como la que se muestra en la Figura 2.30. La **resistencia** de cada uno de los focos es: $R_1 = 150 \Omega$, $R_2 = 200 \Omega$, $R_3 = 100 \Omega$. Calcula la **resistencia equivalente** del conjunto para poder elegir el generador adecuado.

Solución:

Las resistencias R_2 y R_3 están en serie y su equivalente es:

$$R_{EQ1} = R_1 + R_2 = 200 + 100 = 300 \Omega$$

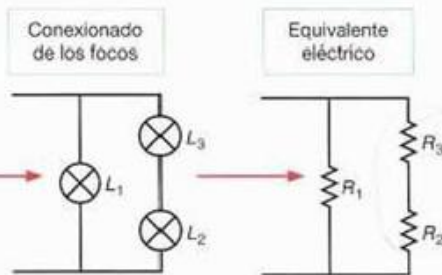
El equivalente R_{EQ1} está en paralelo con la resistencia R_1 , por lo que la **resistencia equivalente total** es:

$$\frac{1}{R_{EQ}} = \frac{1}{R_{EQ1}} + \frac{1}{R_1} = \frac{1}{300 \Omega} + \frac{1}{150 \Omega} = 0,01 \Omega^{-1}$$

$$R_{EQ} = \frac{1}{0,01 \Omega^{-1}} = 1000 \Omega$$



Fig. 2.30.



Actividades

5. Sobre el esquema de la siguiente figura identifica las resistencias que están en serie y las que están en paralelo. Dibuja esquemas con las resistencias equivalentes de cada una de las partes.

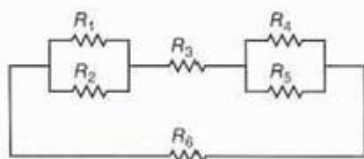


Fig. 2.31.

6. Calcula la resistencia equivalente del circuito de la siguiente figura, teniendo en cuenta que todas las R valen $2k\Omega$. Monta el circuito en un simulador y comprueba el valor que te da.

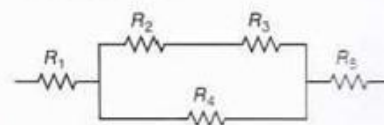


Fig. 2.32.

2. Condensadores

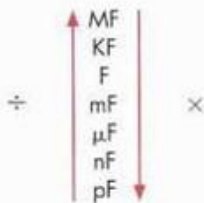


Unidades de medida

Aunque la unidad básica de medida del **condensador** es el faradio (F), en la práctica se suele indicar la capacidad de los condensadores en:

- Microfaradios (μF) = 10^{-6}
- Nanofaradios (nF) = 10^{-9}
- Picofaradios (pF) = 10^{-12}

Recuerda que para pasar de una unidad a otra que sea mayor que ella se tiene que hacer una operación de división y, para pasar a otra que sea menor, una multiplicación, según la siguiente escala:



Cada lugar que nos desplazamos arriba o abajo de esta escala supone multiplicar o dividir por mil (1000) tantas veces como lugares nos movamos.



¿Sabías que...?

El **vidrio** se utiliza en la fabricación de **condensadores cilíndricos**, como **dieléctrico**. En la figura puedes ver un ejemplo.

Constitución interna de un condensador cilíndrico:



Se suelen utilizar en aplicaciones profesionales de alta frecuencia.

Los **condensadores** son componentes electrónicos pasivos cuya misión es almacenar energía.

Su utilización es muy variada en los equipos electrónicos, y los podemos encontrar dentro de circuitos como filtros, circuitos para sintonizar diferentes frecuencias, circuito de protección contra sobrecargas, etc.

Su parámetro fundamental es la **capacidad**, y se mide en **faradios** (F).

Cuando tengamos que elegir un condensador para colocarlo en un circuito, debemos tener en cuenta alguna de sus principales **características** para realizar la elección correcta. Entre ellas podemos destacar:

- **Tensión máxima:** es el valor máximo de tensión que podemos colocar entre los terminales del condensador sin que se estropee.
- **Polaridad:** algunos condensadores tienen un polo positivo y otro negativo, y debemos respetarse su orden a la hora de conectarlos.

2.1. Clasificación de los condensadores

En las siguientes tablas (2.4 y 2.5) podemos ver los principales tipos de condensadores:

Dieléctrico	Aspecto	Características	Aplicaciones
Papel: <ul style="list-style-type: none"> • Impregnado. • Metalizado. • Subminiatura. 		Capacidad: De 4,7 nF a 4,7 μF . Tensión: Desde 63 V a 630 V. 100-10000 V. Tolerancia: $\pm 10\% \pm 20\%$.	Papel impregnado: <ul style="list-style-type: none"> • Electrónica profesional. • Iluminación fluorescente. • Regulación de tensión. Metalizado: Audiofrecuencia. Subminiatura: Circuitos de TV.
Plástico: <ul style="list-style-type: none"> • Poliestireno (Styroflex®). • Poliéster (Mylar®). 		Capacidad: Depende del tipo de plástico utilizado, va desde 1 nF hasta 100 μF . Tensión: Desde 25 V a 12500 V. Tolerancia: $\pm 5\% \pm 10\% \pm 20\%$.	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicaciones de CC y CA con poca corriente y frecuencia relativamente baja. • Circuitos <i>Sample and Hold</i> (captura de datos). • Televisores. • Fuentes conmutadas de alimentación.

Tabla 2.4. Condensadores de capacidad fija. (Continúa)




Dieléctrico	Aspecto	Características	Aplicaciones
Cerámicos: <ul style="list-style-type: none"> • Grupo 1 (capacidad estable con la temperatura). • Grupo 2 (capacidad dependiente de la temperatura). 		Capacidad: Grupo 1: 1 pF-1nF. Grupo 2: 470 pF-4700 nF. Tensión: Desde 3 V a 10000 V. Tolerancia: Desde $\pm 5\%$ hasta $\pm 20\%$.	<ul style="list-style-type: none"> • Buenos aislantes térmicos y eléctricos. • Circuitos osciladores de frecuencias medias y altas.
Mica.		Capacidad: Desde 2 pF a 220 nF. Tensión: Desde 106 V a 5000 V. Tolerancia: De $\pm 0,5\%$ a 10%.	<ul style="list-style-type: none"> • Circuitos de alta frecuencia.
Electrolíticos: <ul style="list-style-type: none"> • Aluminio. • Tántalo. 		Capacidad: Desde 100 nF hasta 390 μ F. Tensión: De 4 V a 450 V. Tolerancia: De $\pm 20\%$ a +50%.	<ul style="list-style-type: none"> • Filtros de baja frecuencia. • Almacenamiento de energía. Aplanamiento de ondulaciones. • Acoplamiento de señales.

Tabla 2.4. Condensadores de capacidad fija. (Continuación)

Dieléctrico	Aspecto	Características	Aplicaciones
Variables: <ul style="list-style-type: none"> • Aire. 		Especificadas sobre el cuerpo del condensador.	<ul style="list-style-type: none"> • Circuitos de sintonía AM y FM. • Aplicaciones de radiofrecuencia.
Ajustables (Trimmers): <ul style="list-style-type: none"> • Cerámicos. • Polipropileno. • Mica. 		Especificadas sobre el cuerpo del condensador.	Fijar una capacidad una vez realizado el ajuste y, generalmente, dejarla fija en ese momento.

Tabla 2.5. Condensadores de capacidad variable

Ten cuidado

Los condensadores electrolíticos deben conectarse respetando su polaridad, que viene indicada en sus terminales, pues de lo contrario se destruiría.

Web

A la hora de seleccionar un componente es imprescindible consultar las **hojas de características** que nos dé el fabricante.

Actualmente, existen tiendas de componentes electrónicos de venta en Internet, que nos proporcionan acceso a esa información.

En las siguientes direcciones web puedes consultar esas hojas de fabricación:

<http://es.rs-online.com/web/>

<http://es.farnell.com/>

Otras direcciones de tiendas de componentes electrónicos que tienen venta en Internet son las siguientes:

<http://www.telkron.es/>

<http://www.electan.com/>

En los esquemas eléctricos deberemos representar el condensador con su símbolo normalizado. Algunos de los más utilizados son los que se muestran en la Tabla 2.6:

	Condensador variable Trimmer		Condensador ajustable		Condensador electrolítico		Condensador electrolítico		Condensador electrolítico múltiple
--	---------------------------------	--	-----------------------	--	---------------------------	--	---------------------------	--	------------------------------------

Tabla 2.6. Símbolos de los condensadores variables y electrolíticos.



Actividades

7. Busca en Internet para qué se suelen utilizar los condensadores cerámicos y electrolíticos. Pon algún ejemplo de aparatos que lleven este tipo de condensadores.
8. Investiga qué tipo de condensadores se utilizan en la fabricación de mandos sintonizadores de los aparatos de radio. Explica brevemente sus características.
9. La referencia «Wima MKS2 Metallized Polyester Capacitors» corresponde a una familia de condensadores de plástico. Consulta su hoja de características (en la página web <http://es.rs-online.com>) y contesta a las siguientes preguntas:
 - a) Nombre del fabricante.
 - b) Rango de capacidades que podemos tener con estos condensadores.
 - c) Voltaje máximo que aguantan (según modelo).
 - d) Dieléctrico que utilizan.
 - e) Rango de temperaturas en las que pueden funcionar sin problemas.
 - f) Color del cuerpo y del marcado de los valores sobre el mismo.
 - g) Valores de tolerancia sobre la capacidad nominal.

2.2. Identificación de los condensadores

En el caso de los condensadores nos encontramos con varias formas de marcado, en función de la capacidad y del tipo de material con el que están contruidos. Vamos analizar cada una de ellas.

A. Marcado por código de colores

Es similar al que se utiliza para los resistores, aunque sus bandas indican parámetros diferentes. Así, tendremos (Tabla 2.7 y Fig. 2.33):

Color	1.º y 2.º bandas	3.ª banda	Tolerancia		Tensión
	1.º y 2.º cifras significativas	Factor multiplicador	para C > 10 pF	para C < 10 pF	
Negro		· 1	± 20%	± 1 pF	
Marrón	1	· 10	± 1%	± 0,1 pF	100 V
Rojo	2	· 100	± 2%	± 0,25 pF	250 V
Naranja	3	· 10 ³			
Amarillo	4	· 10 ⁴			400 V
Verde	5	· 10 ⁵	± 5%	± 0,5 pF	
Azul	6	· 10 ⁶			630 V
Violeta	7				
Gris	8				
Blanco	9		± 10%		

Tabla 2.7. Código de colores utilizado en los condensadores.



Fig. 2.33. Marcado por código de colores. El valor obtenido de la resolución del código viene dado en picofaradios (10^{-12} F). En algunos casos el código viene marcado por las dos caras del condensador.

B. Marcado alfanumérico

En los condensadores de disco, la letra K indica que se trata de un condensador cerámico. Si el condensador no es de disco, esta letra indicará la tolerancia sobre la capacidad según la tabla que podemos ver a la derecha (Tabla 2.8).

El **formato típico** de este tipo de marcado es:

Valor + letra tolerancia + tensión nominal

Para el valor hay que tener en cuenta que:

- Si no lleva coma decimal ni unidad, viene dado en picofaradios (pF).
- Si lleva coma decimal, y no lleva unidad, viene dado en microfaradios (μF).
- Si lleva unidad (n, p, K = $K_p = n$), esta sirve también de coma decimal.

Letra	Tolerancia
«M»	$\pm 20\%$
«K»	$\pm 10\%$
«J»	$\pm 5\%$

Tabla 2.8. Marcado alfanumérico para la tolerancia.

Web

En Internet tienes calculadores de los componentes en función del código de colores. Algunos ejemplos se encuentran en las siguientes páginas:

<http://freewebs.com/hen85/electronica/>

<http://www.freedownloadmanager.org/es>

Esta última permite, además, descargar los programas al ordenador.

Caso práctico 6: Identificación de un condensador con código alfanumérico

Identifica el siguiente condensador (Fig. 2.34):



Fig. 2.34.

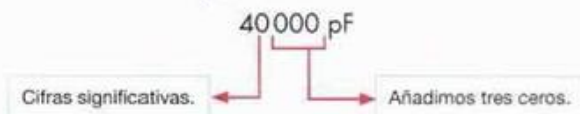
Solución:

El valor de la capacidad es 0,047. Como lleva coma decimal y no lleva unidad, significa que viene dada en microfaradios, por lo que en este caso:

- $C = 0,047 \mu\text{F}$ (es equivalente a 47 nF).
- J es la tolerancia, así que según la tabla, será $\pm 5\%$.
- La cifra 630 indica la tensión máxima que puede soportar el condensador sin estropearse, en este caso 630 V.

C. Código «101» de los condensadores

Se utiliza en condensadores **cerámicos**. En este código se imprimen **tres cifras**. Las dos primeras son cifras significativas, y la tercera indica el número de ceros que se le añaden a las otras dos. La **capacidad** viene dada en **picofaradios** (pF). Por ejemplo, si tenemos un condensador marcado con el código 403, el valor de la capacidad sería:



El valor se puede dar en cualquiera de los múltiplos de este parámetro, en este caso, por ejemplo, sería equivalente a 40 nF.

D. Condensadores electrolíticos

Los condensadores electrolíticos llevan marcado sobre su cuerpo el valor de la capacidad y la tensión nominal del mismo. Les dedicamos un apartado especial por el hecho de que algunos de ellos son condensadores con polaridad, y por tanto tienen un polo positivo y otro negativo. El polo negativo viene marcado sobre el cuerpo y mediante la longitud del terminal correspondiente (es más corto que el positivo). En la Figura 2.35 podemos ver un ejemplo:

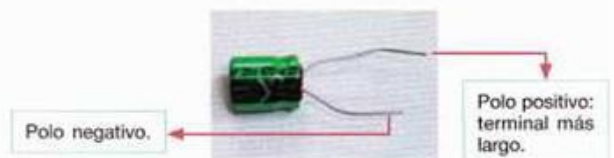


Figura 2.35. Identificación de un condensador electrolítico con polaridad. El valor de su capacidad (1 000 mF) y de su tensión nominal (10 V) vienen impresos en el cuerpo del mismo.

✚ Caso práctico 7: Ejemplos de identificación de diferentes condensadores

Vamos a identificar diferentes condensadores, según los distintos parámetros estudiados. Así:



Fig. 2.36.

a) Rojo – Rojo – Amarillo – Negro – Azul.

Según el código visto $22 \cdot 10000 = 220000 \text{ pF}$ (220 nF), con una tolerancia del 20% (franja negra) y una tensión nominal de 630 V.

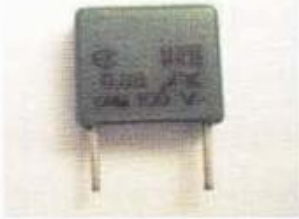


Fig. 2.37.

b) Capacidad 0,68 μF .

Tolerancia J = 5%.

Tensión nominal = 100 V.



Fig. 2.38.

c) Azul – Gris – Amarillo – Blanco – Rojo.

La capacidad será $68 \cdot 10000 = 680000 \text{ pF}$ (680 nF), con una tolerancia del 10% y una tensión nominal de 250 V.

🔧 Actividades

10. Identifica los siguientes condensadores, dando todos los valores de su código de marcado.

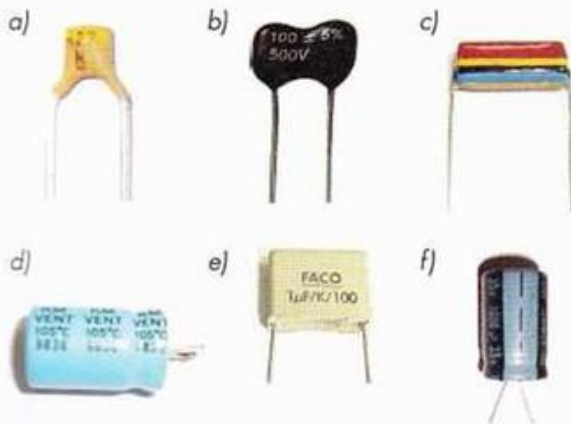


Fig. 2.39.

11. El esquema eléctrico que tienes a continuación corresponde a un emisor de sonido por FM.

Identifica sobre él los siguientes componentes:

- Un condensador variable.
- Un condensador electrolítico.

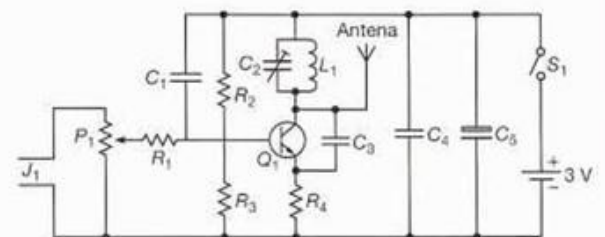


Fig. 2.40.

¿A qué componente corresponde el marcado con las letras P_1 ?

2.3. Fundamentos del funcionamiento de un condensador

Un **condensador** es un dispositivo que almacena energía eléctrica.

Está formado por un par de superficies conductoras separadas por un material dieléctrico (que se utiliza, en un condensador, para disminuir el campo eléctrico, ya que actúa como aislante) o por el vacío, y que sometidos a una diferencia de potencial (d.d.p.) adquieren una determinada carga eléctrica, positiva en una de las placas y negativa en la otra (de modo que la carga total almacenada es nula). De este modo, la carga almacenada en una de las placas es proporcional a la diferencia de potencial entre esta placa y la otra, siendo la constante de proporcionalidad la llamada **capacidad**.

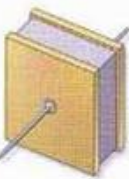
En el Sistema Internacional de Unidades la capacidad se mide en **faradios** (F), estas adquieren una **carga eléctrica** de **1 culombio** (C).

El **valor de la capacidad** de un condensador viene definido por la siguiente fórmula:

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

Donde: C = capacidad; Q = carga eléctrica almacenada en el condensador (dada en culombios); y V es la diferencia de potencial entre ambas placas.

El aspecto físico del condensador básico y su símbolo son los que se muestran en la Figura 2.41.



Condensador no polarizado.
Símbolo general.

Figura 2.41. Aspecto y símbolo del condensador.

2.4. Asociación de condensadores

Al igual que ocurre con las resistencias, se pueden asociar varios **condensadores** de forma que todos ellos se comporten globalmente como si se tratara de un único **condensador equivalente**. La **capacidad** del condensador equivalente depende de la de los condensadores asociados y del tipo de disposición que se elija para ellos.

A. Condensadores en serie

Los condensadores pueden disponerse **en serie**, o **en cascada**, cuando la armadura de cada condensador se une con la armadura de signo contrario del siguiente condensador (Fig. 2.42):

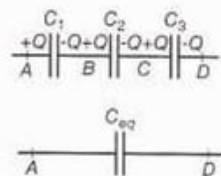


Fig. 2.42. Asociación de condensadores en serie.

Por su parte, la **capacidad equivalente** de **condensadores en serie** sería:

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots + \frac{1}{C_n}$$

B. Condensadores en paralelo

Importante

Los condensadores asociados en serie tienen todos la misma carga, pero diferente tensión, mientras que en los condensadores asociados en paralelo tienen todos la misma tensión, pero la carga es diferente en cada uno de ellos.

En la asociación de **condensadores en paralelo**, se conectan entre sí las armaduras de igual signo de todos los condensadores, de forma que el circuito principal se divide en varias ramas (Fig. 2.43):

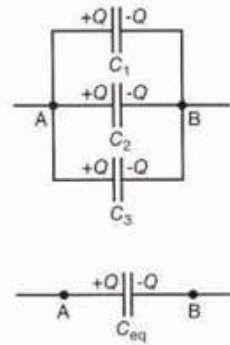


Fig. 2.43. Asociación de condensadores en paralelo.

Truco

Una forma de recordar cómo son las asociaciones de condensadores es acordarse de que las fórmulas de las capacidades equivalentes son las contrarias a las de las resistencias (condensador en serie = resistencias en paralelo, y viceversa).

El cálculo de la **capacidad equivalente** de una conexión en paralelo de condensadores se halla de la siguiente manera:

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

Caso práctico 8: Asociación en serie de condensadores

Calcula la **capacidad equivalente** de la siguiente configuración de condensadores sabiendo que sus capacidades son: $C_1 = 3 \mu\text{F}$, $C_2 = 6 \mu\text{F}$ y $C_3 = 12 \mu\text{F}$.

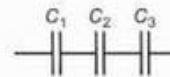


Fig. 2.44.

Solución:

Para calcular esta capacidad equivalente utilizaremos la fórmula general que acabamos de ver en el apartado anterior, quedándonos de esta manera la siguiente expresión:

$$\begin{aligned} \frac{1}{C_E} &= \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} = \frac{1}{3 \mu\text{F}} + \frac{1}{6 \mu\text{F}} + \frac{1}{12 \mu\text{F}} = \\ &= \frac{4 + 2 + 1}{12 \mu\text{F}} = \frac{7}{12 \mu\text{F}} \end{aligned}$$

La **capacidad resultante** será la inversa de este resultado:

$$C_E = \frac{12 \mu\text{F}}{7} = 1,71 \mu\text{F}$$

Caso práctico 9: Asociación de condensadores en paralelo

Calcula la **capacidad equivalente** de la siguiente configuración de condensadores, sabiendo que sus capacidades son: $C_1 = 3 \mu\text{F}$, $C_2 = 6 \mu\text{F}$ y $C_3 = 12 \mu\text{F}$.

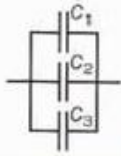


Fig. 2.45.

Solución:

La **capacidad equivalente** de la asociación se calcula como la suma de las capacidades de cada uno de los condensadores. De esta manera tendremos:

$$C_E = C_1 + C_2 + C_3 = 3 \mu\text{F} + 6 \mu\text{F} + 12 \mu\text{F} = 21 \mu\text{F}$$

$$C_E = 21 \mu\text{F}$$

Caso práctico 10: Asociación mixta de condensadores

Calcula la **capacidad equivalente** de la asociación presentada en la figura, que corresponde a una asociación mixta. $C_1 = 2 \mu\text{F}$, $C_2 = C_3 = 1 \mu\text{F}$, $C_4 = 0,5 \mu\text{F}$ y $C_5 = 3 \mu\text{F}$.

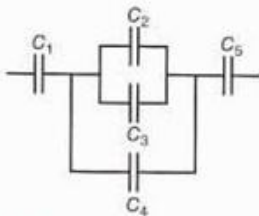


Fig. 2.46.

Solución:

La idea es transformar este circuito en una conexión en serie o en paralelo. Los condensadores C_2 y C_3 están en paralelo, por tanto su capacidad equivalente, que llamaremos C_a , será: $C_a = C_2 + C_3 = 2 \mu\text{F}$. Si ahora volvemos a diseñar el circuito, obtenemos:

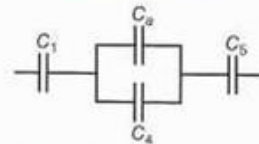


Fig. 2.47.

Los condensadores C_a y C_4 están en paralelo, por lo que su capacidad equivalente, que llamaremos C_b , es: $C_b = 2,5 \mu\text{F}$. Rediseñando el circuito, vemos que ahora solamente tenemos un circuito de condensadores en serie. Por tanto, la capacidad equivalente es:

$$C_{eq} = \frac{1}{\frac{1}{2} + \frac{1}{2,5} + \frac{1}{3}}$$

$$C_{eq} = \frac{1}{1,23} = 0,81 \mu\text{F}$$

Fig. 2.48.

Actividades

12. ¿A qué capacidad equivale la asociación de condensadores mostrada en la Figura 2.49?

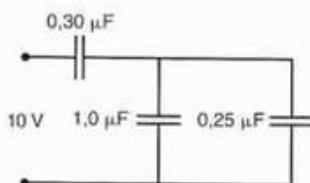


Fig. 2.49.

13. Calcula el condensador equivalente entre los puntos a y b del circuito de la Figura 2.50.

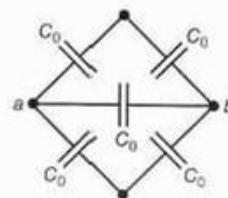


Fig. 2.50.

Caso práctico 11: Análisis de la hoja de características de un condensador

Vamos a ver sobre la **hoja de características** de un condensador los **parámetros** que debemos tener en cuenta a la hora de elegir un componente para un determinado circuito.

Solución:

PHE450 Serie de condensadores.

- Double metallized film pulse capacitor, polypropylene dielectric
- According to IEC 60384-17 Grade 1.1
- Small sizes
- Replacing PHE427, PHE428

TYPICAL APPLICATIONS
High frequency applications with high current stress, such as deflection circuits in TV-sets, protection circuits in SMPS and in electronic ballasts.

CONSTRUCTION
Polypropylene dielectric with double metallized polyester film as electrodes. Encapsulation in self-extinguishing material meeting the requirements of UL 94V-0.

TECHNICAL DATA

Rated voltage $U_{r, VDC}$	250	400	630	1000	1600	2000	2500
Rated voltage $U_{r, VAC}$	180	250	300/400	375/600	650	700	900
Capacitance range	330pF-10 μ F	330pF-5.6 μ F	330pF-3.3 μ F	330pF-1.8 μ F	2.7nF-0.82 μ F	1.0nF-0.56 μ F	1nF-39nF

Capacitance values In accordance with IEC E12 series.

Capacitance tolerance $\pm 5\%$ standard. Other tolerances on request

Category temperature range -55°C to $+105^{\circ}\text{C}$

Rated temperature $+85^{\circ}\text{C}$

Aplicaciones típicas: en circuitos de TV, en balastos electrónicos, etc.

Dieléctrico: polipropileno con doble película de poliéster metalizado.

Dimensiones físicas.

Cada columna es un modelo. Nos dan los valores de la tensión que soportan en CC y CA y el rango de capacidades que podemos tener con esas características.

Valor de la tolerancia.

Siempre son importantes las temperaturas de operación y almacenamiento.

p	d	std	max l	b
7.5 \pm 0.4	0.8	5'	30	\pm 0.4
10.0 \pm 0.4	0.6	5'	30	\pm 0.4
15.0 \pm 0.4	0.8	6'	30	\pm 0.4
22.5 \pm 0.4	0.8	6'	30	\pm 0.4
27.5 \pm 0.4	0.8	6'	30	\pm 0.4
37.5 \pm 0.5	1.0	6'	30	\pm 0.7

Fig. 2.51.

Actividad

14. Vamos a reparar una radio, instalada en un vehículo 4x4 que va a realizar una ruta por Senegal. Tenemos que sustituir un condensador, cuya capacidad es de 15 μF , y la tensión máxima que va a soportar es de 12 V. A la vista de los datos técnicos dados en las hojas de características:

¿Cuál de los dos elegirías? Justifica la respuesta teniendo en cuenta la capacidad necesaria, la temperatura a la que puede estar trabajando el equipo electrónico, etc.

Condensador 1

TECHNICAL SPECIFICATIONS				
Technical Data	All technical data refers to an ambient temperature of $+20^{\circ}\text{C}$			
Capacitance Range	1.2 μF to 3.3 μF			
Capacitance Tolerance	$\pm 5\%$			
Leakage Current (DC)	0.01CV			
Rated Voltage (V)	-55°C to $+85^{\circ}\text{C}$	4	6.3	10
Category voltage (V)	at 85°C	3	5.16	8
Category voltage (V)	at 125°C	0.8	1.26	2
Temperature Range	-55°C to $+125^{\circ}\text{C}$ with category voltage			
Reliability	0.2% per 1000 hours at 85°C , 0.01% per 1000 hours at 125°C (with impedance with 60% confidence level)			
	Meets requirements of IEC 6250			

Condensador 2

Specifications	
Category temp. range (including temperature-rise on unit surface)	-40°C to $+105^{\circ}\text{C}$
Rated voltage	250 VDC 450 VDC Peak to peak voltage applied on the capacitor should be less than 240Vp-p and zero to peak voltage should be less than 450V.
Capacitance range	250 VDC 0.1 μF to 6.8 μF 450 VDC 0.1 μF to 4.7 μF
Capacitance tolerance	250 VDC $\pm 3\%$ (H), $\pm 5\%$ (J) 450 VDC $\pm 5\%$ (J), $\pm 10\%$ (K)
Withstand voltage	Between terminals: Rated voltage(VDC) $\times 150\%$ 60 s
Dissipation factor (tan δ)	$\tan \delta \leq 0.1\%$ (20 $^{\circ}\text{C}$, 1 kHz)
Insulation resistance (IR)	250 VDC $C \leq 0.33 \mu\text{F}$: IR $\geq 9000 \text{ M}\Omega$ (20 $^{\circ}\text{C}$, 100 VDC, 60 s) $C > 0.33 \mu\text{F}$: IR $\geq 3000 \text{ M}\Omega$ μF 450 VDC $C \leq 0.33 \mu\text{F}$: IR $\geq 3000 \text{ M}\Omega$ (20 $^{\circ}\text{C}$, 100 VDC, 60 s) $C > 0.33 \mu\text{F}$: IR $\geq 1000 \text{ M}\Omega$ μF

*In case of applying voltage in alternating current (50 Hz or 60 Hz sine wave) to a capacitor with DC rated voltage, please refer to the page of "Permissible voltage (R.R.S.) in alternating current corresponding to DC rated voltage"

Design Specifications are subject to change without notice. Ask factory for technical specifications before purchase and/or use. Whenever a doubt about safety arises from the product, please inform us immediately for technical consultation without fee.

Fig. 2.52.

Práctica final: Comprobación de la resistencia equivalente de un circuito

1. Objetivo

Vamos a medir la resistencia equivalente de dos asociaciones de resistencias y vamos a comprobar si el valor obtenido es igual al que calculamos de forma teórica.

Los esquemas eléctricos de las asociaciones que vamos a comprobar son los siguientes (Fig. 2.53):

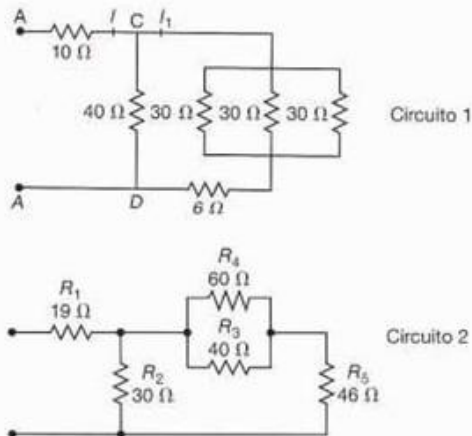


Fig. 2.53.

2. Materiales

- Resistores de los valores indicados en los esquemas. Deben ser todos de la misma tolerancia.
- Placa BOARD para el montaje del circuito.
- Polímetro y puntas de prueba para la medida de la resistencia.

3. Técnica

a) Cálculos teóricos

1. Lo primero que vamos a realizar son los cálculos teóricos para cada uno de los circuitos. Para ello, aplicando lo que hemos visto en la teoría, calculamos la resistencia equivalente de cada circuito con los valores nominales de las resistencias (sin considerar la tolerancia), aplicando los conceptos de resolución de asociaciones mixtas.

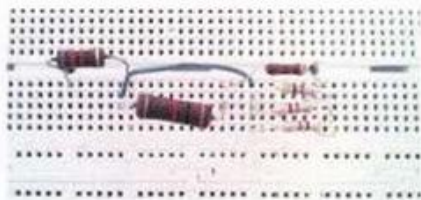


Fig. 2.54.



Fig. 2.55.

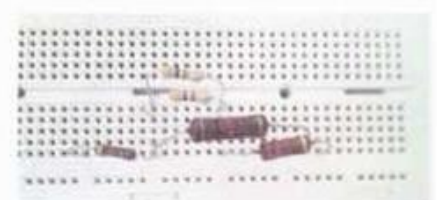


Fig. 2.56.

2. Calculamos la tolerancia de cada una de las resistencias.
3. Calculamos la resistencia equivalente considerando los valores máximos de los resistores ($R_{nominal} + \text{tolerancia}$).
4. Calculamos la resistencia equivalente considerando los valores mínimos de los resistores ($R_{nominal} - \text{tolerancia}$).
5. Anotamos los resultados en la siguiente tabla:

	$R_{nominal}$	$R_{máxima}$	$R_{mínima}$
Circuito 1			
Circuito 2			

b) Medida de la resistencia equivalente

6. Montamos sobre la placa BOARD el circuito 1 (Fig. 2.54).
7. Conectamos el polímetro en posición de óhmetro (Ω) a la entrada del circuito montado: la punta roja en la parte superior y la punta negra en la parte inferior. Pide ayuda a tu profesor si tienes dudas sobre cómo realizar la conexión.
8. Ajustamos la escala según el valor previsto que tenemos que medir (calculado anteriormente).
9. Tomamos la lectura correcta de la medida y anotamos su valor (Fig. 2.55).
10. Repetimos la operación con el circuito 2 (Fig. 2.56).

4. Cuestiones

1. Una vez que hemos medido la resistencia equivalente en cada uno de los circuitos, ¿coincide este valor con la resistencia nominal equivalente que hemos calculado? Si no coincide, explica por qué sucede.
2. ¿Está la resistencia equivalente dentro del margen calculado con las tolerancias?
3. ¿Qué puede ocurrir si los valores de los resistores no son los indicados por el fabricante?



Test de repaso

- Se denomina resistencia eléctrica a:
 - La facilidad del material al paso de la corriente eléctrica.
 - La oposición del material al paso de la corriente eléctrica.
 - La fuerza del material.
 - No existe esta propiedad.
- Los materiales se pueden clasificar desde el punto de vista eléctrico en:
 - Aislantes y conductores.
 - Aislantes y semiconductores.
 - Semiconductores y conductores.
 - Aislantes, conductores y semiconductores.
- La resistencia de un conductor depende de:
 - Su longitud.
 - Su sección.
 - Del tipo de metal.
 - Todas son correctas.
- ¿Cuál es el valor óhmico de un resistor en el que $R = 2k3$?
 - 2,3 Ω .
 - 230 Ω .
 - 2300 Ω .
 - 23000 Ω .
- Al elemento móvil de un resistor variable se le denomina:
 - Precursor.
 - Cursor.
 - Alineador.
 - Deslizador.
- El valor máximo que puede tener una resistencia de 1000 Ω y que tiene una tolerancia del 10% es de:
 - 900 Ω .
 - 1100 Ω .
 - 1200 Ω .
 - 100000 Ω .
- Un condensador es un dispositivo capaz de almacenar:
 - Energía eléctrica.
 - Energía acústica.
 - Energía electromagnética.
 - Energía luminosa.
- La capacidad equivalente a la asociación en serie de dos condensadores cuya capacidad es de 10 F, será:
 - 10 F.
 - 5 F.
 - 20 F.
 - 100 F.
- En un condensador de disco, una letra K marcada sobre su cuerpo indica:
 - Una tolerancia del 10%.
 - El nombre del fabricante.
 - El valor de la capacidad.
 - Que es un condensador cerámico.
- Un condensador marcado con el código 101, lleva impreso un valor de 503. ¿Qué valor tiene su capacidad?
 - 50000 pF.
 - 503 pF.
 - 50 μ F.
 - 503 F.

Soluciones: 1b, 2d, 3d, 3d, 4c, 5b, 6a, 7a, 8b, 9d, 10a.

Comprueba tu aprendizaje

Utilizar los códigos de marcado de estos componentes

5. Identifica por el código de colores los condensadores que tienes en la siguiente fotografía:



Fig. 2.60.

6. Identifica por el código de colores los resistores que tienes en esta fotografía:

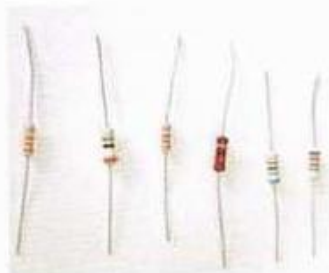


Fig. 2.61.

7. A lo largo de esta unidad hemos visto cómo se marcan los resistores de montaje superficial SMD. Busca en Internet condensadores para montaje SMD y pon ejemplos de cómo se realiza el marcado de la capacidad, la tensión, la tolerancia, etc., en estos componentes.
8. Identifica de qué tipo son los resistores que tienes en la fotografía e indica cuáles son sus principales parámetros en función del código que llevan marcado.



Fig. 2.62.

Medir la resistencia de los resistores y la capacidad de los condensadores e identificar el comportamiento de estos componentes en los circuitos

9. Explica la diferencia que existe entre resistencia y resistor.
10. Determina la resistencia equivalente de los circuitos dados a continuación:

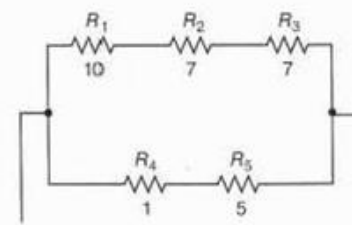
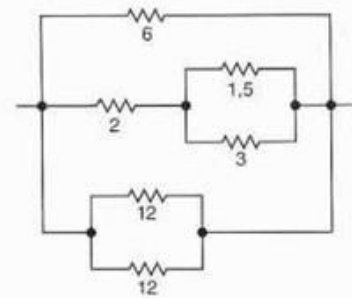


Fig. 2.63.

11. Haz una lista de aplicaciones de los principales tipos de resistores que has visto en la unidad.
12. Calcula la carga que adquiere un condensador que se conecta a una pila, cuya tensión es de 25 V, si tiene una capacidad de 200 nF.
13. Calcula la capacidad equivalente de la asociación de condensadores dada en la figura:

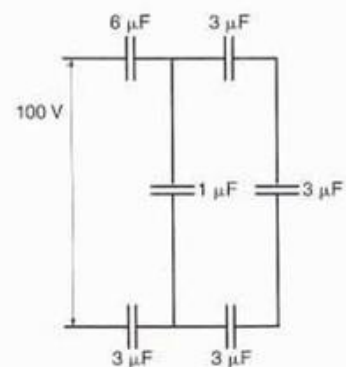


Fig. 2.64.

1. Medidas de la tensión y la intensidad en un circuito



Ten cuidado

Siempre que vayas a tomar medidas en un equipo que tenga la alimentación de corriente conectada, asegúrate de tomar todas las precauciones posibles para evitar un accidente eléctrico.

Todos los equipos electrónicos relacionados con las telecomunicaciones utilizan corriente continua en su funcionamiento, por tanto, cualquier técnico en la materia necesita saber tomar las medidas de tensión e intensidad correctamente. Por ello, vamos a estudiar a continuación los pasos a seguir para efectuar estas operaciones de forma adecuada, empleando un polímetro digital, que es el que se usa con mayor frecuencia en la actualidad.

1.1. Medida de la tensión en dos puntos de un circuito

Para medir la tensión en dos puntos de un circuito emplearemos el polímetro, ya que este aparato nos permite tomar medidas de diferente magnitud. En este caso lo vamos a utilizar como voltímetro (Fig. 3.1).

Selecciona la escala correspondiente a voltaje en continua. Si desconoces qué valor puede tener la tensión que tienes que medir, coloca la rueda del selector en el valor más alto que marque la escala, para evitar daños en el aparato.



Truco

Si al tomar la medida de la tensión ves que aparece un **signo negativo**, significa que te has equivocado al poner las puntas de prueba. Pon la roja donde tienes la negra y viceversa, y obtendrás la lectura correcta.

Conecta las puntas de prueba de la siguiente manera: punta negra en el terminal COM y punta roja en el terminal V Ω Hz (Fig. 3.2).



Rueda para seleccionar la medida a realizar.

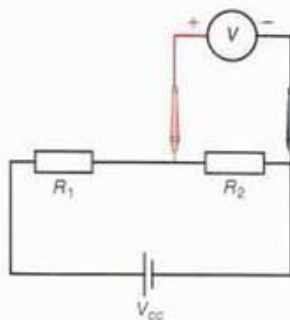


Fig. 3.2. Conexión de las puntas.

Fig. 3.1. Polímetro empleado como voltímetro.

La **punta** de prueba **negra** siempre se debe colocar hacia el lado del **negativo** la tensión que queremos medir y la **roja** hacia el **positivo** (Fig. 3.2). Por su parte, el polímetro se coloca **siempre en paralelo** a los puntos donde queremos medir la tensión, es decir, no habrá que desconectar nada en el circuito para llevar a cabo la medida.

1.2. Medida de la intensidad en un punto de un circuito

La medida de la intensidad en un punto de un circuito se toma de la siguiente manera (Fig. 3.3):



Fig. 3.3. Bornas.

Punta negra en la borna COM y punta roja en la borna mA, si sabemos que la intensidad a medir es menor de 10 mA; pero si no estamos seguros, en la borna de 10 A.

Para **medir intensidades** hay que colocar el **polímetro en serie** en la rama en la que queremos tomar la medida. Esto implica que **habrá que abrir el circuito** en cualquier punto e intercalar el polímetro entre los dos puntos que nos quedan al abrir el circuito.

Como vemos en la Figura 3.5, se han desconectado las resistencias R_1 y R_2 para poder poner las puntas de prueba entre medias. La punta roja debe colocarse hacia el positivo de la fuente y la punta negra hacia el negativo.

Selector en la escala de amperios en continua (Fig. 3.4):



Fig. 3.4. Escala.

Si no conoces el valor que puede tener la intensidad que vas a medir, selecciona el más alto de la escala.

Truco

Toma las medidas en la escala que más se aproximen por encima al valor que tengas que medir. Así, el error del aparato será menor y la medida será más exacta.

Ten cuidado

Si conectas el polímetro preparado para medir intensidades, en paralelo, pueden ocurrir dos cosas:

- Si la borna roja está en la escala de 10 mA, se quemará el fusible de protección del aparato.
- Si por el contrario está en la escala de 10 A, no hay fusible de protección y se puede llegar a quemar el aparato.

Por ello debes asegurarte, antes de tomar la medida, de que lo estás colocando correctamente.

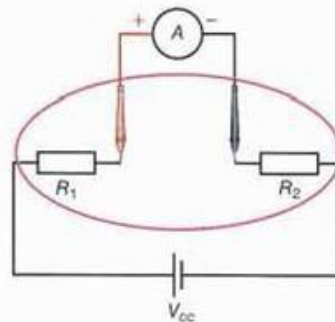


Fig. 3.5. Circuito.

Actividades

1. Explica cómo conectarías un polímetro, en el esquema de la Figura 3.6, para medir la tensión en R_2 , y cómo medirías la intensidad que circula por R_3 :

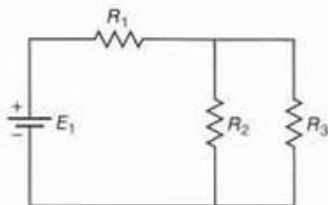


Fig. 3.6.

2. Busca en Internet cómo funciona un polímetro analógico, realiza un dibujo del mismo e investiga cómo se toman las medidas con este aparato. Explica, además, cómo se manejan las escalas para poder tomar las lecturas.
3. Localiza, en el manual de un polímetro, los símbolos que hacen alusión a los errores que este aparato de medida puede cometer en sus lecturas e investiga por qué suceden.

2. Tipos de corriente eléctrica. Definición de corriente continua

Como ya hemos visto, la **corriente eléctrica** se puede definir como el flujo de electrones que circulan por un determinado material (conductor). El **sentido en el que circulan** estos electrones determina el **tipo** de corriente eléctrica.

El encargado de proporcionar el **movimiento** a los **electrones** en un circuito eléctrico es el **generador**. A su vez, para que exista una corriente eléctrica, debe existir una diferencia de potencial entre dos puntos, de tal forma que las cargas puedan circular libremente entre ambos.

En función de si se mantienen o no constantes el valor y el signo de la diferencia de potencial, esto es, de cómo sea la **diferencia de potencial o tensión en el generador**, el comportamiento de los electrones será diferente. Así, nos podemos encontrar con dos casos:

- La tensión en el generador se mantiene constante tanto en valor como en signo a largo del tiempo: **corriente continua**. En este caso, la circulación de los electrones se siempre en el mismo sentido, y por tanto dará lugar a la corriente continua. Gráficamente lo podemos representar así (Fig. 3.7):

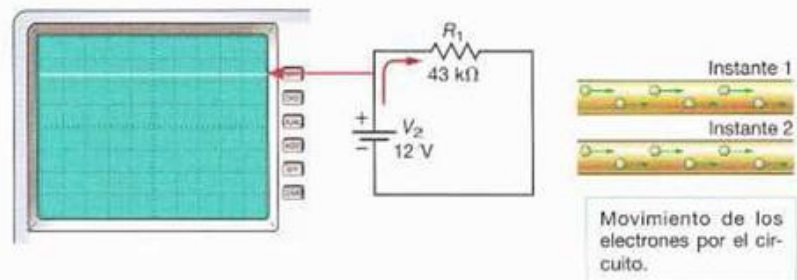


Fig. 3.7. Visualización de la tensión en un generador de corriente continua (a la izquierda) y movimiento de los electrones, siempre en el mismo sentido, independientemente del instante de tiempo que se considere.

- La tensión del generador no es constante a lo largo del tiempo. Esto provocará que los electrones circularán en diferentes sentidos en el circuito según cambie el generador; es lo que se conoce como **corriente alterna**. El osciloscopio nos lo muestra como podemos ver en la primera imagen (Fig. 3.8):

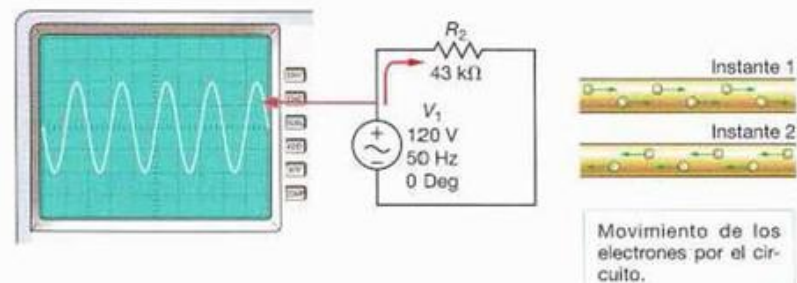


Fig. 3.8. Tensión en un generador de corriente alterna. La polaridad de la tensión cambia a lo largo del tiempo (unas veces es positiva y otras negativa), lo cual provoca que los electrones circulen en sentidos distintos según varíe la tensión en el generador.

¿Sabías que...?

Todos los **equipos** utilizados en **telecomunicaciones necesitan** utilizar **corriente continua** para funcionar correctamente.

En los equipos **portátiles** (como por ejemplo los teléfonos móviles) esta corriente la proporcionan las pilas o baterías, mientras que en los equipos que van a permanecer **estáticos** en un edificio (como por ejemplo, los *switch* de una red de ordenadores) la corriente continua es proporcionada por una fuente de alimentación, que convierte la corriente alterna de la red en corriente continua para el equipo.

3. Circuito eléctrico

Para que pueda haber circulación de electrones debe existir lo que denominamos circuito eléctrico. El más elemental estará formado por **un generador** (una pila, una batería, etc.), **un receptor** (una bombilla, una resistencia, etc.) y **los cables** que los unen. El circuito debe estar cerrado para que puedan circular los electrones (Fig. 3.9).

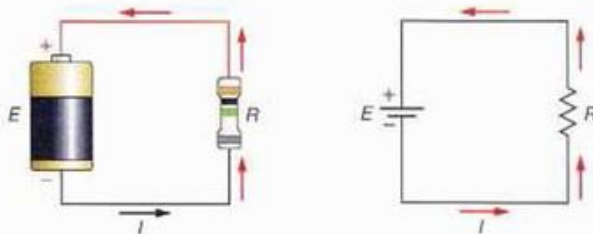


Fig. 3.9. Ejemplo de circuito eléctrico elemental. En la imagen de la izquierda se representa el circuito físicamente y en la derecha el esquema eléctrico correspondiente a dicho circuito, con los símbolos normalizados.

En la práctica, los circuitos eléctricos no son tan sencillos como los que acabamos de ver. El análisis de un circuito más complejo implica conocer determinados métodos y leyes que, a su vez, manejan una serie de **conceptos imprescindibles** para aplicar las técnicas de análisis de circuitos y que todo técnico debe utilizar con soltura, los cuales definimos a continuación:

Malla: se denomina **malla** a todo contorno cerrado, en un circuito eléctrico, que se puede recorrer entero, partiendo de un punto, sin pasar dos veces por el mismo sitio.

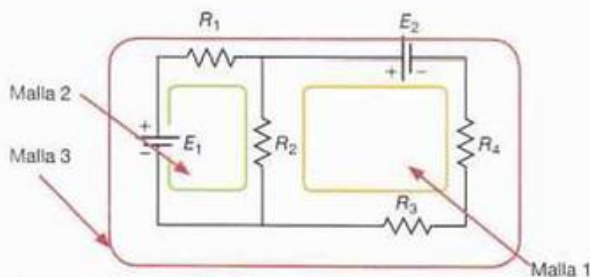


Fig. 3.10. Ejemplo de mallas en un circuito eléctrico.

Este circuito tiene tres **mall**as: dos correspondientes a los «huecos» interiores y otra que corresponde a la malla exterior del circuito (Fig. 3.10). Todas cumplen la condición de que se pueden recorrer en un determinado sentido sin pasar dos veces por el mismo sitio.

Nudo: en un circuito eléctrico, se denomina **nudo** a todo punto del circuito donde la intensidad puede bifurcarse, es decir, puede tomar diferentes caminos.

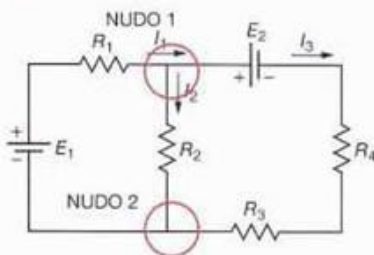


Fig. 3.11. Ejemplo de circuito con dos nudos.

Este circuito tiene dos **nudos**, que están marcados dentro de los círculos rojos (Fig. 3.11). La intensidad que llega por R_1 , I_1 , al llegar al nudo, puede tomar dos caminos: el que hemos marcado como I_2 y el marcado como I_3 . Lo mismo ocurre en el punto de abajo.

Recuerda

La medida de la corriente eléctrica se toma a través de la **intensidad** (que es el flujo de electrones que atraviesa un conductor por unidad de tiempo).

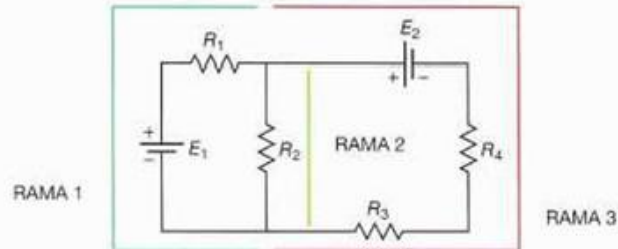
Truco

Las mallas de un circuito siempre van a llevar al menos un generador. Esto te puede ayudar si no tienes muy claro dónde se encuentran.

Ten cuidado

Antes de empezar a analizar cuántas mallas hay en un circuito, debes intentar calcular las resistencias equivalentes de todas las que puedan estar **asociadas en serie o en paralelo**. Estas asociaciones, probablemente, harán que el número de mallas del circuito sea menor.

Rama: en un circuito eléctrico, se denomina rama a la porción de circuito que queda entre dos nudos del mismo.



El circuito del ejemplo tiene tres **ramas**: una formada por el generador E_1 y la resistencia R_1 ; la segunda formada por la resistencia R_2 ; y la tercera formada por el generador E_2 , y las resistencias R_4 y R_3 (Fig. 3.12).

Fig. 3.12. Ejemplo de circuito con tres ramas.

Caso práctico 1: Determinación del número de ramas, mallas y nudos de un circuito

Determina, en el circuito de la Figura 3.13, cuántas ramas, nudos y mallas tiene.

Solución:

El número de ramas será seis, cuatro el de nudos y cinco el de mallas.

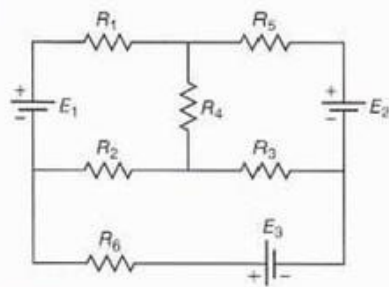


Fig. 3.13.

Nudos: están marcados sobre la Figura 3.15. Son los puntos de bifurcación de la intensidad, tal como hemos comentado anteriormente.

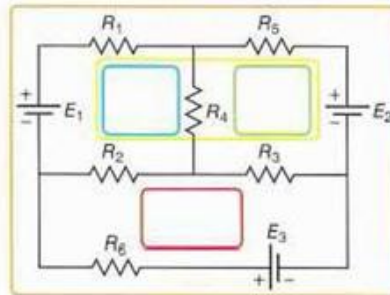


Fig. 3.14.

Ramas: observando los elementos del circuito en la Figura 3.14 que quedan entre los nudos, llegamos a la conclusión de que hay seis ramas en el mismo.

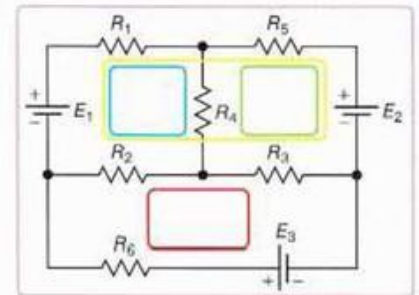


Fig. 3.15.

Los tres «huecos», la malla exterior y, en este caso, el circuito, se pueden recorrer por el trayecto marcado con el rectángulo amarillo (Fig. 3.15).

Actividades

- Señala cuántos nudos tiene el circuito de la Figura 3.16.
- Indica también:
 - Cuántas ramas tendrá el circuito.
 - Cuántas mallas tendrá el mismo circuito y explica por qué.

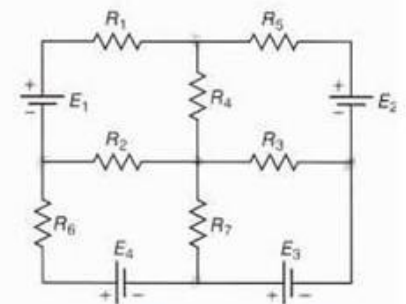


Fig. 3.16.

4. Ley de Ohm

Para poder conocer el funcionamiento de un circuito eléctrico es imprescindible manejar correctamente las leyes fundamentales que existen para el análisis de circuitos. Estas leyes son tres:

- La ley de Ohm.
- Las leyes de Kirchhoff (ley de nudos y ley de mallas).

La **ley de Ohm** relaciona la resistencia de un conductor con el voltaje presente en sus extremos y la intensidad que circula por el mismo. La podemos enunciar de la siguiente manera:

La diferencia de potencial en los extremos de un conductor es igual al producto de la resistencia que presenta por la intensidad que circula por él. La **fórmula** de la ley de Ohm es la siguiente:

$$V = I \cdot R$$

Si la intensidad viene dada en **amperios** y la resistencia viene dada en **ohmios**, el valor de la tensión se obtendrá en **voltios**. A partir de esta fórmula podemos obtener cualquiera de los tres valores, conocidos los otros dos.

La ley de Ohm es fundamental en el análisis de cualquier circuito eléctrico. Se utiliza cuando existe un único generador de tensión, y por tanto una sola malla; si hay más de uno, habrá que aplicar otras técnicas, tal como veremos más adelante.

Web @

Ciertos programas ayudan a realizar cálculos con la ley de Ohm. Un ejemplo de software gratuito de este tipo es el programa *Ley de Ohm 1.0*:

<http://www.freewarexp.com>

¿Sabías que...?

La aplicación de la ley de Ohm resulta imprescindible en muchas situaciones del trabajo diario. Un ejemplo puede ser este: comprobando el funcionamiento de un equipo, vemos que hay un resistor al que le ha desaparecido el código de marcado y necesitamos conocer su valor. Si medimos la tensión y la intensidad que circulan por él y aplicamos la ley de Ohm, podremos saber su valor.

Caso práctico 2: Comprobación de la ley de Ohm en un circuito eléctrico

Mide la corriente que proporciona el generador del circuito y el valor de la tensión en cada una de las resistencias. Los valores de los componentes del circuito son: $R_1 = 2 \Omega$, $R_2 = 4 \Omega$, $R_3 = 6 \Omega$; $E_1 = 12 \text{ V}$; y comprueba que coincide con los cálculos teóricos que se obtienen aplicando la ley de Ohm.

Solución:

Sobre una placa BOARD o un simulador de circuitos montamos el circuito correspondiente al esquema eléctrico que nos dan en el enunciado. Necesitamos resistores de los valores dados, una fuente de alimentación de 12 V y un polímetro que utilizaremos como voltímetro o amperímetro, según la medida que estemos calculando.

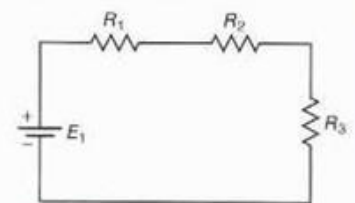


Fig. 3.17.

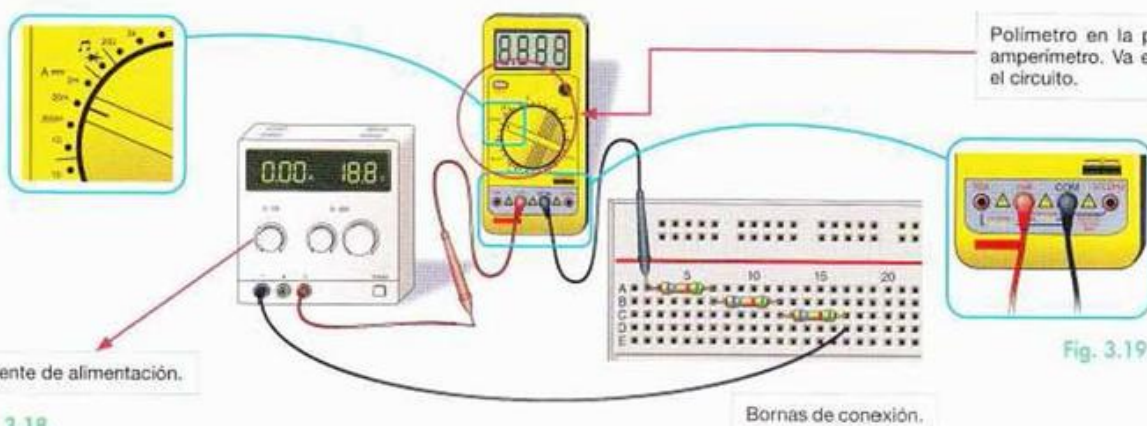


Fig. 3.18.

Fig. 3.19.

[Continúa]

Caso práctico 2: Comprobación de la ley de Ohm en un circuito eléctrico

[Continuación]

Para tomar la **medida de la tensión** en cada una de las resistencias seguiremos estos pasos (recuerda que el polímetro se pone en paralelo con la resistencia) (Figs. 3.20 a 3.24):

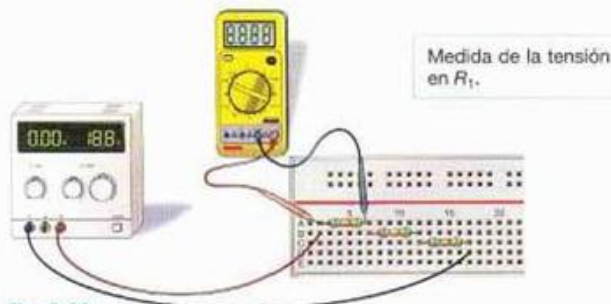


Fig. 3.20.

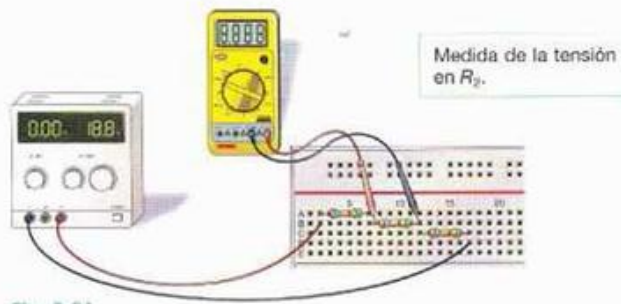


Fig. 3.21.

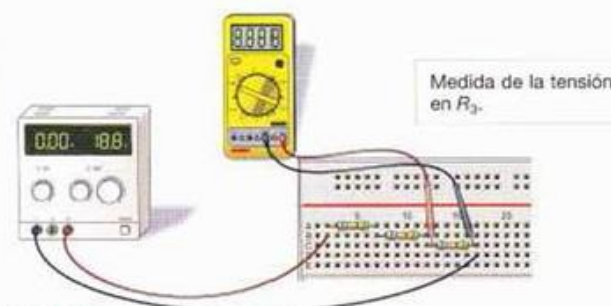


Fig. 3.22.



Fig. 3.23.



Fig. 3.24.

Comprobamos los **valores de las medidas** montando el circuito en un simulador (Fig. 3.25).

Una vez que hemos comprobado los valores del circuito de forma práctica, debemos verificar que si los calculamos aplicando la ley de Ohm los valores medidos coinciden con los valores obtenidos.

Para calcular la **intensidad** que proporciona el generador, vamos a realizar la resistencia equivalente del circuito. Para ello, nos fijamos en cómo están colocadas las tres resistencias y llegamos a la conclusión de que están asociadas en serie, luego la resistencia total será la suma de las tres: $R_{TOTAL} = R_1 + R_2 + R_3 = 2 + 4 + 6 = 12 \Omega$. El circuito que nos queda en este caso será el que se muestra en la Figura 3.26:

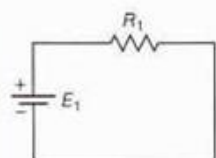


Fig. 3.26.

Si despejamos de la fórmula de la ley de Ohm el valor de la intensidad, nos queda: $I = \frac{V}{R}$; si sustituimos los valores del circuito en la ecuación:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{12 \text{ V}}{12 \Omega} = 1 \text{ A}$$

[Continúa]

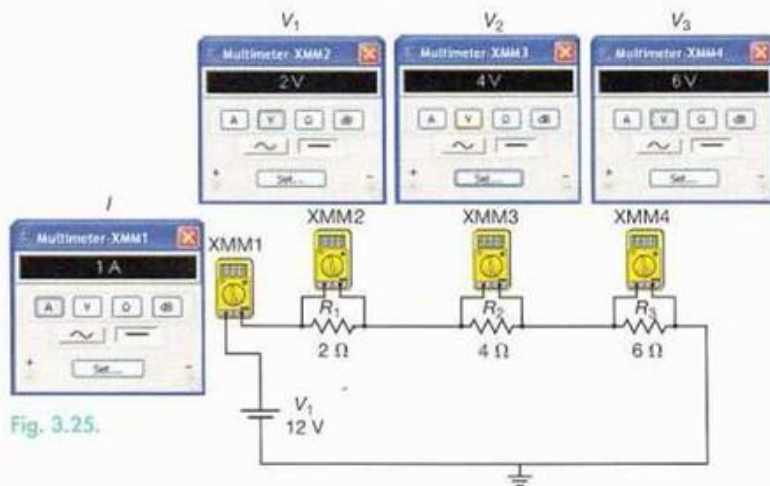


Fig. 3.25.

Caso práctico 2: Comprobación de la ley de Ohm en un circuito eléctrico

(Continuación)

Para calcular el valor de la tensión que tenemos en cada una de las resistencias volvemos al circuito original. Como están conectadas **en serie**, por **todas** ellas circulará la

misma corriente, cuyo valor es el que acabamos de calcular. Aplicando directamente la fórmula de la ley de Ohm obtenemos el valor de cada una de estas tensiones:

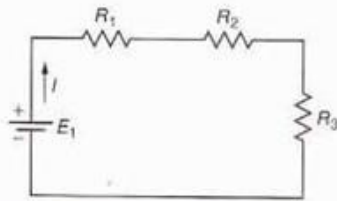


Fig. 3.27.

$$V_1 = I \cdot R_1 = 1 \cdot 2 = 2 \text{ V}$$

$$V_2 = I \cdot R_2 = 1 \cdot 4 = 4 \text{ V}$$

$$V_3 = I \cdot R_3 = 1 \cdot 6 = 6 \text{ V}$$

Coinciden con las medidas

Al sumar las tres tensiones nos debe dar el valor de la tensión del generador.

Actividades

- ¿Cuál será el valor de la intensidad que circula por una resistencia de 20Ω , que está conectada a una pila de 40 V ?
- Dos resistencias de 10Ω se conectan en paralelo a una pila de 15 V . Calcula el valor de la intensidad que proporciona la pila.

- Dibuja el esquema del circuito del apartado anterior y contesta a las siguientes preguntas:

- ¿Qué valor tiene la tensión que podemos medir en cada una de las resistencias?
- ¿Qué intensidad circula por cada una de ellas?

4.1. Criterio de signos de tensiones e intensidades para el análisis de circuitos

Para poder aplicar correctamente las fórmulas hemos de tener muy claro si, al recorrer un circuito en un determinado sentido, vamos a considerar la tensión o la intensidad como positiva o como negativa. Para ello vamos a tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Por convenio, la intensidad de la corriente siempre sale del polo positivo del generador.
- En una resistencia, al pasar una corriente a través de ella, se va a producir una tensión. Esta tensión tendrá su positivo en el punto por el que entra la intensidad (Fig. 3.28):

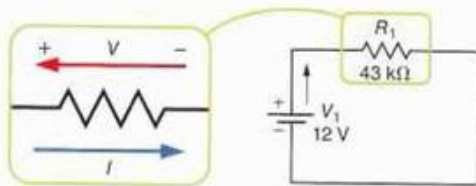
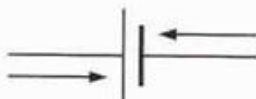


Fig. 3.28. Tensión que se produce en la resistencia.

- Cuando recorremos una rama en un circuito eléctrico, y alcanzamos un generador, el signo de su diferencia de potencial será el del polo por el que lleguemos (Fig. 3.29):

Si llegamos por aquí, se considera positivo.



Si llegamos por este lado, se considera negativo.

Fig. 3.29. Signo de la diferencia de potencial.

Ten cuidado

Cuando plantees ecuaciones de un circuito siempre debes tener en cuenta los signos de las tensiones y corrientes al hacer el análisis del mismo, ya que si no puede ocurrir que los resultados que obtengas no sean correctos.

Truco

Cuando en un circuito en serie aparecen dos pilas, equivalen a una sola cuya diferencia de potencial es la suma de las dos, teniendo en cuenta el signo. Para ello, recorremos el circuito en un sentido, y tenemos en cuenta el criterio de signos explicado.

Recuerda

En todo fenómeno físico como la electricidad, se tiene que cumplir siempre el **principio de conservación de la energía**: la energía ni se crea ni se destruye, solamente se transforma. Este es el motivo de por qué se calientan los conductores con la corriente eléctrica.

Unidades de medida

Las unidades que vamos a manejar habitualmente con la **potencia** son:

$$\begin{aligned} \text{MW} &= 10^6 \text{ W} \\ \text{kW} &= 10^3 \text{ W} \\ \text{mW} &= 10^{-3} \text{ W} \\ \text{W} &= 10^{-6} \text{ W} \\ \text{nW} &= 10^{-9} \text{ W} \\ \text{pW} &= 10^{-12} \text{ W} \end{aligned}$$

Vocabulario

Fuente de alimentación. Se denomina así, en el ámbito de la corriente continua, al elemento capaz de proporcionar la energía al circuito (es el generador del mismo).

Importante

El **balance de potencias** de un circuito es la comprobación de que la potencia entregada es igual a la potencia consumida en el circuito.

5. Cálculo de la potencia eléctrica

A la hora de comprobar el funcionamiento de un circuito, uno de los parámetros importantes es la cantidad de **energía** que se está consumiendo, ya que este consumo energético produce diversos efectos, como el calentamiento de los conductores. Tal como hemos comentado anteriormente, la energía necesaria para que el circuito funcione correctamente la proporciona el generador, y una forma de medirla es a través de la potencia eléctrica.

La **potencia eléctrica** es la cantidad de trabajo que realiza una corriente eléctrica por unidad de tiempo.

En **corriente continua**, la potencia se calcula a través de la siguiente **fórmula**:

$$P = V \cdot I$$

Multiplicando el valor de la tensión por el de la intensidad, obtenemos el valor de potencia. Su unidad de medida es el **vatio (W)**, y se define como el producto de 1 v por 1 amperio.

La potencia eléctrica ofrece una idea de la energía que se consume en el circuito.

5.1. Comportamiento en relación a la potencia de los componentes de un circuito eléctrico

En todos los circuitos vamos a tener **dos tipos de elementos**:

- **Receptores:** son los elementos que consumen potencia. Algunos ejemplos son las resistencias, las bombillas, los motores eléctricos, etc.
- **Generadores:** son los encargados de proporcionar la potencia al circuito. Un ejemplo en el caso de la corriente continua son las pilas o las baterías.

En algunas ocasiones, los generadores actúan como receptores. Así por ejemplo, cuando se recarga una batería como la de un teléfono móvil, el generador está absorbiendo potencia del circuito, en lugar de estar entregándola, y por tanto está actuando como receptor.

A. Potencia consumida por una resistencia

Tal como hemos comentado anteriormente, la potencia se calcula a través de la fórmula general. En el caso particular de una resistencia, podemos emplear los métodos que explican a continuación.

Si aplicamos la ley de Ohm, el valor de la tensión en una resistencia lo podemos expresar como: $V = I \cdot R$. Así, si sustituimos esta expresión en la fórmula general, obtenemos la expresión:

$$P = V \cdot I, \text{ sustituyendo } P = R \cdot I \cdot I = R \cdot I^2 \Rightarrow P = R \cdot I^2$$

Análogamente, podemos obtener otra expresión, despejando el valor de la intensidad en la ley de Ohm:

$$I = \frac{V}{R}; \quad P = V \cdot I, \text{ sustituyendo } P = \frac{V^2}{R}$$

Caso práctico 3: Potencia entregada por una fuente de alimentación

Los consumos de las diferentes etapas de un *walkie-talkie* son los siguientes:

Preamplificador: 20 mW

Transmisor: 200 mW

Amplificador de audio: 180 mW

Si el equipo se alimenta con una batería recargable de 12 V, ¿qué intensidad tendrá que proporcionar al circuito para que funcione correctamente?

Solución:

Siempre que realicemos los cálculos para una fuente de alimentación, lo primero que debemos hacer es determinar

el consumo total del equipo. En nuestro caso, sumamos la potencia que consumen todas las etapas. El resultado que obtenemos es:

$$P_{total} = 20 + 200 + 180 = \\ = 400 \text{ mW} = 0,4 \text{ W}$$

Despejando de la fórmula de la potencia el valor de la intensidad, obtenemos la expresión:

$$P = V \cdot I \Rightarrow \\ \Rightarrow I = \frac{P}{V} = \frac{0,4 \text{ (W)}}{12 \text{ (V)}} = 0,333 \text{ (A)}$$

Hay que tener especial cuidado con las unidades de medida, por ello conviene pasar todo a la unidad base y así evitar confusiones en los resultados.

Actividades

9. Dibuja, sobre el circuito de la Figura 3.30, cómo irá la corriente y dónde está el positivo de las tensiones en cada una de las resistencias.

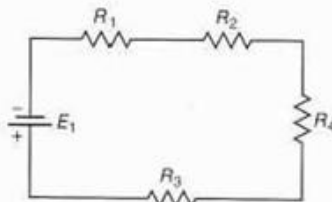


Fig. 3.30.

10. Consulta el libro de características de un teléfono móvil y localiza qué consumo de potencia tiene el aparato. Con el voltaje que tiene su batería, calcula la intensidad de corriente que tiene que proporcionar al aparato para que funcione correctamente. Para ello, utiliza las fórmulas que hemos visto para el cálculo de la potencia en corriente continua.
11. ¿Qué tensión tiene la batería de un reproductor de MP3, si sabemos que necesita una potencia de 100 mW y que por él circula una intensidad de 10 mA?
12. Cita cuatro ejemplos de generadores de continua que estén funcionando como receptores.

B. Potencia puesta en juego por un generador

Para saber si un generador se comporta como tal o como receptor, hemos de tener en cuenta el siguiente criterio (Fig. 3.31):

- Si la intensidad que circula por el circuito llega al generador por el **polo negativo**, el generador entrega potencia al circuito y por tanto actúa como **generador**.
- Si por el contrario, la intensidad llega por el **polo positivo** del generador, actúa como **receptor** de potencia.

En todos los circuitos se tiene que cumplir que la suma de la potencia entregada por los generadores debe ser igual a la suma de la potencia consumida por los receptores. Así:

$$P_{gen1} + P_{gen2} + \dots + P_{genN} = P_{receptor1} + P_{receptor2} + \dots + P_{receptorN}$$

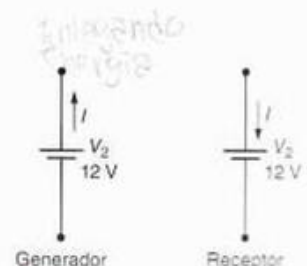


Fig. 3.31. Esquema: generador y receptor.

6. Rendimiento de un generador

En el apartado anterior explicábamos que en el circuito la potencia es entregada por un generador. Sin embargo, no toda la potencia que es capaz de producir el generador es entregada al circuito: una pequeña parte se consume en el propio generador, ya que existen elementos, tales como conexiones, etc., donde se pierde dicha potencia. Por ello, podemos adoptar la siguiente definición:

Importante

En un generador real de tensión, la diferencia de potencial en sus extremos siempre va a ser menor que la nominal, puesto que en la resistencia de pérdidas la tensión caerá cuando el generador esté conectado a un circuito y circule una corriente. Esto lo podemos expresar así:

$$V_{g\text{real}} = V_{g\text{ideal}} + V_{r\text{pérdidas}}$$

Donde:

$$V_{r\text{pérdidas}} = R_{pérd} \cdot I$$

(Aplicando la ley de Ohm)

El **generador real de tensión** es aquel formado por un generador ideal y una resistencia de pérdidas en serie.

El **esquema** es el siguiente (Fig. 3.32):

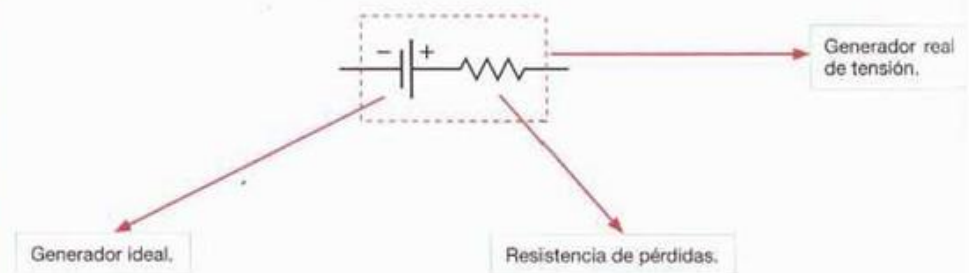


Fig. 3.32. Esquema de un generador real de tensión para corriente continua.

Por tanto, podemos expresar la **potencia** que entrega un generador como:

$$P_{\text{total}} = P_{\text{útil}} + P_{\text{perdida}}$$

La potencia útil ($P_{\text{útil}}$) es la que va a utilizar el circuito que está alimentando el generador. La potencia perdida (P_{perdida}) es la que el generador no entrega al circuito porque se pierde en lo que hemos representado con la resistencia de pérdidas.

Teniendo en cuenta lo anterior, podemos definir el **rendimiento del generador** como el cociente entre la potencia útil y la potencia total. Su **fórmula** es la siguiente:

$$\eta = \frac{P_{\text{útil}}}{P_{\text{total}}}$$

Siempre será menor que 1, puesto que la potencia útil siempre es menor que la total. En todo caso, interesa que se aproxime lo más posible a la unidad, ya que si es 1, significa que toda la potencia que proporciona el generador se está aprovechando en los receptores del circuito, y por tanto no existe ninguna pérdida.

El valor del rendimiento suele darse en tanto por ciento, simplemente multiplicando el resultado obtenido por 100:

$$\eta = \frac{P_{\text{útil}}}{P_{\text{total}}} \cdot 100 (\%)$$

Si el rendimiento del generador es del 100% (lo cual en la práctica no se podría dar) significa que toda la potencia que está desarrollando es consumida por el receptor.

Caso práctico 4: Cálculo del rendimiento de un generador

La fuente de alimentación de un ordenador tiene un circuito equivalente al mostrado en la Figura 3.33.

R_1 y E_1 forman un generador real de tensión. El valor de R_1 es de 1Ω , mientras que el valor de E_1 es de 12 V .

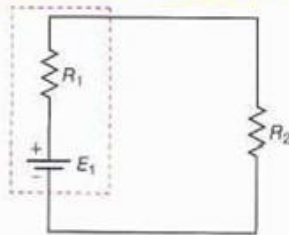


Fig. 3.33.

R_2 es la resistencia equivalente de la placa base del ordenador y tiene un valor de 200Ω (es la resistencia de carga del circuito).

Según los datos que nos ofrece el enunciado, contesta a las siguientes cuestiones:

- ¿Qué valor tiene la intensidad que circula por el circuito?
- ¿Cuál es el rendimiento del generador real de tensión?

Solución:

Simulamos el circuito (Fig. 3.34) y comprobamos el **valor de la intensidad** que circula por el mismo (igual para todos los componentes al ser un circuito en serie).

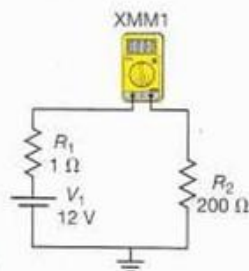


Fig. 3.34.



Fig. 3.35.

Esta es la lectura del amperímetro (Fig. 3.35), que nos da el valor de la **intensidad** que circula por el circuito. Ahora vamos a comprobar que, si realizamos el cálculo teórico de la misma, los valores coinciden.

Calculamos el valor de la intensidad aplicando la ley de Ohm. Como las dos resistencias están en serie, se sumarán sus valores, y sustituyendo en la fórmula, obtenemos: $V = I \cdot R \Rightarrow I = \frac{V}{R} = \frac{12}{200 + 1} = 0,06 \text{ A}$

(Coincide con el valor obtenido en la simulación: $0,0597 \text{ A}$)

Una vez calculada la intensidad, calculamos las **potencias** que hay en el circuito:

- **Potencia útil:** es la potencia que consume el receptor, en este caso la resistencia R_2 : $P_{R_2} = R_2 \cdot I^2 = 200 \cdot 0,06^2 = 0,72 \text{ W}$
- **Potencia que se pierde en el generador:** es la que consume la resistencia R_1 : $P_{R_1} = R_1 \cdot I^2 = 1 \cdot 0,06^2 = 0,0036 \text{ W}$
- La **potencia total** que tiene que entregar el generador será la suma de los dos valores: $P_{total} = 0,72 + 0,0036 = 0,7236 \text{ W}$
- El **rendimiento del generador** será: $\eta = \frac{P_{\text{útil}}}{P_{total}} \cdot 100 = \frac{0,72}{0,7236} \cdot 100 = 99,5\%$

Actividades

13. En el circuito de la Figura 3.36, E_1 y R_4 forman un generador real de tensión:

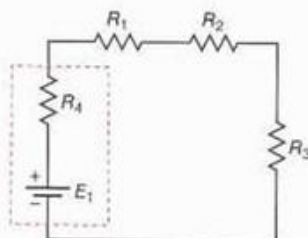


Fig. 3.36.

Datos:

$$E_1 = 20 \text{ V}$$

$$R_4 = 5 \Omega$$

$$R_1 = 10 \Omega$$

$$R_2 = 15 \Omega$$

$$R_3 = 10 \Omega$$

Calcula:

- Intensidad total que circula por el circuito.
- Potencia consumida en el circuito.
- Rendimiento del generador.

14. En el circuito de la Figura 3.37 todas las resistencias son iguales y de valor $R = 10 \Omega$. Calcula el rendimiento del generador si sabemos que $E_1 = 30 \text{ V}$.

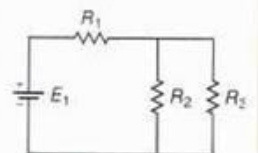


Fig. 3.37.

7. Leyes de Kirchhoff

Importante

La aplicación de las leyes de Kirchhoff para la resolución de un circuito genera un **sistema de ecuaciones** con tantas ecuaciones como incógnitas tengamos que resolver.

¿Sabías que...?

Las leyes de Kirchhoff se aplican en multitud de ocasiones en el desarrollo de la práctica profesional.

Por ejemplo, si estamos midiendo las corrientes en un determinado equipo, para saber si los valores son correctos en algún punto donde se bifurquen los conductores, necesitaremos aplicar la primera ley de Kirchhoff para poder comprobar si las medidas están bien tomadas.

Recuerda

Los signos de la tensión de los generadores se ponen según el polo por el que se llega cuando recorremos la malla.

Las leyes de Kirchhoff forman, junto con la ley de Ohm, las leyes fundamentales para el análisis de circuitos y son válidas tanto para circuitos de corriente continua como para circuitos de corriente alterna. Vamos a conocer a continuación su enunciado y cómo aplican a la resolución de cualquier circuito.

7.1. Primera ley de Kirchhoff: Ley de nudos

Enunciado de la **Ley de nudos**: en todo nudo eléctrico, la suma de las intensidades que llegan tiene que ser igual a la suma de las intensidades que salen de él (Fig. 3.38).



$$I_1 + I_2 = I_3 + I_4 + I_5$$

$$\sum I_{\text{entrantes}} = \sum I_{\text{salientes}}$$

Fig. 3.38. Esquema que representa la Ley de nudos.

7.2. Segunda ley de Kirchhoff: Ley de mallas

Enunciado de la **Ley de mallas**: en toda malla de un circuito eléctrico se cumple que la suma de la tensión existente en cada uno de los elementos tiene que ser igual a cero.

Recorriendo la malla en el sentido marcado por la flecha interior:

$$V_1 + V_2 - E_1 = 0$$

$$\sum V_i = 0 \text{ también se puede poner } \sum V_R = \sum V_{\text{pilas}}$$

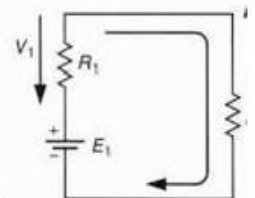


Fig. 3.39. Esquema que representa la Ley de mallas.

Caso práctico 5: Aplicación de las leyes de Kirchhoff en la resolución de un circuito de c.c.

En el circuito de la Figura 3.40, calcula la potencia disipada por la resistencia R_3 .

Datos: $R_1 = 1 \Omega$ $R_2 = 2 \Omega$ $R_3 = 3 \Omega$
 $E_1 = 6 \text{ V}$ $E_2 = 4 \text{ V}$

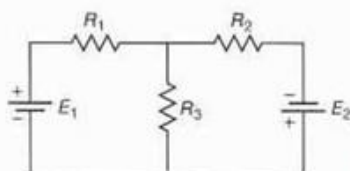
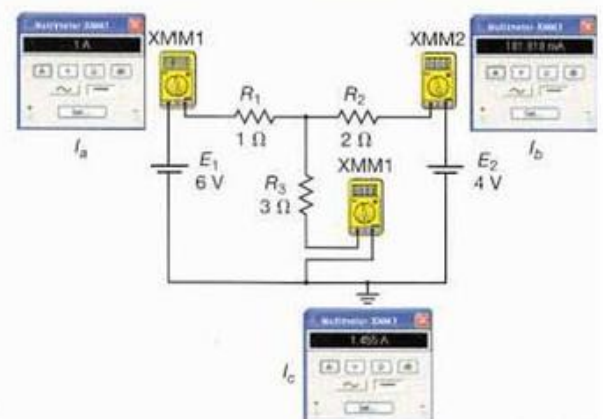


Fig. 3.40.

Solución:

Simulamos el circuito para obtener el valor de las intensidades en cada rama:



(Continúa)

Caso práctico 5: Aplicación de las leyes de Kirchhoff en la resolución de un circuito de c.c.

(Continuación)

Una vez medidos los valores en cada una de las ramas, para calcular la potencia en R_3 nos interesa el valor de I_c . Por ello, vamos a aplicar el método de Kirchhoff para hacer los cálculos y comprobar si coinciden con los valores de las intensidades que hemos medido.

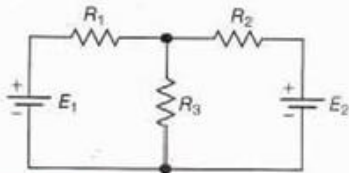


Fig. 3.41.

1. Determinación del número de nudos (n), ramas (r) y mallas del circuito.

Siguiendo los criterios que vimos al principio de esta Unidad que estamos estudiando, el circuito tiene dos nudos, tres ramas y tres mallas.

2. Aplicamos la segunda ley de Kirchhoff a las mallas, que se determinan con la siguiente fórmula:

N.º de mallas = $r - (n - 1)$; n.º de mallas = $3 - (2 - 1) = 2$; luego hay que aplicar la ley a dos mallas. Normalmente se hace que coincidan con los huecos del circuito.

3. Las incógnitas en este método de resolución son las intensidades de malla. Fijamos un sentido arbitrario para estas intensidades, con la única precaución de que vayan las **dos en el mismo sentido**. Las vamos a denominar I_a e I_b .

4. Obtenemos un sistema de dos ecuaciones, puesto que tenemos dos incógnitas. Estas ecuaciones son:

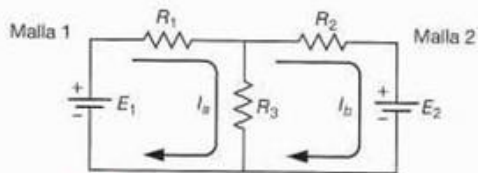


Fig. 3.42.

- Malla 1:

$$R_1 I_a + R_3 (I_a - I_b) - E_1 = 0$$

- Malla 2:

$$R_2 I_b + R_3 (I_b - I_a) + E_2 = 0$$

Para determinar las ecuaciones recorremos las mallas en el sentido marcado por las intensidades I_a e I_b .

5. Sustituimos los valores de cada uno de los elementos en las ecuaciones y resolvemos matemáticamente el sistema por cualquiera de los métodos que conocemos. Resolviendo el sistema de ecuaciones obtenemos que (y teniendo en cuenta que $I_b = 0,18$ A):

$$\left. \begin{aligned} I_a + 3(I_a - I_b) - 6 &= 0; \\ 2I_b + 3(I_b - I_a) + 4 &= 0; \end{aligned} \right\} \begin{aligned} 4I_a - 3I_b &= 6 \\ -3I_a + 5I_b &= -4 \end{aligned}$$

Si cualquiera de las dos intensidades nos sale negativa, significa que va en sentido contrario al que hemos marcado.

Coinciden con las medidas.

6. Aplicamos la primera ley de Kirchhoff en los nudos en los que nos sea necesario.

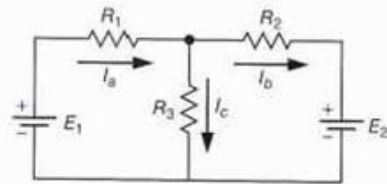


Fig. 3.43.

Como necesitamos saber la corriente que circula por R_3 , aplicamos la ley en el nudo marcado en el esquema:

$$I_a = I_b + I_c$$

De aquí despejamos el valor de I_c :

$$I_c = I_a - I_b = 1,63 - 0,18 = 1,45 \text{ A}$$

Igual que la medida.

La aplicación de la primera ley de Kirchhoff nos permite calcular las intensidades en las ramas que nos faltan. Las intensidades de malla coinciden con las intensidades de las ramas que no están compartidas en cada una de las mallas.

7. Calculamos la potencia que disipa R_3 , una vez que conocemos el valor de la intensidad que circula por ella:

$$P = R \cdot I^2 = 3 \cdot 1,45^2 = 6,3 \text{ W}$$

Actividades

15. Calcula la potencia entregada por el generador E_1 en el siguiente circuito:

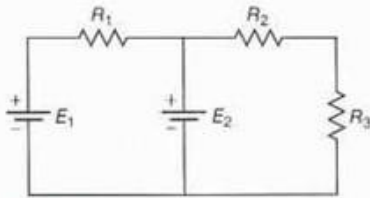


Fig. 3.44.

$$R_1 = R_2 = R_3 = 3 \Omega$$

$$E_1 = 6 \text{ V}$$

$$E_2 = 9 \text{ V}$$

16. Calcula la potencia disipada en R_4 en este circuito:

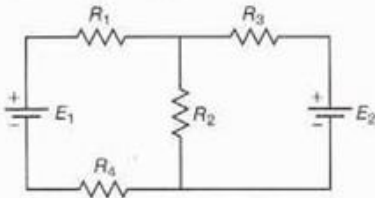


Fig. 3.45.

$$R_1 = R_4 = 10 \Omega$$

$$R_2 = 2 \Omega$$

$$R_3 = 6 \Omega$$

$$E_1 = 10 \text{ V}$$

$$E_2 = 8 \text{ V}$$

17. Rellena los valores que deben marcar los aparatos de medida que están conectados en el circuito de la Figura 3.41 e indica de qué tipo es cada uno de ellos.

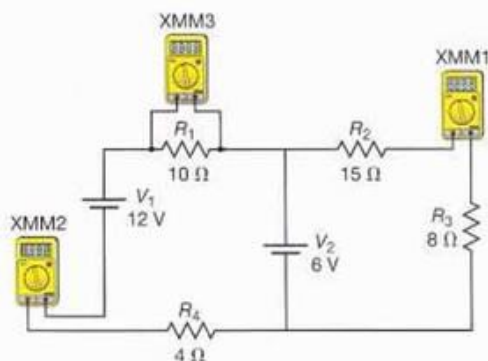


Fig. 3.46.

18. Explica, sobre la imagen del polímetro, cómo configurarías el aparato para medir una intensidad en un circuito cuyo valor calculado es de 250 mA.



Fig. 3.47.

Debes explicar:

- Escala que vas a utilizar y posición en la que debe estar colocado el selector.
 - Dónde colocarías las puntas de prueba y por qué.
 - Cómo tendría que conectarse en el punto del circuito donde vas a medir la intensidad.
19. En el circuito de la Figura 3.46, realiza un balance de potencia e indica si los generadores están entregando o absorbiendo potencia.
20. Explica el proceso que debe seguirse para medir la tensión en una resistencia de un circuito si sabemos que su valor óhmico es de 1 k Ω y circula por ella una intensidad de 10 mA.

Práctica final: Comprobación de la ley de Ohm en un circuito de corriente continua

1. Objetivo

Comprobar de forma práctica cómo se cumple la ley de Ohm en un circuito en serie, formado por tres resistencias y un generador.

El esquema eléctrico del circuito a comprobar es el que se muestra en la Figura 3.48:

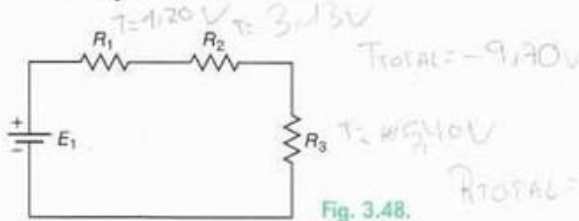


Fig. 3.48.

$$R_1 = 1 \text{ k}\Omega \quad R_2 = 3 \text{ k}\Omega \quad R_3 = 6 \text{ k}\Omega \quad E_1 = 12 \text{ V}$$

2. Materiales

- Resistores de los valores indicados en los esquemas. Deben ser todos de la misma tolerancia.
- Placa BOARD para el montaje del circuito.
- Polímetro y puntas de prueba.
- Fuente de alimentación del aula taller.
- Cables para las conexiones.

3. Técnica

a) Cálculos teóricos

1. Lo primero que hay que realizar son los cálculos de la intensidad que circula por el circuito y de la tensión que hay en cada una de las resistencias aplicando la ley de Ohm, así como anotar los valores obtenidos.
2. Calcula la resistencia equivalente de los tres resistores asociados.

b) Medidas a realizar sobre el circuito

1. Monta sobre la placa BOARD los tres resistores en serie (Fig. 3.49).

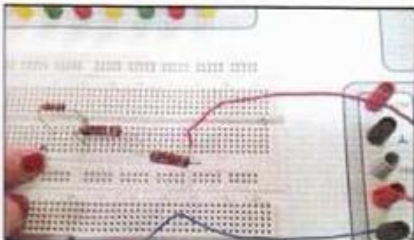


Fig. 3.49.



Fig. 3.50.



Fig. 3.51.

2. Mide con el polímetro la resistencia equivalente de los resistores en serie. Realiza la medida con la alimentación del circuito desconectada.
3. Ajusta la fuente de alimentación a 12 V y conéctala al circuito.
4. Mide con el polímetro la tensión que entrega la fuente y anota el valor.
5. Mide la tensión que hay en cada una de las resistencias (Figs. 3.50 y 3.51). Recuerda que el polímetro se coloca en paralelo con la resistencia a medir.
6. Mide la intensidad que circula por el circuito con el polímetro. Para ello, levanta la patilla de la derecha de la resistencia R_1 y conecta las puntas del polímetro entre esta patilla levantada y la resistencia R_2 .
7. Recoge los datos en la siguiente tabla:

	Valor calculado	Valor medido
I_{total}	1.96 mA	1.96 mA
V_{R_1}	1.9552 V	1.20 V
V_{R_2}	2.637 V	3.13 V
V_{R_3}	5.141 V	4.516 V
R_{eq}	11300 Ω	12000 Ω

4. Cuestiones

- ¿Está la resistencia equivalente dentro de los márgenes correspondientes? ¿Por qué?
- ¿Por qué no coincide el valor de la tensión medida en R_2 con el calculado en teoría?
- ¿Cuál es la potencia real que está entregando la fuente de alimentación al circuito?

Consulta a tu profesor ante cualquier duda que te surja a la hora de realizar las medidas con el polímetro.



Test de repaso

- En la corriente continua los electrones:
 - Circulan siempre en el mismo sentido.
 - No circulan por el conductor.
 - Cambian de sentido a medida que avanza el tiempo.
 - No se sabe cómo circulan.
- En un circuito eléctrico se denomina nudo:
 - Al punto donde se divide la tensión.
 - Al punto donde sale la corriente.
 - A la conexión del generador.
 - Al punto donde la corriente puede bifurcarse.
- La ley de Ohm relaciona:
 - La potencia y la tensión.
 - La tensión y la intensidad.
 - La intensidad, la tensión y la resistencia.
 - La intensidad y la resistencia.
- ¿Cuál es el valor de la tensión en un resistor de 1 K, por el que circula una corriente de 1 mA:
 - 1 mV.
 - 1 V.
 - 100 mV.
 - 2 V.
- La segunda ley de Kirchhoff es la de:
 - Nudos.
 - Ramas.
 - Mallas.
 - Intensidades.
- Qué potencia entrega un generador de 10 V si por el circuito hay una corriente de 100 mA:
 - 1 W.
 - 1 000 mW.
 - 0,001 kw.
 - Todas son correctas.
- El rendimiento de un generador se calcula como el cociente entre:
 - La potencia útil y la total.
 - La potencia útil y la perdida.
 - La potencia útil y la potencia consumida.
 - No existe ese parámetro.
- ¿Cuánto tiene que valer la suma de las intensidades que llegan a un nudo eléctrico?
 - 0.
 - Igual que la suma de las que salen.
 - Depende del tipo de circuito.
 - 100.
- En un circuito se denomina receptor a cualquier elemento que:
 - Ceda potencia al circuito.
 - Proporcione tensión al circuito.
 - Consuma potencia en el circuito.
 - Proporcione intensidad al circuito.
- Para medir una tensión en un circuito el polímetro se conecta:
 - En paralelo con el componente.
 - En serie con el componente.
 - Desconectando el componente.
 - En la fuente de alimentación.
- Para medir una intensidad en un circuito, el polímetro se conecta:
 - En paralelo con el componente.
 - En serie con el componente.
 - En la fuente de alimentación.
 - En los extremos del circuito.

Soluciones: 1a, 2d, 3c, 4b, 5c, 6d, 7a, 8b, 9c, 10a, 11b.

Comprueba tu aprendizaje



Manejar las leyes fundamentales del análisis de circuitos

Calcular la potencia y el rendimiento eléctricos

Resolver circuitos en corriente continua

- Un circuito consta de un generador de tensión de 20 V y de una resistencia R_1 de 10 Ω . ¿Cuál es el valor de la corriente en este circuito? ¿Qué resistencia R_2 debe añadirse en serie con R_1 para reducir la corriente a la mitad? Realiza los esquemas para este circuito.
- El circuito de la Figura 3.52 se conecta a una fuente de alimentación de 30 V. Calcula la potencia que disipan las resistencias R_4 y R_1 (todos los valores vienen dados en ohmios).

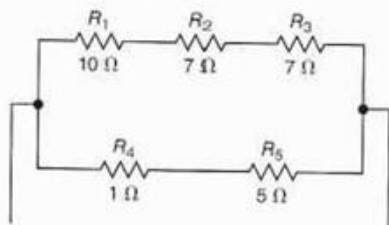


Fig. 3.52.

- Dibuja un esquema en el que se muestren dos resistencias, R_1 y R_2 , conectadas en serie a una fuente de alimentación de 100 V.
 - Si en la resistencia R_1 se mide una tensión de 30 V, ¿cuál es la tensión en R_2 ?
 - Dibuja en el esquema la polaridad de las tensiones en R_1 y R_2 .
 - Si la corriente que circula por R_1 es de 1 A, ¿cuál es la corriente que circula por R_2 ? ¿Cuál es la resistencia total a través de la fuente de voltaje? ¿Y cuál es el voltaje a través de R_1 y de R_2 ?
 - ¿Qué potencia estará entregando el generador para que el circuito pueda funcionar correctamente?
- Calcula en el siguiente circuito la potencia entregada o recibida por el generador E_2 y la disipada en la resistencia R_1 .

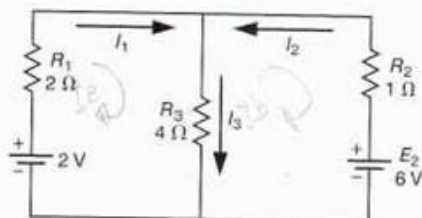


Fig. 3.53.

- Monta el circuito de la actividad anterior sobre un simulador y comprueba, conectando en el mismo los aparatos de medida adecuados, que las intensidades que has calculado coinciden con los valores que marcan dichos aparatos.
- ¿Cuánto valdrá el valor de la intensidad que circula por el circuito si todas las resistencias son iguales, de valor 2 Ω , y el valor de las pilas es $E_1 = 10$ V y $E_2 = 16$ V? ¿En qué sentido circulará?

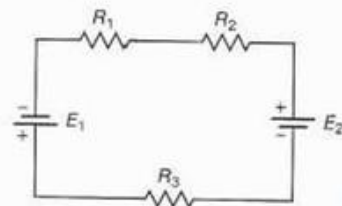


Fig. 3.54.

- La resistencia equivalente correspondiente a la asociación de tres resistencias iguales conectadas en serie es de 150 Ω , y la intensidad que circula por cada una de ellas es de 3 A. Calcula:
 - ¿Qué valor tendrá cada una de las resistencias.
 - La caída de tensión que se produce en la resistencia equivalente cuando se conectan las tres en serie.
 - La caída de tensión que se produce en cada una de las tres resistencias conectadas en serie.
 - Dibuja el esquema correspondiente.
- Contesta a las siguientes cuestiones sobre el circuito de la Figura 3.55:
 - ¿Cuántas ramas tiene el circuito?
 - ¿Cuántos nudos?
 - ¿Cuántas ecuaciones son necesarias para resolver el circuito? Justifica la respuesta.
 - ¿Qué valor marcará el aparato de medida de la figura? ¿Por qué?
 - ¿Cuál es la potencia que está poniendo en juego el generador V_2 ?
 - ¿Qué potencia está consumiendo la resistencia R_4 ?
 - ¿Cuál es el valor de la intensidad que circula por la rama de V_1 ?



Comprueba tu aprendizaje

- h) Comprueba que se cumple la primera ley de Kirchhoff en el nudo donde están conectadas R_1 , R_3 y V_2 .

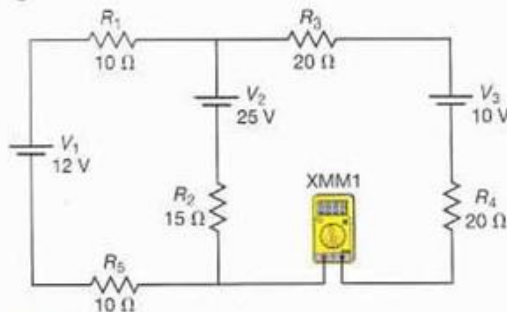


Fig. 3.55.

9. En el circuito de la Figura 3.56 se sabe que la resistencia R_1 está consumiendo una potencia de 400 W. El generador real, formado por V_g y R_g , trabaja con un rendimiento del 80%. ¿Cuál será el valor de la tensión V_g , a la vista de los datos ofrecidos en el enunciado?

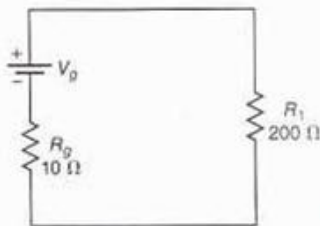


Fig. 3.56.

Tomar medidas en circuitos eléctricos

10. Explica, sobre la figura siguiente, cómo habría que preparar este polímetro para tomar la medida de una tensión de 15 V en un componente de un circuito electrónico (cómo se conectan las puntas de prueba, selección de la escala, etc.).



Fig. 3.57.

Explica también cómo habrá que configurarlo si queremos medir la intensidad que pasa por el componente, sabiendo que el valor es de 30 mA.

11. En el circuito de la Figura 3.58 queremos medir de alguna manera cuál es la potencia que está consumiendo la resistencia R_1 . Solamente disponemos de un polímetro, como el usado en el apartado anterior. Responde a las siguientes cuestiones:

- ¿Qué medidas tendrías que tomar si quisieras saber cuál es la potencia en la resistencia? Justifica la respuesta.
- Dibuja, sobre el esquema, cómo harías las conexiones correspondientes para cada una de las medidas (si son varias) que tienes que realizar.
- Al conectar el polímetro en los extremos de R_1 se ha quemado el fusible de protección. ¿Cómo estaba configurado para que haya sucedido tal cosa? ¿Por qué se ha podido producir la rotura del fusible?

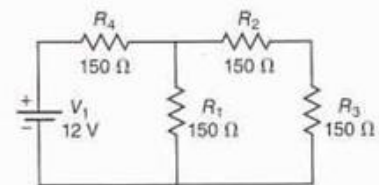


Fig. 3.58.

12. Sobre el esquema de la Figura 3.59, coloca el polímetro para medir:

- Tensión en R_4 .
- Intensidad por R_5 .
- Intensidad total del circuito.
- Intensidad en R_6 .

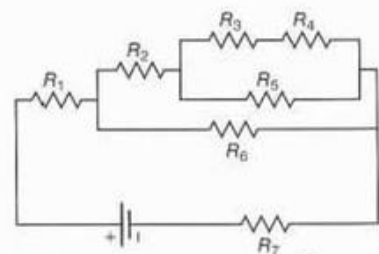
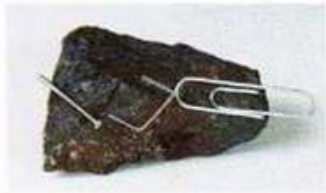


Fig. 3.59.

Explica cuál de los valores medidos anteriormente corresponde con la intensidad en R_1 .

¿Sabías que...?

La **magnetita** es de color negro y se caracteriza por poseer magnetismo natural. Tiene el siguiente aspecto:



1. Conceptos básicos del electromagnetismo

En la naturaleza se produce un fenómeno por el cual ciertos materiales, como la **magnetita**, atraen objetos metálicos.

Se denomina **magnetismo** a la propiedad que poseen los imanes para atraer ciertos elementos como el hierro o cualquier otro material ferromagnético (Fig. 4.1).

Un imán presenta dos polos magnéticos: **polo norte** y **polo sur**. Estos polos son intercambiables, es decir, si rompésemos un imán, obtendríamos dos imanes más pequeños, cada uno con sus propios polos norte y sur.

Una de las características fundamentales de los imanes es que dos polos del mismo nombre o signo (positivo o negativo) se repelen, mientras que dos de distinto nombre o signo se atraen (positivo y negativo).

Estos fenómenos magnéticos de atracción y repulsión solo se producen en zonas próximas al imán, zonas a las que se denomina **campos magnéticos**.

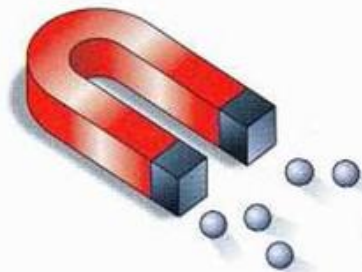


Fig. 4.1. Imán atrayendo unas bolitas de hierro.

¿Sabías que...?

La Tierra es un inmenso imán cuyos polos coinciden, aproximadamente, con los geográficos. Si suspendemos una barra magnética, el mismo extremo de la barra apuntará siempre al norte.

1.1. Líneas de fuerza

Las **líneas de fuerza** son la representación del campo magnético y tienen como principal característica el ser cerradas.

En el campo magnético de un imán, las líneas de fuerza van del polo norte al polo sur (Fig. 4.2).



Fig. 4.2. Líneas de fuerza de un imán.

@ Web

En la siguiente página web se incluyen experimentos sencillos de magnetismo:

<http://webdelprofesor.ula.ve/ciencias/labdemfi/magnetismo/html/magnetismo.html>

1.2. Flujo magnético

El **flujo magnético** consiste en la cantidad de líneas de fuerza que forman el campo magnético.

Así, si aumenta el flujo magnético, se incrementan las líneas de fuerza. Se representa con la letra Φ y su unidad es el **weber (Wb)** en el Sistema Internacional de Unidades.

1.3. Inducción magnética

La **inducción magnética**, también denominada densidad de flujo magnético, es la cantidad de flujo magnético por unidad de superficie. Es decir, se trata del número de líneas de fuerza que pasan perpendicularmente por una unidad de superficie.

La densidad de flujo magnético se representa con la letra B y su unidad es el **tesla (T)** en el SI. Su fórmula es: $B = \frac{\Phi}{S}$, siendo S la superficie en m^2 .

En la Figura 4.3 se muestra un flujo de inducción, en el que las flechas negras representarían las líneas de fuerza que están atravesando la superficie S (representada por la elipse) y la flecha amarilla representa el sector B :

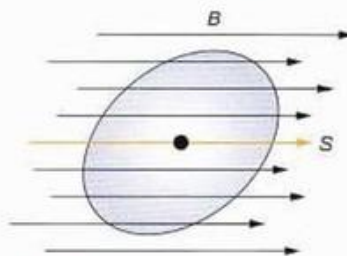


Fig. 4.3. Flujo de inducción.

Web @

En el siguiente enlace web se muestra cómo se distribuyen las líneas de fuerza en un campo magnético:

<http://webdelprofesor.ula.ve/ciencias/labdemfi/magnetismo/html/magnetismo.html>

1.4. Permeabilidad magnética

La **permeabilidad magnética** es la capacidad que poseen los materiales de carácter ferromagnético de poder incrementar las líneas de fuerza de un campo magnético, cuando se encuentran dentro de dicho campo.

La permeabilidad **absoluta** se representa con la letra μ , teniendo un valor de:

$$\mu = \frac{B}{H}$$

Siendo H la intensidad del campo magnético que indica la intensidad de este y se mide en amperios · vuelta/m; $H = \frac{N \cdot I}{L}$; L la longitud y N el número de vueltas.

Por su parte, la **permeabilidad relativa** muestra la permeabilidad de un determinado material con respecto a las características magnéticas del aire o vacío (μ_0). Se representa con la letra μ_r y su fórmula sería:

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0} \text{ (no tiene unidad)}$$

1.5. Propiedades magnéticas de la materia

La materia, desde el punto de vista magnético, se puede clasificar en materiales **ferromagnéticos**, **paramagnéticos** y **diamagnéticos**.

Los materiales **ferromagnéticos** y **paramagnéticos** son atraídos a las zonas en las que el campo magnético es más intenso; la fuerza es, en el caso de los paramagnéticos, del orden de 1 000 a 1 000 000 de veces menor que en los ferromagnéticos. Es el caso, por ejemplo, del aluminio (Al).

En cambio, los materiales **diamagnéticos** se dirigen a los puntos del campo en los que su intensidad es menor; es el caso, por ejemplo, del zinc (Zn).

¿Sabías que...?

La **permeabilidad del aire o vacío** posee un valor constante y es de:

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m} \\ \text{(henrio/metro)}$$

¿Sabías que...?

El **bismuto** y el **diamante** son materiales **diamagnéticos**, por lo que cuando interactúan con un imán son repelidos por este.

La **razón de estos comportamientos** radica en la estructura íntima de la materia, la circulación de los electrones en sus órbitas y del electrón sobre su propio eje, que sirve como una corriente y, por tanto, un campo magnético (Fig. 4.4).

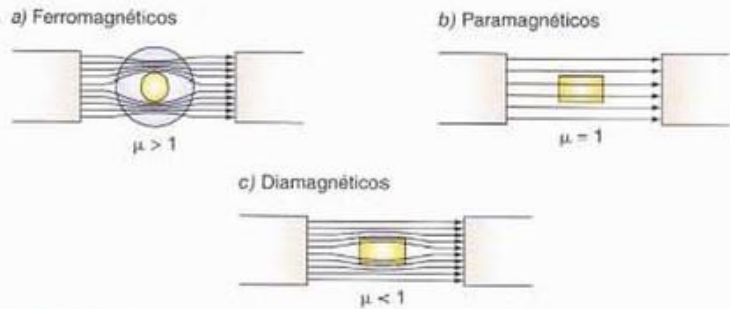


Fig. 4.4. Diferentes casos de permeabilidad.

Caso práctico 1: Identificación de los polos magnéticos terrestres

Con ayuda de una brújula (como, por ejemplo, la que se muestra en la Figura 4.5) se identifica, en el aula, el norte y el sur geográfico.



Fig. 4.5. Brújula.

Solución:

Podemos observar que la brújula señala al **norte magnético** de la Tierra, que **no coincide** con el **norte geográfico**, ya que como hemos explicado anteriormente los polos opuestos se atraen y los similares se repelen. Así, en el norte geográfico de la Tierra se encuentra el polo sur magnéticamente hablando, por lo que su opuesto (el norte, en este caso) en una brújula apunta lo contrario.

Actividades

- Un imán tiene 0,2 Wb de flujo magnético y una sección de 10 cm². Halla la inducción magnética.
- Calcula la sección de un imán cuya inducción magnética es de 3 T y el flujo magnético de 6 mWb.
- Halla el flujo magnético de un imán cuya sección es de 3 cm² y la inducción magnética de 2 T.
- Calcula la inducción magnética de un imán cuyo flujo magnético es de 8 mWb y que posee una sección de 11 cm².
- Halla la permeabilidad absoluta y el flujo magnético de una sección que frente a un campo magnético de 12000 Av/m y 6 cm² de sección es sometida a una inducción magnética de 6 T.
- Calcula la inducción magnética cuya intensidad de campo es de 10000 Av/m y la permeabilidad absoluta es de 0,0016 H/m.
- Calcula la inducción magnética cuya intensidad de campo es de 5000 Av/m y la permeabilidad absoluta es de 0,0012 H/m.

2. El electromagnetismo

Hasta hace casi dos siglos, la electricidad y el magnetismo eran considerados dos ramas distintas que, en principio, no tenían ninguna relación. Fue en el año 1819 cuando el físico y químico danés **Oersted**, a través de sus experimentos, comprobó la **relación** que existía entre la **corriente eléctrica** y el **magnetismo**.

El experimento que realizó consistió básicamente en hacer pasar una corriente eléctrica a través de un hilo conductor y, al aproximar a este hilo una brújula, comprobó que ésta se movía hacia otra dirección diferente a la que tenía antes de aproximarla al hilo conductor (Fig. 4.6).

Así, Oersted llegó a la conclusión de que aparecía un campo magnético asociado al paso de la corriente eléctrica a través de un conductor y demostró la relación que existía entre la corriente eléctrica y el magnetismo.

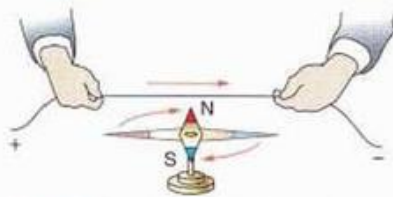


Fig. 4.6. Experimento de Oersted.

2.1. Campo magnético creado por un conductor

Las **líneas de fuerza** de un campo magnético son cerradas. Sin embargo, las líneas de fuerza de un campo magnético que haya sido creado por un **conductor** son **circulares** y el conductor debe estar en el centro de las líneas de fuerza. A su vez, el campo magnético es perpendicular al campo eléctrico en cada punto, por lo tanto, el campo eléctrico en un conductor determinará la dirección en la que se desplaza la corriente eléctrica. La Figura 4.7 lo muestra: las cargas eléctricas o electrones que se encuentran en movimiento en un determinado instante originan la aparición de un campo magnético a su alrededor que puede desviar la aguja de una brújula.

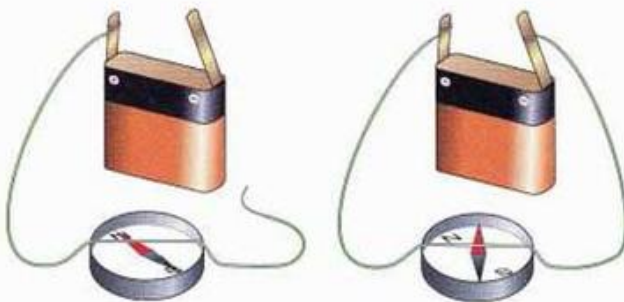


Fig. 4.7. Un conductor (cable) que recorre una corriente eléctrica.

2.2. Campo magnético creado por una bobina

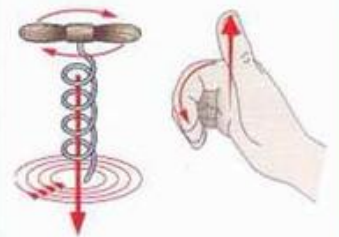
Se denomina **bobina** o **solenoides** a un conjunto de espiras dispuestas de manera paralela. A su vez, las bobinas están compuestas por una o más capas de hilo conductor, normalmente de cobre, que, así mismo, están recubiertas por una capa de esmalte para que, cuando el hilo esté enrollado, las espiras no entren en contacto con ella y se pueda producir un cortocircuito.

¿Sabías que...?

El **experimento de Oersted** ha sido uno de los más importantes en la utilización de energía eléctrica —llevó al descubrimiento del electromagnetismo y al desarrollo del motor eléctrico.

¿Sabías que...?

El sentido de las líneas de campo B vendrá dado por la regla de la mano derecha o regla del sacacorchos, tal como se muestra en la imagen:



Importante

En la siguiente figura se muestra un solenoide en el que se identifican sus polos norte y sur:

El campo magnético de una bobina o solenoide es la suma del **campo magnético producido por las espiras** que lo forman (Fig. 4.8).

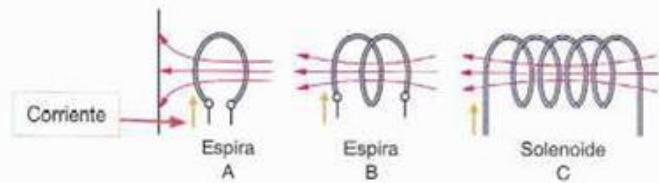


Fig. 4.8. Espiras y solenoide.

La bobina o solenoide basa su funcionamiento en los fenómenos magnéticos y eléctricos. En la Figura 4.9 podemos observar que, al circular corriente por las espiras de bobina, se crea un campo magnético.

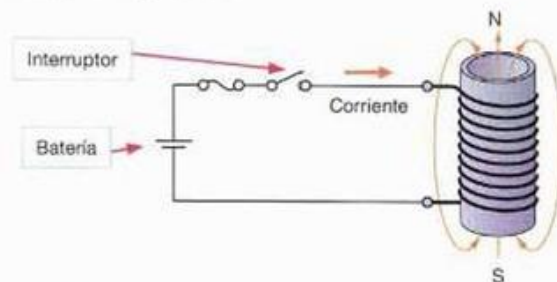


Fig. 4.9. Campo magnético creado por un solenoide.

¿Sabías que...?

La **inducción electromagnética** es el principio sobre el que se basa el funcionamiento del generador eléctrico, el transformador y muchos otros dispositivos.

2.3. Ley de Faraday. Inducción electromagnética

La inducción electromagnética fue descubierta por **Michael Faraday** y **Joseph Henry** en 1831. Si se coloca un conductor eléctrico en forma de circuito en una región en la que hay un campo magnético, y el flujo Φ a través del circuito varía con el tiempo, se puede observar una corriente en el circuito (mientras el flujo está variando). La circulación de esta corriente provoca que se produzca una fuerza electromotriz inducida, cuyo valor depende de la variación del flujo del campo magnético con el tiempo: $V = -\frac{\Phi}{t}$. El signo negativo indica el sentido de la corriente inducida y se muestra en la Figura 4.10:

Importante

Un **galvanómetro** es un aparato de medida de corrientes de valor muy pequeño; es un aparato como el que se muestra a continuación:

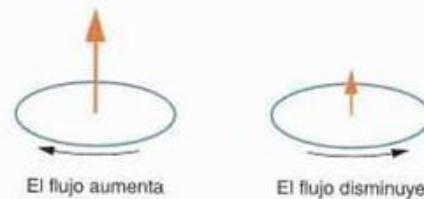


Fig. 4.10. Sentido de la corriente inducida.

Por su parte, el experimento que realizó **Faraday** consistía en lo siguiente: con dos bobinas, compuestas por cierta cantidad de espiras y colocadas cerca una de la otra sin que lleguen a tocarse, a una de las bobinas se le conectó una batería y a la otra un galvanómetro. Cuando a la bobina que estaba conectada a la batería se le hacía pasar corriente de forma intermitente, la aguja del galvanómetro se movía, pero solo los instantes en los que se conectaba y desconectaba a la batería, no observándose desviación en el galvanómetro cuando la bobina se encontraba indefinidamente conectada a la batería.

Faraday dedujo que en el flujo magnético producido por una bobina conectada a la batería, tanto en la conexión como en la desconexión, existía una variación de dicho flujo, pasando de ser nula a máxima y viceversa.

Comprobó, además, que la variación de flujo de la bobina conectada a la batería inducía en la bobina que se encontraba conectada al galvanómetro una corriente eléctrica durante la conexión y la desconexión.

En resumen, la ley de Faraday establece que la **variación del flujo magnético** tiene la capacidad de **inducir corriente** en un circuito cortado por las líneas de fuerza del campo magnético.

Caso práctico 2: Comprobación del campo magnético provocado por una corriente eléctrica

Coge del taller un núcleo de hierro y enróllalo a un cable de cobre. A continuación, conéctalo a una batería. Comprobarás que aparece una intensidad de corriente, que da lugar a un campo magnético.

Solución:

Tenemos una bobina solenoide, con núcleo de aire, construida con alambre desnudo de cobre enrollado en forma de espiral y protegido con barniz aislante. Si a esta bobina le suministramos corriente eléctrica, empleando cualquier fuente de fuerza electromotriz, como por ejemplo una batería, el flujo de la corriente que circulará a través

de la bobina da lugar a la aparición de un campo magnético con una cierta intensidad a su alrededor (Fig. 4.11).

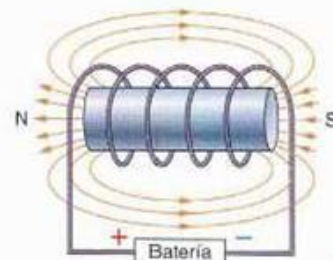


Fig. 4.11.

2.4. Compatibilidad electromagnética: inmunidad y emisividad

La **compatibilidad electromagnética** (también conocida por sus siglas **CEM** o **EMC**) es la rama de telecomunicaciones que se ocupa de las interferencias entre equipos eléctricos y electrónicos. Es la capacidad de cualquier aparato, equipo o sistema para funcionar de forma satisfactoria en su entorno electromagnético sin provocar perturbaciones electromagnéticas sobre cualquier objeto de ese entorno. Es decir, ese aparato, equipo o sistema debe ser capaz de operar adecuadamente en ese entorno sin ser interferido por otro (**inmunidad** o **susceptibilidad electromagnética**) y, además, no debe ser fuente de interferencias que afecten a otros equipos de ese entorno (**emisiones electromagnéticas**).

Web

En la siguiente web puedes ver un documento sobre compatibilidad electromagnética:

<http://www.jcee.upc.es>

Y en esta web puedes ver la compatibilidad electromagnética en telecomunicaciones:

<http://www.tuv.com>

Actividades

- Para fabricar una bobina con núcleo de aire, si sabemos que tiene un coeficiente de autoinducción de 1 mH, y su longitud y su diámetro deben ser de 3 cm, ¿cuántas espiras deberá tener la bobina?
- Calcula la intensidad de campo de una bobina que tiene 400 espiras, por la que circula una intensidad de 6 A, sabiendo que la longitud de la bobina es de 12 cm.
- Calcula la inducción magnética de un electroimán cuya intensidad de campo es de 13 000 AV/m y la permeabilidad absoluta de su núcleo ferromagnético es de 0,0013 H/m.
- Navega por las páginas web señaladas en el recuadro al margen del epígrafe 2.4, e investiga la compatibilidad electromagnética, la inmunidad y la emisividad en telecomunicaciones.
- Una inductancia sin entrehierro se construye con un devanado de 200 espiras sobre un núcleo de reluctancia de $2 \cdot 10^6$ A/Wb. Calcula el valor de la inductancia.
- Explica la ley de Faraday y busca en Internet ejemplos de esta ley.

3. El coeficiente de autoinducción y las bobinas

Importante

Aquí podemos ver dos bobinas, una con un total de 30 espiras y otra con 20 espiras:



30 vueltas

20 vueltas

El campo magnético creado por una bobina conectada a una batería es capaz de inducir una corriente eléctrica en otra bobina próxima a ella. Es decir, si tenemos una bobina por la que se hace pasar una corriente eléctrica variable, aquella generará un campo magnético también variable. Este campo magnético induce una fuerza electromotriz (fem) en cualquier otra bobina que se encuentre próxima al campo, pero también generará una fuerza electromotriz en la propia bobina, y a esta fuerza se la denomina **fuerza electromotriz de autoinducción**, oponiéndose a la fem que la creó.

La **variación del flujo magnético** en una bobina provoca que se induzcan en ella unas corrientes eléctricas. Este fenómeno se conoce con el nombre de **autoinducción en la bobina**.

3.1. El coeficiente de autoinducción

En un inductor o bobina, se denomina **inductancia**, L , a la relación entre el flujo magnético, Φ , y la intensidad de la corriente eléctrica, I .

Este coeficiente se representa con la letra L y su unidad es el **henrio (H)**. Viene dado por la siguiente fórmula:

$$L = \frac{N \cdot \Phi}{I}$$

Siendo N el número de espiras de la bobina; I la intensidad de la corriente eléctrica en amperios (A); Φ el flujo magnético en weber (Wb) y L la inductancia en henrios (H).

Caso práctico 3: Cálculo del número de espiras de una bobina

Hemos de calcular el número de espiras de una bobina por la que fluye una intensidad de 5 A, un flujo de 0,01 Wb y una inductancia de 0,3 H.

Solución:

Aplicamos la fórmula:

$$L = \frac{N \cdot \Phi}{I}$$

Como tenemos que calcular el número de espiras (N), lo despejamos de la fórmula anterior y sustituimos los valores:

$$N = \frac{L \cdot I}{\Phi}$$

$$\text{Donde } N = \frac{0,3 \cdot 5}{0,01} = 150 \text{ espiras.}$$

Actividades

- Calcula la inductancia de una bobina con una intensidad de 2 A, 120 espiras y un flujo de 0,002 Wb.
- Calcula el número de espiras de una bobina en la que fluye una intensidad de 3 A, un flujo magnético de 0,02 Wb y que tiene una inductancia de 0,2 H.
- Calcula el coeficiente de autoinducción L de una bobina con las siguientes características: 120 espiras (N); $0,2 \text{ cm}^2$ de sección de la bobina (S), y 2 cm de longitud (l), para:
 - Una bobina con núcleo de aire.
 - Una bobina con núcleo de hierro con una permeabilidad relativa (μ_r) de 28.
- Calcula el número de espiras de una bobina con los siguientes datos:
 - Intensidad de flujo de 4 mA.
 - Flujo magnético de 0,03 mWb (miliwebers).
 - Inductancia de 0,02 mH (milihenrios).
 Después pasa las unidades a A, Wb y H.

3.2. La bobina

La **bobina** es un elemento con dos terminales que genera un flujo magnético cuando se hace pasar por ella una corriente eléctrica.

Al igual que el condensador, este dispositivo almacena energía, pero en su caso lo hace en forma de campo magnético. En la actualidad se emplea con mucha frecuencia en circuitos electrónicos. Su unidad en el SI es el **henrio (H)** y sus **símbolos** los de la Figura 4.12.



Fig. 4.12. Símbolos de la bobina.

Unidades de medida

Otras unidades de medidas de las bobinas son:

Milihenrios (mH) = 0,001 H

Microhenrios (μ H) = 0,000001 H

3.3. Tipos de bobinas y aplicaciones

En el mercado es posible encontrar diversos tipos de bobinas, que se distinguen por su **núcleo** y por el **tipo de arrollamiento**. Así, la clasificación principal las agrupa en **fijas** y **flexibles**:

A. Fijas

Las bobinas fijas poseen un valor fijo de inductancia. Las más utilizadas se recogen en la Tabla 4.1:

Con núcleo de aire



En ellas, el conductor se arrolla sobre un soporte hueco que posteriormente se retira, quedando con un aspecto parecido al de un muelle. Estas bobinas pueden tener tomas intermedias, en cuyo caso se pueden considerar como dos o más bobinas arrolladas sobre un mismo soporte y conectadas en serie. Se utilizan para frecuencias elevadas.

Con núcleo sólido



Poseen valores de inductancia más altos que los anteriores debido a su elevado nivel de permeabilidad magnética. El núcleo suele ser de un material ferromagnético y los más empleados son la ferrita y el ferrocube.

De nido de abeja



Con estas bobinas, gracias a la forma del bobinado, se consiguen altos valores inductivos en un volumen mínimo. Se utilizan en los circuitos sintonizadores de aparatos de radio en las gamas de onda media y larga.

De ferrita



Arrolladas sobre un núcleo de ferrita, normalmente cilíndricos y con aplicaciones en radio, resultan muy interesantes desde el punto de vista práctico, ya que permiten emplear el conjunto como antena colocándola directamente en el receptor.

De núcleo toroidal



Se caracterizan porque el flujo generado no se dispersa hacia el exterior, debido a su forma, que crea un flujo magnético cerrado, dotándolas de gran rendimiento y precisión.

Tabla 4.1. Tipos de bobinas fijas.

B. Variables

Las bobinas variables se caracterizan porque su valor de inductancia se puede ajustar entre cero y un valor máximo (Fig. 4.13).



Fig. 4.13. Símbolo de la bobina variable.

¿Sabías que...?

Las **bobinas blindadas**, que son aquellas encerradas en una cubierta metálica cilíndrica o cuadrada para limitar su flujo electromagnético, pueden ser **variables** o **fijas**.

3.4. Identificación de las bobinas comerciales

Las bobinas se pueden identificar mediante un **código de colores** similar al de los resistores (tratados en la Unidad 2).



Fig. 4.14. Bobinas comerciales.



Importante

En una bobina, el **orden de las bandas** para identificar su valor es el siguiente:

Cifra	Cifra	Multiplicador	Tolerancia
0	0	$\times 1$	
1	1	$\times 10$	$\pm 1\%$
2	2	$\times 100$	$\pm 2\%$
3	3	$\times 1000$	$\pm 5\%$
4	4	$\times 10000$	$\pm 10\%$
5	5	$\times 100000$	
6	6	$\times 1000000$	
7	7	$\times 10000000$	
8	8	10%	
9	9	100%	

La mayoría de las bobinas son fabricadas, ex profeso, para el circuito al que se van a aplicar. No obstante, se pueden encontrar en el mercado algunas bobinas comercializadas por ciertos fabricantes, que están identificadas con el código de colores que se muestra en la Tabla 4.2:

Color	1.ª y 2.ª cifras	Multiplicador	Tolerancia
Negro	0	1	—
Marrón	1	10	—
Rojo	2	100	—
Naranja	3	1000	$\pm 3\%$
Amarillo	4	—	—
Verde	5	—	—
Azul	6	—	—
Violeta	7	—	—
Gris	8	—	—
Blanco	9	—	—
Oro	—	0,1	$\pm 5\%$
Plata	—	0,01	$\pm 10\%$
Ninguno	—	—	$\pm 20\%$

Tabla 4.2. Tabla de código de colores de las bobinas.

Por su parte, el valor nominal de las bobinas viene marcado en microhenrios (μH).



Caso práctico 4: Identificación de una bobina a través del código de colores

Identifica el valor de la siguiente bobina analizando el código de colores de la Tabla 4.2:

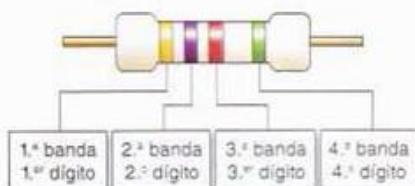


Fig. 4.15.

Solución:

Observando la Figura 4.15, comprobamos que la primera banda es el primer dígito y es de color amarillo, luego el valor es 4; la segunda banda es de color violeta, luego su valor es 7; la tercera banda es el multiplicador y es de color rojo, por lo que hemos de aplicar el multiplicador por 100, y la cuarta banda es de color verde, que es la tolerancia que no tiene valor.

Así, el valor de la bobina es: $47 \cdot 100 = 4700 \text{ mH}$.



18. Calcula el valor de la bobina con los colores marrón, rojo, amarillo y plata de la Figura 4.16:

0	0		$\times 1$	Tolerancia
1	1		$\times 10$	
2	2		$\times 100$	
3	3		$\times 1000$	
4	4		$\times 10000$	
5	5		$\times 100000$	
6	6		$\times 1000000$	
7	7		$\times 10000000$	
8	8		10%	
9	9		100%	

Fig. 4.16.

19. Identifica el valor de las siguientes bobinas:



Fig. 4.17.



Fig. 4.18.



Fig. 4.19.



Fig. 4.20.

20. Calcula el valor de las siguientes bobinas con el valor de tolerancia, analizando el código de colores:

- a) Marrón, verde, amarillo y plata.
 b) Negro, rojo, amarillo y plata.
 c) Amarillo, violeta, rojo y oro.
 d) Verde, violeta, negro y marrón.
 e) Verde, negro, violeta y rojo.

21. Indica qué colores tendrían las bobinas con los siguientes valores:

- a) $340 \pm 1\% \text{ mH}$.
 b) $4500 \pm 5\% \text{ mH}$.
 c) $23 \pm 10\% \text{ mH}$.
 d) $100 \pm 2\% \text{ mH}$.

3.5. Asociación de bobinas

En un circuito podemos encontrar bobinas conectadas en serie o en paralelo, al igual que en los resistores y los condensadores. La razón para realizar este tipo de asociaciones es intentar conseguir un determinado coeficiente de autoinducción L que no podemos conseguir con una bobina individual. Así, en la Figura 4.21 se muestran bobinas conectadas **en serie**:



Fig. 4.21. Bobinas en serie.

La **inductancia equivalente (L_{eq}) o total**, para la asociación en serie, vendrá dada por la suma de las inductancias que tengamos. Así:

$$L_{eq} = L_1 + L_2 + L_3 + \dots$$

Bobinas conectadas **en paralelo**:

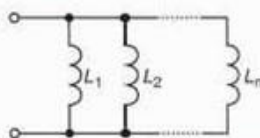


Fig. 4.22. Bobinas en paralelo.

La inductancia equivalente (L_{eq}) o inductancia total (L_T) para la asociación en paralelo

vendrá dada por: $\frac{1}{L_T} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \dots + \frac{1}{L_n}$.

Truco

Para calcular la inductancia total en una asociación en paralelo de dos bobinas (L_1 y L_2) se puede aplicar esta fórmula:

$$L_T = \frac{L_1 \cdot L_2}{L_1 + L_2}$$

Caso práctico 5: Cálculo de la bobina equivalente de diferentes asociaciones

Debemos calcular el valor de la inductancia equivalente o total para los circuitos de las Figuras 4.23 y 4.24:

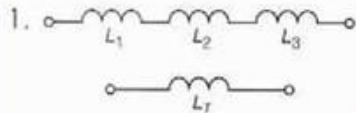


Fig. 4.23.

Siendo: $L_1 = 0,2 \mu\text{H}$; $L_2 = 0,02 \text{ mH}$; $L_3 = 2 \text{ H}$

Solución:

Para resolverlo, lo primero que tenemos que hacer es pasar todas las inductancias (L) a la misma unidad de medida. En este caso, lo pasaremos todo a henrios (H):

$$0,2 \mu\text{H} = 0,2 \cdot 10^{-6} \text{ H}$$

$$\text{Así, } 0,002 \text{ mH} = 0,02 \cdot 10^{-3} \text{ H}$$

Una vez que tengamos todas las inductancias, con la misma unidad de medida, aplicamos la fórmula de inductancias en serie:

$$L_T = L_1 + L_2 + L_3$$

Y sustituimos en la fórmula por los valores de las inductancias, obteniendo el siguiente valor:

$$L_T = 2,0000202 \text{ H}$$

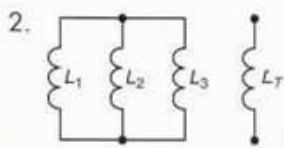


Fig. 4.24.

En este caso, si las inductancias tienen los mismos valores que en la Figura 4.23, se deben seguir los mismos pasos, es decir, primero pasar todas las inductancias a la unidad de henrios (H).

Pero en este circuito, al estar las inductancias conectadas en paralelo, aplicaremos la siguiente fórmula:

$$\frac{1}{L_T} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3}$$

Y sustituimos los valores en la fórmula, obteniendo un valor de $L_T = 1,98 \cdot 10^{-7} \text{ H}$.

3. Si lo que queremos ahora es calcular el valor de la inductancia total para dos bobinas en serie de valor $L_1 = 2 \text{ H}$ y un valor de $L_2 = 3 \text{ H}$, al estar las dos bobinas en serie, la fórmula a utilizar es: $L_T = L_1 + L_2$; sustituimos los valores y obtenemos un valor de $L_T = 5 \text{ H}$

4. Por último, para calcular el valor de la inductancia total para dos bobinas en paralelo de valor $L_1 = 3 \text{ H}$; $L_2 = 4 \text{ H}$, vamos a utilizar la fórmula de dos bobinas

$$L_T = \frac{L_1 \cdot L_2}{L_1 + L_2}$$

Y sustituyendo los valores, obtenemos:

$$L_T = 1,714 \text{ H}$$

Actividades

22. Calcula el valor de la inductancia total para cuatro bobinas en serie de valor $L_1 = L_2 = L_3 = L_4 = 3 \text{ mH}$, y pasa la unidad a henrios (H).
23. Calcula el valor de la inductancia total para las cuatro bobinas en paralelo del mismo valor que la actividad 22.
24. Calcula el valor total de inductancia de los siguientes circuitos, con valor de $4 \mu\text{H}$ cada una, y pásalo a henrios (H):

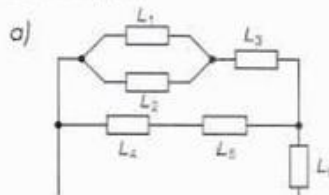


Fig. 4.25.

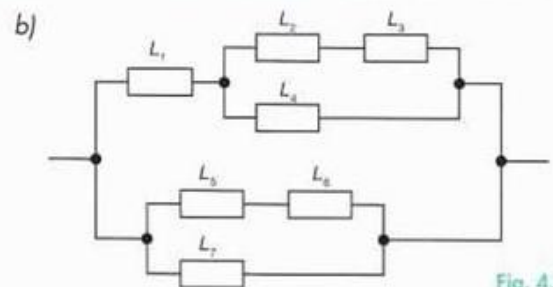


Fig. 4.26.

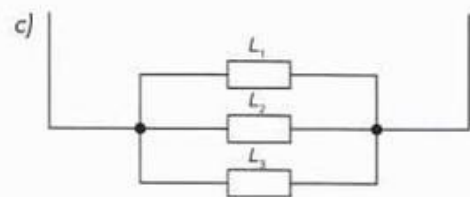


Fig. 4.27.

Práctica final: Comprobación de la bobina en corriente continua

1. Objetivo

Medir y calcular las inductancias de los circuitos de la Figura 4.28.

Los esquemas eléctricos de las asociaciones que vamos a comprobar son:

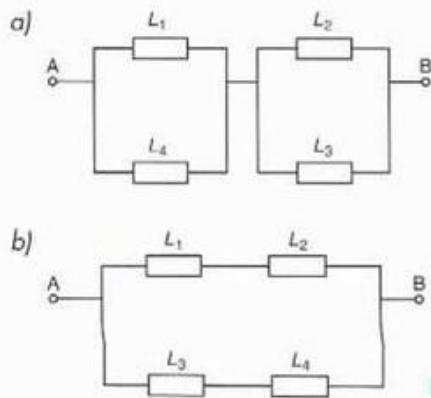


Fig. 4.28.

Con estos valores de las inductancias:

$$L_1 = L_2 = L_3 = L_4 = 33 \text{ mH} = 33 \cdot 10^{-3} \text{ H}$$

2. Materiales necesarios

- Bobinas de los valores indicados en los esquemas.
- Placa BOARD para el montaje del circuito.

3. Técnica

a) Cálculos teóricos

Lo primero que hay que realizar son los cálculos teóricos para cada uno de los circuitos. Para ello, aplicando lo que hemos visto en la teoría, calcula la inductancia equivalente de cada circuito, con los valores nominales de las bobinas (sin considerar la tolerancia), aplicando los conceptos de resolución de asociaciones mixtas.

b) Cálculos prácticos

1. Monta sobre la placa BOARD el circuito 1 (Figura 4.29).
2. Coloca el polímetro en posición de óhmetro.
3. Ajusta la escala según el valor previsto que tienes que medir.
4. Toma la lectura correcta de la medida y anota su valor (Fig. 4.30).
5. Repite la operación con el circuito 2 (Fig. 4.31).

4. Cuestiones

- a) La inductancia en corriente continua se comporta como un cortocircuito. ¿Por qué en las medidas se obtiene un valor distinto de cero?
- b) ¿Qué puede ocurrir si los valores de las inductancias no son los indicados por el fabricante?

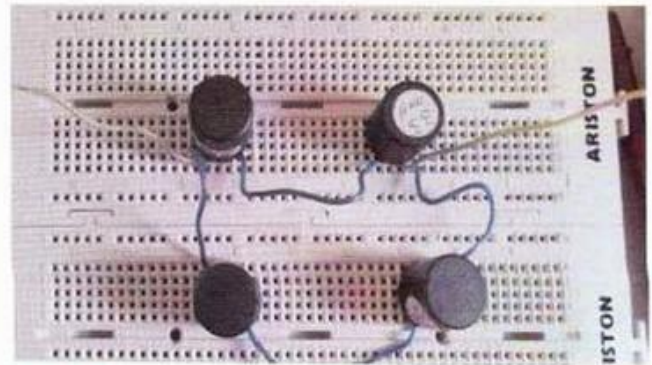


Fig. 4.29.

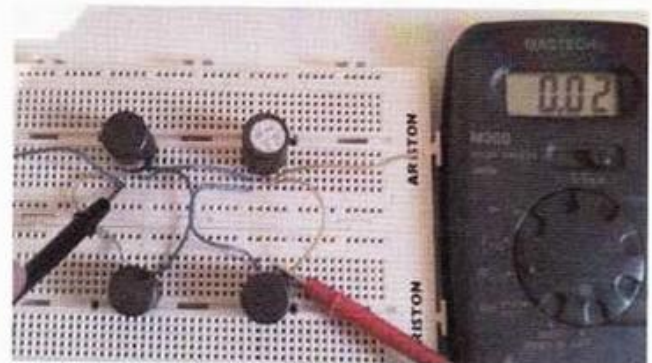


Fig. 4.30.

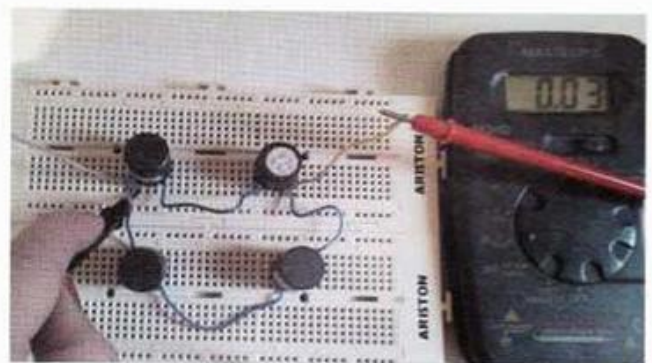


Fig. 4.31.



Test de repaso

- La inducción magnética se mide en:
 - Voltios.
 - Amperios.
 - Henrios.
 - Ohmios.
- Los materiales se pueden clasificar, desde el punto de vista magnético, en:
 - Ferromagnéticos y diamagnéticos.
 - Diamagnéticos y paramagnéticos.
 - Paramagnéticos y ferromagnéticos.
 - Ferromagnéticos, paramagnéticos y diamagnéticos.
- ¿Cuál es el valor de una bobina de 2 H en mH?
 - 200 mH.
 - 0,2 mH.
 - 0,02 mH.
 - 2000 mH.
- Indica cuál es un tipo de bobinas:
 - Núcleo de ferrita.
 - De nido de abeja.
 - De núcleo toroidal.
 - Todas son correctas.
- Una bobina con colores amarillo, violeta, rojo y verde tiene un valor de:
 - 470 H.
 - 860 H.
 - 290 H.
 - 12 H.
- ¿Qué es el flujo magnético?
 - Líneas de fuerza.
 - Líneas de carga.
 - Un campo magnético.
 - Ninguna es correcta.
- Una bobina es un dispositivo capaz de almacenar energía en forma de:
 - Energía eléctrica.
 - Energía acústica.
 - Energía magnética.
 - Energía luminosa.
- La inductancia equivalente a la asociación en serie de dos bobinas cuya capacidad es de 10 H, será:
 - 10 H.
 - 5 H.
 - 20 H.
 - 100 H.
- La FEM es:
 - La fuerza electromotriz.
 - La fuerza contra electromotriz.
 - La fuerza motriz.
 - Ninguna es correcta.
- Se pueden identificar las bobinas con el código de colores, al igual que:
 - Los resistores.
 - Los cables.
 - Las lámparas.
 - Ninguna es correcta.
- Dos bobinas de 20 H asociadas en paralelo equivalen a:
 - 10 H.
 - 30 H.
 - 40 H.
 - 5 H.
- Las líneas de fuerza de un campo magnético:
 - Son circulares.
 - Son cerradas.
 - No existen.
 - Son rectas.

Soluciones: 1c, 2d, 3d, 4d, 5a, 6a, 7c, 8c, 9a, 10a, 11a, 12b.

Comprueba tu aprendizaje



Distinguir las características de los imanes, así como los campos que originan

1. Explica las características de los imanes y pon ejemplos que conozcas.
2. Detalla las diferencias que existen entre un material ferromagnético, diamagnético y paramagnético, y pon ejemplos de cada tipo.
3. Define el concepto de líneas de fuerza y de campo magnético.

Identificar los campos magnéticos creados por conductores recorridos por corrientes eléctricas

4. Halla la inducción magnética de un electroimán con una intensidad de campo de $1\,400\text{ Av/m}$ y una permeabilidad absoluta de $0,0016\text{ H/m}$.
5. Calcula la inductancia de una bobina con una intensidad de 2 A , un número de espiras de $1\,000$ vueltas y un flujo de $0,2\text{ mWb}$.

Estudiar los componentes: las bobinas

Identificación de las bobinas

6. Explica los tipos de bobinas que existen y las aplicaciones de cada una de ellas.
7. Identifica el valor de las siguientes bobinas utilizando el código de colores:



Fig. 4.32.



Fig. 4.33.

8. Identifica, en la Figura 4.34, de qué tipo son las bobinas.

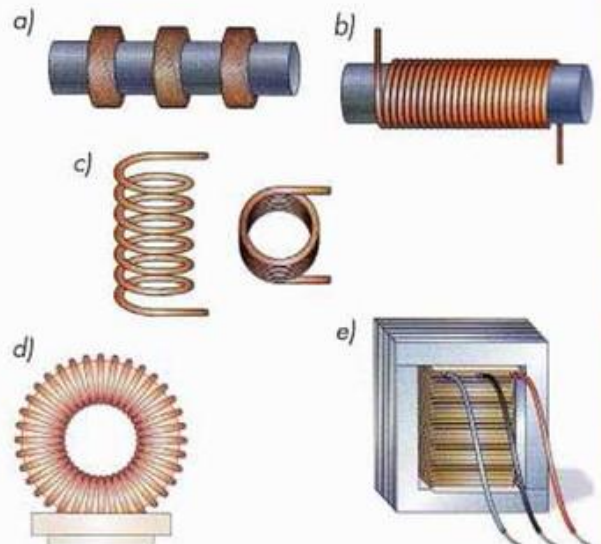


Fig. 4.34.

9. Identifica las bobinas en las siguientes placas:



Fig. 4.35.



Fig. 4.36.

Comprueba tu aprendizaje



Fig. 4.37.

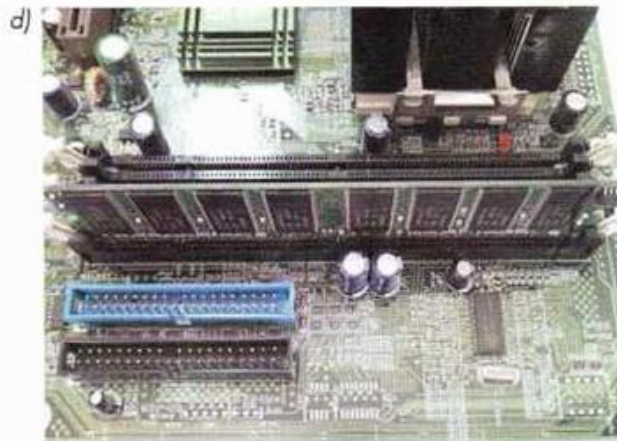


Fig. 4.38.



Fig. 4.39.

10. ¿De qué tipo es la bobina de cada una de las placas del ejercicio 9?

Calcula el valor de las bobinas del apartado c) del ejercicio 9, utilizando el código de colores.

Cálculo de inductancias

11. Calcula la inductancia total para tres bobinas conectadas en serie de un valor de $0,3\text{ H}$ cada una.
12. Calcula la inductancia total para tres bobinas conectadas en paralelo de un valor de $0,3\text{ H}$ cada una.
13. Calcula la inductancia total para cuatro bobinas conectadas en paralelo de valor $0,4\ \mu\text{H}$ cada una. Pasa la unidad de la inductancia total a henrios (H).
14. Calcula la inductancia total para los siguientes circuitos, donde $L_1 = L_2 = L_3 = L_4 = L_5 = 0,04\text{ mH}$, pasa la unidad a henrios (H).

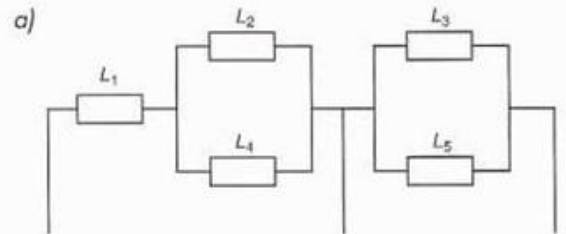


Fig. 4.40.

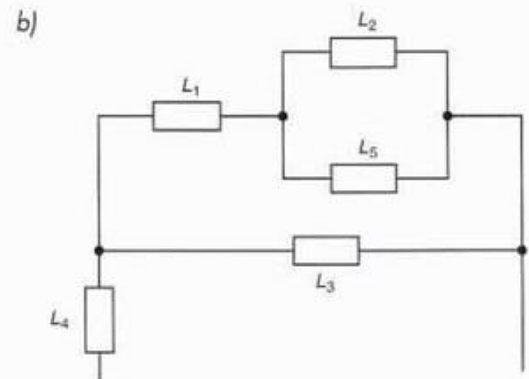


Fig. 4.41.

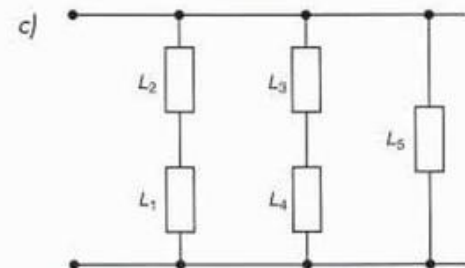


Fig. 4.42.

1. Corriente alterna. Parámetros fundamentales

Como hemos visto en la Unidad 3, existen dos tipos de corriente eléctrica: la **corriente continua** y la **corriente alterna**. La corriente alterna se caracteriza porque los electrones no circulan siempre en el mismo sentido, de donde, precisamente, procede su nombre.

Generalmente, en **telecomunicaciones**, se habla de **señal alterna**, término válido tanto para la corriente como para las tensiones, por lo que a lo largo de la unidad nos encontraremos este término con frecuencia.

Muchos fenómenos físicos (como por ejemplo el sonido) se manifiestan con señales de este tipo que, en definitiva, son ondas. En todo lo relacionado con la distribución de señales a larga distancia (por ejemplo, telecomunicaciones, emisoras de radio, conversaciones de telefonía móvil, etc.) es fundamental el conocimiento de las ondas electromagnéticas, por lo que es imprescindible conocer y manejar correctamente los parámetros de este tipo de señales.

Dentro de las **señales alternas** podemos distinguir dos grupos:

- **Señales no periódicas:** son aquellas que no se repiten a lo largo del tiempo con un determinado patrón. Un ejemplo representativo de este tipo de señales es un sonido recogido por un micrófono (transductor). En la Figura 5.1 podemos ver la representación gráfica de una señal acústica. En ella vemos que no existe un patrón que se repita a lo largo del tiempo ($t = \text{eje } X$).



Figura 5.1. Señal acústica recogida por un micrófono.

- **Señales periódicas:** son aquellas en las que un pequeño intervalo de señal, denominado **periodo**, se va repitiendo a lo largo del tiempo. Es el tipo de señal que vamos a utilizar en la mayoría de las ocasiones, por lo que a lo largo de la unidad nos centraremos en su estudio. Ejemplos de señales periódicas son los que vemos en Figura 5.2:

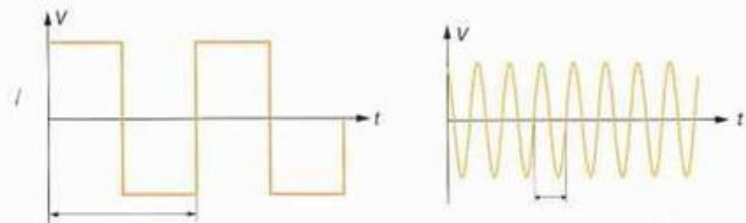


Figura 5.2. Señales periódicas. Las flechas de doble punta indican cuál es el periodo de la señal.

A Vocabulario

Transductor. Es aquel elemento capaz de convertir una señal de tipo físico (sonido, temperatura, etc.) en una señal eléctrica.

Un ejemplo es el micrófono: convierte una onda de presión (el sonido implica un desplazamiento de aire) en una señal eléctrica.

¿Sabías que...?

El estudio de la corriente alterna se realiza con **señales senoidales** fundamentalmente por dos motivos:

- Cualquier señal admite una descomposición en señales elementales senoidales.
- La tensión de la red eléctrica es una señal senoidal con una frecuencia de 50 Hz.

Se denomina **forma de onda** a la ecuación que sigue la señal alterna (la que da lugar a su representación gráfica). En electrónica, las señales más usadas son las que se muestran en la Figura 5.3.

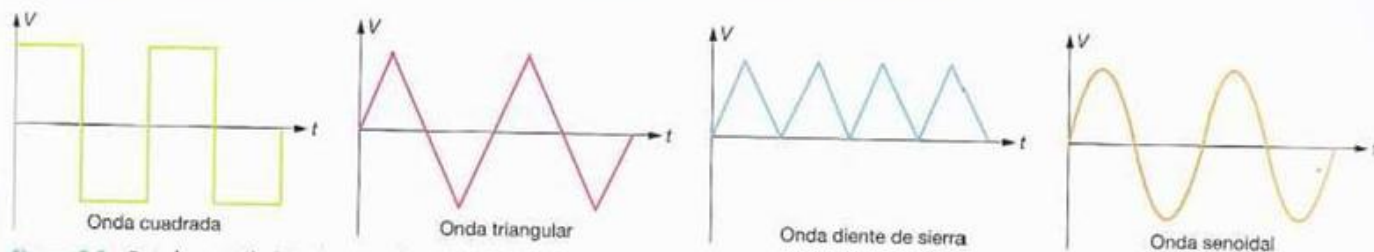


Figura 5.3. Señales más habituales usadas en electrónica.

1.1. Parámetros fundamentales de una señal alterna

El estudio de las señales alternas siempre se hace para **ondas senoidales**. Por lo tanto, vamos a ver los parámetros que caracterizan estas señales sobre una onda de este tipo (Fig. 5.4), aunque todo lo que veamos es perfectamente válido para cualquier otra forma de onda.

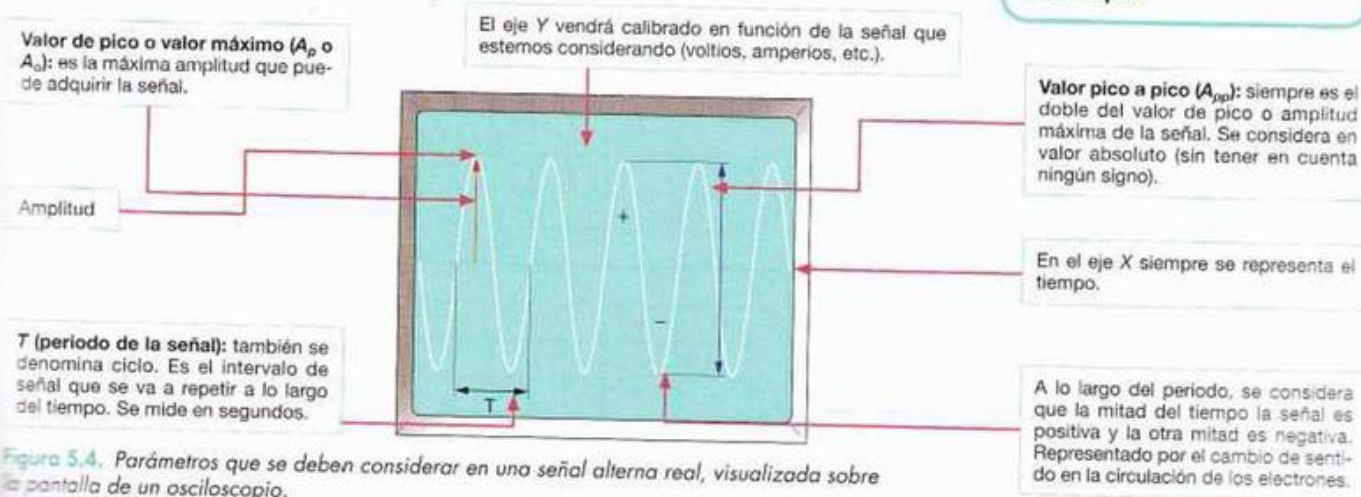


Figura 5.4. Parámetros que se deben considerar en una señal alterna real, visualizada sobre la pantalla de un osciloscopio.

Una vez que hemos visto los parámetros sobre la gráfica, vamos a definir las **magnitudes** que debemos considerar a la hora de trabajar con señales alternas.

- **Frecuencia:** se define como el número de veces por segundo que se repite el intervalo mínimo de la señal o periodo. Se calcula como la inversa del periodo, y su unidad de medida es el **hercio (Hz)**.

$$f = \frac{1}{T} \text{ Hz (s}^{-1}\text{)}$$

- **Valor de pico (A_0):** representa la amplitud máxima de la señal. Aparecerá en las fórmulas como valor máximo (V_0 si es una tensión o I_0 si es una intensidad).

- **Valor eficaz:** se calcula dividiendo el valor máximo entre $\sqrt{2}$:

$$A_{\text{ef}} = \frac{A_0}{\sqrt{2}}$$

Recuerda

La **representación gráfica** de una señal alterna siempre muestra la **amplitud de la señal** en función del tiempo.

Valor pico a pico (A_{pp}): siempre es el doble del valor de pico o amplitud máxima de la señal. Se considera en valor absoluto (sin tener en cuenta ningún signo).

En el eje X siempre se representa el tiempo.

A lo largo del periodo, se considera que la mitad del tiempo la señal es positiva y la otra mitad es negativa. Representado por el cambio de sentido en la circulación de los electrones.

Unidades de medida

Cuando trabajamos con frecuencias generalmente utilizamos los múltiplos de la unidad base:

$$1 \text{ GHz} = 10^9 \text{ Hz}$$

$$1 \text{ MHz} = 10^6 \text{ Hz}$$

$$1 \text{ kHz} = 10^3 \text{ Hz}$$

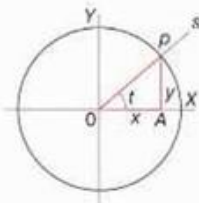
Unidades de medida

Los ángulos se pueden medir en **radianes** y **grados**. La equivalencia entre ambas unidades de medida es la siguiente:

Radianes	Grados
0	0°
$\pi/2$	90°
π	180°
2π	360°

Recuerda

La función $\text{sen}(x)$ es una función trigonométrica, es decir, está asociada a un triángulo rectángulo inscrito en una circunferencia de radio unidad, denominada **circunferencia goniométrica**:



En el triángulo rectángulo, marcado en rojo, $x = \cos t$; $y = \text{sen } t$.

Web

En la siguiente página web tienes una aplicación que te puede ayudar a entender el funcionamiento de los **fasores**:

<http://teleformacion.edu.aytolacoruna.es/FISICA/>

Es especialmente importante porque es el valor que nos indican los aparatos de medida (voltímetro, amperímetro, etc.). Se define como el valor de una corriente o tensión continua que sería capaz de proporcionar la misma **potencia** que la señal alterna sobre la que calculamos este valor.

- **Pulsación angular (ω):** se calcula mediante esta fórmula:

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f \quad (\text{rad/s})$$

- **Valor instantáneo:** es el valor que puede tomar la señal en cualquier instante de tiempo. Se calcula sustituyendo el valor de tiempo deseado en la fórmula de la señal e función del tiempo.

- **Ecuación de una señal senoidal en función del tiempo:** según la forma de onda (es decir, según sea la función seno o coseno) podemos tener las siguientes expresiones:

$$y(t) = A_0 \text{sen}(\omega t + \varphi) \quad z(t) = A_0 \text{cos}(\omega t + \varphi)$$

Donde A_0 es el valor máximo de la señal, ω es la pulsación angular y φ representa el desfase de la señal (esto último lo veremos más adelante).

1.2. Representación vectorial de una señal senoidal

Si representamos en un gráfico todos los posibles valores que puede tomar la función $\text{sen}(x)$ sobre la circunferencia goniométrica, obtenemos la representación de lo que denominamos **señal senoidal** (Fig. 5.5).

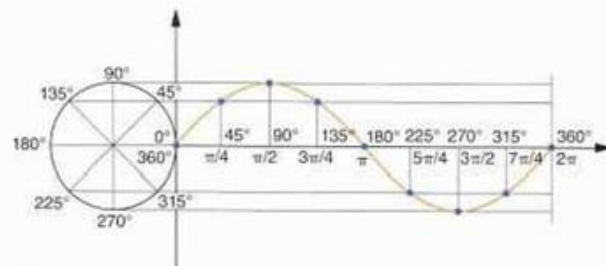


Fig. 5.5. Señal senoidal.

Como las ecuaciones instantáneas son difíciles de manejar, las señales senoidales se suelen representar a través de un **vector giratorio** denominado **fasor**. Este vector gira con una velocidad angular igual a ω (que solo nos da información de la cantidad de vueltas que realiza cada minuto), y su módulo es el valor máximo de la señal senoidal que está representando. Es importante saber a partir de qué ángulo ha empezado a girar el fasor, ya que ese ángulo es el que nos proporciona información sobre el desfase de la señal.

La Figura 5.6 nos muestra la **relación entre la onda temporal y el vector giratorio**:

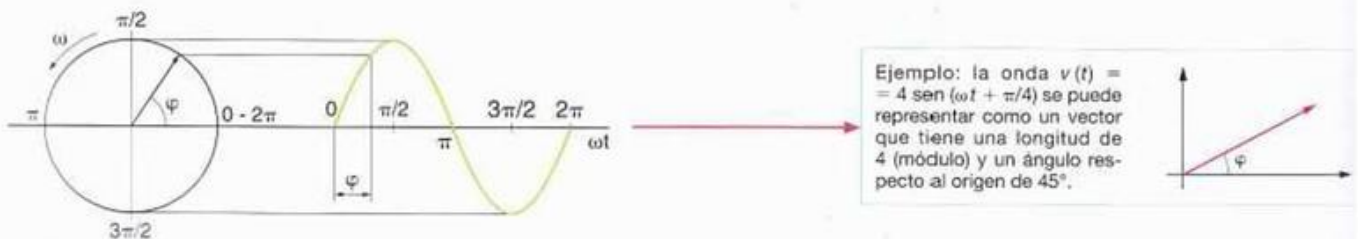


Fig. 5.6. Desfase de la señal: representa el instante que se considera como comienzo de la señal alterna.

2. Aparatos de medida para corriente alterna

A la hora de trabajar con las señales alternas, uno de los datos que nos va a proporcionar más información es poder ver cómo son físicamente, qué forma tienen, etc., y poder tomar medidas sobre ellas. Esto se consigue con un **osciloscopio**, aparato que nos permite visualizar las formas de onda de estas señales y tomar medidas de sus principales parámetros.

2.1. Utilización del osciloscopio

Aunque siempre que manejemos cualquier aparato es imprescindible que leamos su manual de instrucciones, vamos a tratar aquí el manejo de los principales mandos de un osciloscopio y cómo se toman medidas con él sobre la señal que vemos en la pantalla de la Figura 5.7, en la que podemos observar el aspecto de este aparato.

Web

En el siguiente enlace tienes un osciloscopio virtual con el que puedes practicar para coger soltura en el manejo de este aparato:

<http://www.virtual-oscilloscope.com/>

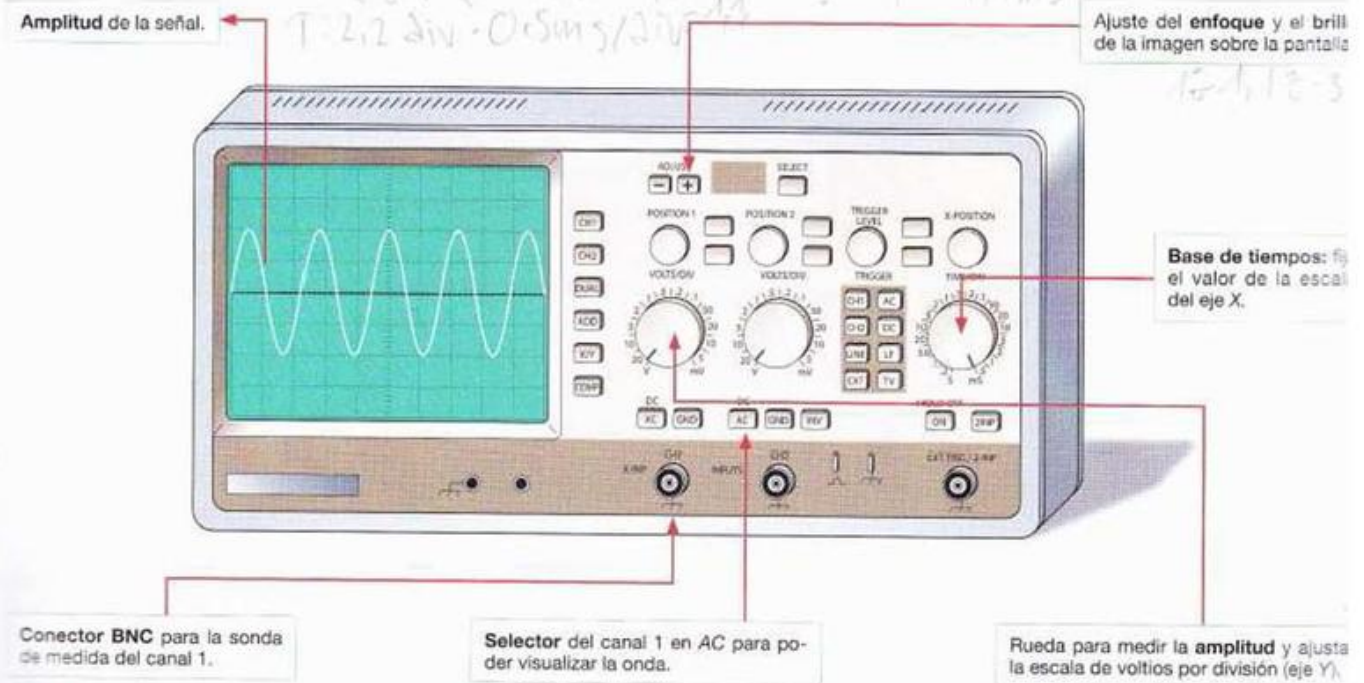


Fig. 5.7. Aspecto y elementos de un osciloscopio.

Una vez que hemos conectado los terminales de la sonda en los puntos donde vamos a tomar la medida, y cuando hemos encendido el aparato, los **pasos** que tenemos que seguir son:

- Determinar la **amplitud**. Para ello, nos fijamos en la posición en la que está fijado el mando que regula la escala: en este caso, 2 V por división (las divisiones son los cuadros que se ven en la pantalla). Como desde el centro hasta el valor de pico de la señal hay 2 cuadros, multiplicamos el número de divisiones por la escala y obtenemos el valor máximo de la onda: $2 \text{ div} \cdot 2 \text{ V/div} = 4 \text{ V}$.
- Determinar el **periodo de la señal**. Observamos en qué posición está fijada la base de tiempos. En este caso, 1 ms por división. Contamos los cuadros que corresponden a un ciclo de la señal: 2 cuadros. Multiplicando ambas magnitudes, obtenemos: $2 \text{ div} \cdot 1 \text{ ms/div} = 2 \text{ ms}$, que es el periodo de la señal. La frecuencia será, por tanto: $f = 1/2 \cdot 10^{-3} = 500 \text{ Hz}$.

Ten cuidado

El **osciloscopio** solo se puede colocar **en paralelo**, ya que únicamente mide tensiones, y no intensidades. Asegúrate de que has colocado correctamente los terminales de la sonda antes de proceder a tomar la medida.

Caso práctico 1: Identificación de una señal alterna

El osciloscopio conectado al circuito de la Figura 5.8 está mostrando en su pantalla la tensión en la salida del mismo.

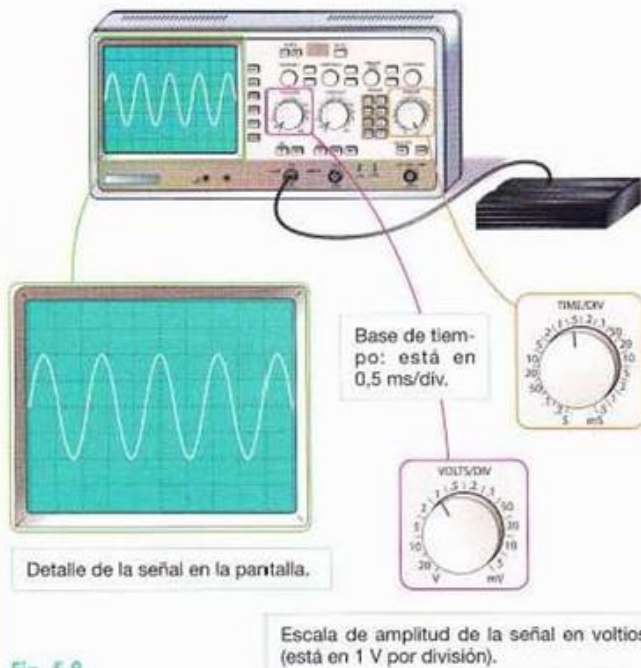


Fig. 5.8.

Calcula:

- Valor máximo.
- Valor pico a pico.
- Valor eficaz.
- Frecuencia de la señal.
- Ecuación instantánea de la señal.

(Debemos considerar que no existe ningún desfase: $\varphi = 0$)

Solución:

a) **Valor máximo:** multiplicamos el número de divisiones por lo que vale cada una (1 V). Como hay 3 divisiones tenemos: $V_0 = 3 \cdot 1 = 3 \text{ V}$.

b) V_{pp} : será el doble de V_0 , luego $V_{pp} = 6 \text{ V}$.

c) V_{ef} : dividimos el valor máximo entre $\sqrt{2}$. Así, obtenemos:

$$V_{ef} = \frac{V_0}{\sqrt{2}} = \frac{3}{\sqrt{2}} = 2,12 \text{ V}$$

d) **Frecuencia de la señal:** el periodo será 2 divisiones multiplicadas por su valor ($2 \cdot 0,5 \text{ ms} = 1 \text{ ms}$). Como es la inversa, $f = 1000 \text{ Hz}$; $\omega = 2\pi f = 6280 \text{ rad/s}$.

e) La **ecuación instantánea** será:

$$V(t) = 3 \text{ sen } 6280 t$$

Además del osciloscopio, en corriente alterna utilizaremos el **polímetro**, tanto para medir intensidades como para medir tensiones. Es importante destacar que la medida que nos da el polímetro se indica en valores eficaces (no como en el caso del osciloscopio, en el que, al trabajar con la forma de onda, estamos tratando con valores máximos).

A la hora de colocar el polímetro en un circuito, debemos tener en cuenta las mismas consideraciones que para trabajar con corriente continua.

Caso práctico 2: Medida de una intensidad en corriente alterna

Mide la intensidad en corriente alterna con el polímetro.

Solución:

El proceso de medida es similar al que hemos visto para la corriente continua: se coloca el polímetro en serie en la rama donde queremos tomar el valor.

Inicialmente, seleccionamos la escala de **amperios en alterna** (Fig. 5.9); colocamos las puntas de prueba en las bornas correspondientes (COM y 10 mA, por ejemplo) (Fig. 5.9); abrimos el circuito en el punto donde vamos a realizar la medida; seleccionamos la escala más alta, si no sabemos el valor de la corriente que puede circular, y finalmente colocamos el polímetro y tomamos la lectura.



Fig. 5.9.

3. Concepto de impedancia

En corriente continua definíamos el concepto de resistencia como la oposición que presentaban los materiales al paso de la corriente eléctrica. En corriente alterna se define un concepto análogo que es el de impedancia.

La **impedancia** es la oposición que presentan los componentes al paso de la corriente alterna. Su característica fundamental es que **no es un valor fijo**, sino que **depende de la frecuencia** de la señal (con la excepción de las resistencias, que se comportan igual en corriente continua que en alterna).

La impedancia se representa con la letra **Z** y su unidad de medida es el **ohmio (Ω)**.

3.1. Impedancia que presentan los componentes pasivos

Los componentes pasivos, como ya hemos visto, son las **resistencias**, las **bobinas** y los **condensadores**. Cada uno de ellos se comporta de manera diferente en corriente alterna, como vamos a analizar a continuación.

A. Impedancia que presenta una resistencia

La resistencia es el único componente que se comporta igual en corriente alterna que en corriente continua. Por tanto, el valor de la impedancia será:

$$Z_R = R (\Omega)$$

B. Impedancia que presenta una bobina

El valor de la impedancia de una bobina se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$X_L = \omega \cdot L (\Omega)$$

Donde L es el coeficiente de autoinducción de la bobina [dado en henrios (H)], y ω la pulsación angular de la señal alterna. X_L recibe el nombre de **reactancia inductiva**.

C. Impedancia que presenta un condensador

El valor de la impedancia en el condensador se calcula a través de la siguiente ecuación:

$$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C} (\Omega)$$

Donde C es la capacidad del condensador (en faradios), y ω la pulsación angular de la señal alterna. X_C recibe el nombre de **reactancia capacitiva**.

D. Representación vectorial de la impedancia

Del mismo modo que en el apartado anterior hablábamos de la representación de tensiones e intensidades alternas, la impedancia también se puede representar como un vector con un módulo y su correspondiente ángulo. En la Figura 5.10 podemos observar el vector correspondiente para cada una de las impedancias de los componentes pasivos:

¿Sabías que...?

En los circuitos amplificadores de telecomunicaciones, uno de los parámetros fundamentales a la hora de conectarlos con otras etapas dentro de un equipo será el valor de la impedancia que presenta a la entrada y a la salida del amplificador. Esto nos va a permitir realizar una adaptación entre todos los circuitos y que se transfiera entre ellos la máxima potencia posible.

Unidades de medida

Cuando trabajemos con las impedancias, para obtener el valor en ohmios, debemos poner:

- L en henrios.
- C en faradios.
- R en ohmios.
- ω en rad/s. Ten especial cuidado con este valor, puesto que en telecomunicaciones las frecuencias que se usan suelen ser bastante elevadas (del orden de MHz). Pasa siempre el valor de la frecuencia a Hz para no tener problemas en los cálculos. De esta forma, al multiplicar Hz por 2π , el resultado te dará en rad/s.

¿Sabías que...?

La corriente continua se puede considerar como una corriente alterna cuya frecuencia es cero (y por tanto, $\omega = 0$).

De esta forma, la impedancia de una bobina en corriente continua será $X_L = \omega \cdot L = 0 \cdot L = 0$ (equivale a un cortocircuito).

La impedancia del condensador en continua será:

$$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C} = \frac{1}{0 \cdot C} = \infty$$

Y por lo tanto equivale a un circuito abierto (no puede circular corriente a través de él).



Recuerda

A la hora de realizar cálculos, la impedancia de la bobina siempre se considera positiva y la del condensador negativa, debido al ángulo de cada uno de los vectores.

Impedancia del **condensador**: vector de módulo X_C y ángulo -90° .



Impedancia de la **bobina**: vector de módulo X_L y ángulo $+90^\circ$.

Impedancia de la **resistencia**: vector de módulo R y ángulo de 0° .

Fig. 5.10. Vectores para las impedancias de los componentes pasivos.

Debemos tener cuidado cuando hagamos sumas de impedancias porque no se pueden sumar como números, sino que tendremos que realizar la suma de los vectores con pendientes.

3.2. Impedancia equivalente en un circuito RLC en serie

Las asociaciones de impedancias se efectúan igual que las asociaciones de resistencias (que hemos visto en la Unidad 2). Por tanto, si tenemos un circuito en serie formado por una bobina, una resistencia y un condensador (circuito RLC), la impedancia equivalente será la suma de las tres impedancias, pero teniendo en cuenta que será la suma vectorial, tal y como acabamos de ver. Las situaciones que podemos encontrar en este caso son las que se representan en las Figuras 5.11, 5.12 y 5.13.

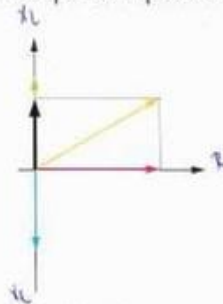


Fig. 5.11. $X_L > X_C$.

Cuando $X_L > X_C$, la suma de los dos vectores de impedancia queda por encima del eje X. El **ángulo** del vector de la impedancia equivalente de los tres elementos será **mayor que 0**, y por tanto diremos que el circuito tiene un carácter **inductivo**.



Fig. 5.12. $X_L < X_C$.

Cuando $X_L < X_C$, la suma de los dos vectores de impedancia queda por debajo del eje X. El **ángulo** del vector de la impedancia equivalente de los tres elementos será **menor que 0**, y por tanto diremos que el circuito tiene un carácter **capacitivo**.

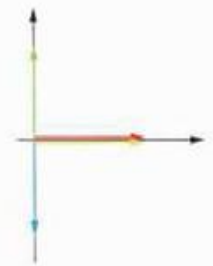
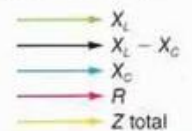


Fig. 5.13. $X_L = X_C$.

Si $X_L = X_C$, al restarlos se anulan y por tanto la **impedancia** equivalente coincide con el valor de la **resistencia**.

Leyenda: vectores de las figuras (Figs. 5.11, 5.12 y 5.13)



El módulo del vector de la impedancia equivalente lo calcularemos aplicando el teorema de Pitágoras:

$$|Z_{\text{total}}| = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

El ángulo del vector de la impedancia total lo calcularemos aplicando la fórmula trigonométrica:

$$\omega = \arctg \frac{X_L - X_C}{R}$$

Caso práctico 3: Cálculo de la impedancia equivalente de un circuito en serie RLC

La **impedancia de entrada** de un circuito amplificador para un **teléfono móvil** tiene un circuito equivalente como el de la Figura 5.14. En él, los valores de los componentes son: $R = 20 \Omega$, $L = 5 \text{ H}$ y $C = 0,004 \text{ F}$. La pulsación del generador del circuito es $\omega = 10 \text{ rad/s}$. Calcula la **impedancia equivalente** de los tres componentes asociados en serie.

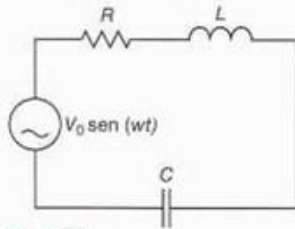


Fig. 5.14.

Solución:

Lo primero que tenemos que hacer es calcular la impedancia de cada uno de los componentes en función de la frecuencia del generador del circuito. Como nos han dado el dato de la pulsación angular, ya no tenemos que calcularla, y así las impedancias de la bobina y el condensador serán:

$$X_L = \omega \cdot L = 10 \cdot 5 = 50 \Omega$$

$$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C} = \frac{1}{10 \cdot 0,004} = 25 \Omega$$

El módulo de la impedancia del circuito será:

$$\begin{aligned} |Z_{\text{total}}| &= \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \\ &= \sqrt{20^2 + (50 - 25)^2} = 32 \Omega \end{aligned}$$

Y el ángulo del vector de la impedancia se calculará así:

$$\varphi = \arctg \frac{X_L - X_C}{R} = \arctg \frac{25}{20} = \arctg 1,25 = 51,34^\circ$$

Finalmente, la representación gráfica de este vector sería la que se muestra en la Figura 5.15. El circuito es inductivo, porque el valor de la impedancia de la bobina es mayor que el de la impedancia del condensador.

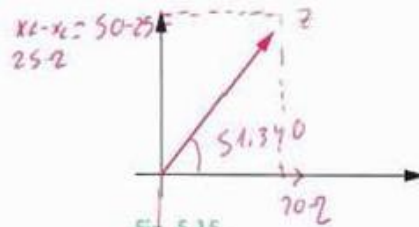


Fig. 5.15.

Actividades

1. Calcula la impedancia que presentan una bobina de $L = 3 \text{ H}$ y una resistencia en serie de $R = 20 \Omega$, si se conectan a un generador de corriente alterna cuya ecuación es:

$$V(t) = 10 \sin 20 t (v)$$

Dibuja el diagrama de los vectores de las tres impedancias.

2. Indica cuál es la frecuencia de un generador de corriente alterna si sabemos que un condensador de 10 mF , conectado a él, tiene una impedancia de 10Ω .
3. Explica qué ocurre con la impedancia de un condensador a medida que vamos aumentando la frecuencia.
4. Señala para qué frecuencias una bobina equivale a un circuito abierto. Explica por qué.
5. Investiga qué frecuencias utilizan los teléfonos móviles en sus comunicaciones y qué frecuencias se usan en las emisoras de radio de FM.
6. Indica cuál sería la impedancia total en un circuito en serie RLC, si los componentes tienen los siguientes valores: $R = 10 \Omega$; $L = 2 \text{ H}$ y $C = 3 \text{ F}$, teniendo en cuenta que se encuentran conectados a un generador cuya frecuencia es de 100 Hz .
7. Calcula el valor que debe tener un condensador que se conecta en serie con una bobina de $L = 4 \text{ H}$, si queremos que la impedancia (en módulo) de los dos componentes sea igual. La frecuencia del generador es $f = 50 \text{ Hz}$.

1. $V(t) = 10 \sin 20 t$
 $i(t) = I_0 \sin(\omega t + \varphi)$
 $X_L = \omega L = 20 \cdot 3 = 60 \Omega$
 $|Z_{\text{total}}| = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{20^2 + 60^2}$
 $= 63,24 \Omega$
 Diagrama de vectores:
 $\varphi = \arctg \frac{X_L - X_C}{R} = \arctg \frac{60 - 0}{20} = \arctg 3 = 71,57^\circ$
 5) $\omega = 2\pi f = 2\pi \cdot 100 = 200 \text{ rad/s}$
 Tfn. móvil: $800 \text{ a } 1700 \text{ MHz}$

4. La ley de Ohm en corriente alterna

Importante

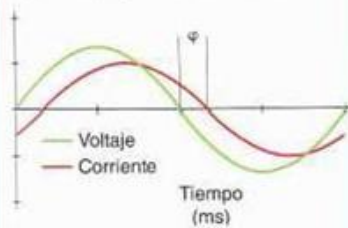
Cuando **divides** dos vectores, el módulo del vector resultante es el cociente de los módulos de los dos, y el ángulo se calcula restando el ángulo del vector del numerador menos el ángulo del vector del denominador.

Si lo que haces es **multiplicarlos**, el módulo resultante es el producto de los módulos y el ángulo la suma de los ángulos de cada uno de los vectores.

Los **sumas** y **restas** de ángulos se efectúan considerando los signos que tengan.

Importante

La representación del **desfase** entre la tensión y la intensidad, en el dominio del tiempo, quedaría de la siguiente manera:



La intensidad va retrasada respecto a la tensión, como en los vectores representados.

En los circuitos de corriente alterna se aplican las mismas leyes de análisis que hemos visto para el caso de la corriente continua.

Así, al igual que ocurría entonces, una de las leyes fundamentales es la **ley de Ohm** que relaciona la **tensión (V)**, la **intensidad (I)** y, en este caso, la **impedancia (Z)**, de la forma que podemos expresar sus correspondencias de la siguiente manera:

$$V = I \cdot Z$$

Hay que recordar, a la hora de manejar la ley de Ohm en corriente alterna, que, como hemos visto antes, tanto las tensiones y las corrientes como las impedancias son **vectores**, por lo que debemos tener esto en cuenta a la hora de efectuar los cálculos.

4.1. Concepto de desfase

La existencia de una impedancia en un circuito va a provocar que entre la intensidad que circula por él y la tensión exista un ángulo (entre ambos vectores) que se denominará **ángulo de desfase**. En la representación vectorial de todos los elementos del circuito siempre se toma un vector como referencia para colocar los ángulos de los demás, que se le asigna el valor de desfase 0° . A partir de aquí, colocaremos el resto de vectores. En un circuito en serie, el vector de referencia es el de la intensidad, como podemos observar en la Figura 5.16:

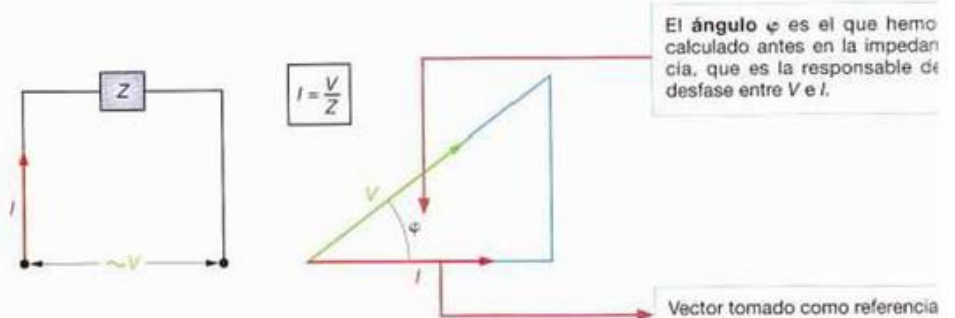


Fig. 5.16. Representación gráfica de la ley de Ohm en corriente alterna.

Actividades

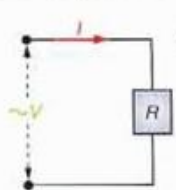
- Conectamos un condensador de capacidad 2 F a un generador de corriente alterna, con una frecuencia de 100 Hz , y cuyo valor máximo es de 50 V .
Calcula:
 - La impedancia que presenta el condensador.
 - El valor de la intensidad que circula por el circuito.
 - El valor de la corriente del circuito si se duplica el valor de la frecuencia del generador.
- Calcula la intensidad que circula por un circuito en serie formado por una bobina de $L = 3 \text{ H}$, y una resistencia de $R = 6 \Omega$, conectadas a la red eléctrica (220 V eficaces y frecuencia de 50 Hz).
 - ¿Cuál es el valor máximo de la intensidad calculada?
 - ¿Qué tensión podríamos medir en la resistencia conectamos un voltímetro?
 - ¿Cuál sería el valor máximo de la tensión que podríamos medir en la bobina?

4.2. Comportamiento de los componentes pasivos ante la corriente alterna

Una vez que hemos calculado la impedancia correspondiente a cada uno de los componentes pasivos, vamos a ver qué **relación** existe entre la **tensión** y la **intensidad** en cada uno de ellos, así como el **desfase** que se produce.

A. Resistencia

Cuando aplicamos una tensión alterna (V) en los extremos de una resistencia, según lo que hemos visto acerca de la ley de Ohm, se produce una circulación de corriente (I) por el circuito. La característica fundamental del comportamiento de la resistencia en esta situación es que no produce ningún desfase entre la tensión y la intensidad. Se puede representar gráficamente de la siguiente manera (Figs. 5.17, 5.18 y 5.19):



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

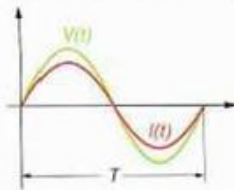


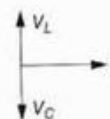
Fig. 5.17. Circuito.

Fig. 5.18. Ondas de las señales.

Fig. 5.19. Vectores de las señales.

Truco

Una forma fácil de recordar los **desfases** entre la tensión y la intensidad es acordarse del siguiente dibujo:



B. Bobina

Si en los extremos de una bobina conectamos un generador de tensión alterna, se produce una intensidad por el circuito que podemos calcular aplicando la ley de Ohm como: $I = \frac{V}{X_L}$. El desfase que existe entre la tensión y la intensidad es de 90° , estando la intensidad retrasada con respecto a la tensión. Gráficamente lo podemos representar así (Figs. 5.20, 5.21 y 5.22):

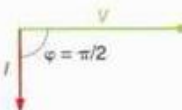
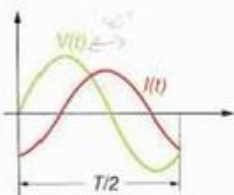
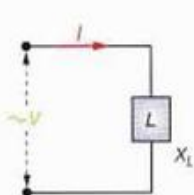


Fig. 5.20. Circuito.

Fig. 5.21. Ondas de las señales.

Fig. 5.22. Vectores de las señales.

C. Condensador

Como en los casos anteriores, el condensador hace que circule una corriente cuyo valor, aplicando la ley de Ohm, será: $I = \frac{V}{X_C}$. Esta intensidad estará desfasada 90° respecto a la tensión, pero al contrario de lo que ocurría en la bobina, ahora la intensidad va adelantada respecto a la tensión. Lo podemos representar gráficamente de la siguiente manera (Figs. 5.23, 5.24 y 5.25):

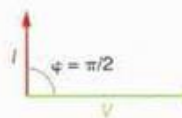
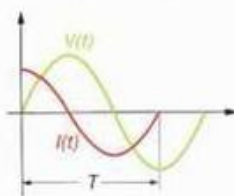
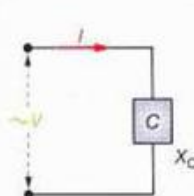


Fig. 5.23. Circuito.

Fig. 5.24. Ondas de las señales.

Fig. 5.25. Vectores de las señales.



Caso práctico 4: Cálculo de la intensidad que circula por un circuito RLC en CA

Calcula la intensidad que circula por un circuito RLC, formado por $R = 20 \Omega$, $X_L = 40 \Omega$ y $X_C = 20 \Omega$, y alimentado por un generador de tensión cuyo valor máximo es de 200 V.

Solución:

Para calcular el valor de la intensidad vamos a aplicar la ley de Ohm en corriente alterna. Primero necesitamos conocer cuál es el valor del vector de la intensidad tanto en módulo como en ángulo:

El módulo de la impedancia equivalente del circuito será:

$$\begin{aligned} |Z_{\text{total}}| &= \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \\ &= \sqrt{20^2 + (40 - 20)^2} = 28,28 \Omega \end{aligned}$$

El ángulo del vector de la impedancia será:

$$\begin{aligned} \varphi &= \arctg \frac{X_L - X_C}{R} = \arctg \frac{20}{20} = \\ &= \arctg 1 = 45^\circ \end{aligned}$$

Si aplicamos la ley de Ohm, el cálculo de la intensidad será: $i(t) = \frac{V(t)}{Z}$. Esta es la expresión instantánea, pero es bastante incómoda de manejar para efectuar los cálculos. Lo que hacemos entonces es sustituir el valor de la tensión y de la impedancia por sus fasores (módulo y ángulo), quedándonos entonces la siguiente expresión:

$I = \frac{V}{Z}$ expresando los dos términos como fasor; sustituyendo $I = \frac{200|0^\circ}{28,28|45^\circ}$. El resultado lo obtenemos como el

cociente de los módulos y la resta de los ángulos. El módulo de la intensidad será:

$$|I| = \frac{|V|}{|Z|} = \frac{200}{28,28} = 7,07 \text{ A}$$

Y el ángulo será $\varphi = 0 - 45 = -45^\circ$ con respecto a la tensión. Esto quiere decir que la intensidad va retrasada con respecto a la tensión, debido a que el circuito se comporta como si fuese una bobina, puesto que al ser la impedancia de la bobina mayor que la del condensador, predomina el efecto de la primera.

Hay que tener claro que el ángulo φ se da entre los dos vectores, intensidad y tensión, y es independiente de la posición en que se dibujen. No es un ángulo desde el eje X. Si lo representamos en el plano, quedará como se muestra en las Figuras 5.26 y 5.27:

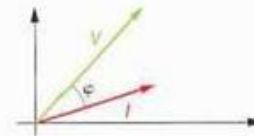


Fig. 5.26.

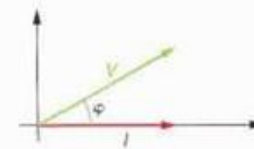


Fig. 5.27.

Esta es la representación normal del circuito en serie, tomando como origen de fases el vector de la intensidad.



Actividad

10. En el circuito de la Figura 5.28, calcula la intensidad que circula por él y representa un diagrama en el que se vean los vectores de la tensión y de la intensidad.

Indica si el circuito es inductivo o capacitivo, razonando la respuesta.

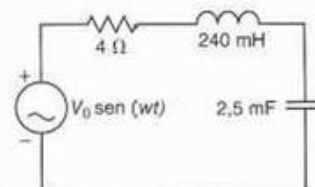


Fig. 5.28. $e(t) = 100 \text{ sen } 50t$

5. Concepto de resonancia. Circuitos resonantes

En todos los circuitos de tipo RLC existe una frecuencia para la cual la intensidad y la tensión están en fase. Esta frecuencia es aquella para la cual las impedancias X_L y X_C son iguales, y por tanto se anulan, quedando como impedancia equivalente el valor de la resistencia. A esta frecuencia la denominamos **frecuencia de resonancia** del circuito y se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

A la frecuencia de resonancia, la impedancia de la bobina y el condensador son iguales: $\omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C}$. Por este motivo, el módulo de la impedancia total del circuito es el menor posible, y su valor coincide con el de la resistencia. En este momento, el módulo de la impedancia es el menor que se puede dar para cualquier frecuencia, y por tanto la intensidad que circula por el circuito será máxima, tal como podemos observar en la Figura 5.29.

La **resonancia** es un fenómeno muy utilizado en los equipos de telecomunicaciones, en el diseño de circuitos sintonizadores, en los filtros, etc.



Fig. 5.29. Frecuencia de resonancia.

Importante

En resonancia, se define el **factor de calidad Q** como el cociente entre la reactancia (de la bobina o el condensador) y la frecuencia (de la resonancia y de la resistencia):

$$Q = \frac{X_L}{R} = \frac{X_C}{R}$$

Nos facilita una idea del número de veces que puede aumentar la tensión del circuito a la frecuencia de resonancia.

Caso práctico 5: Circuito sintonizador de emisoras de radio

Un aparato de radio lleva un sintonizador de emisoras cuyo esquema es el de la Figura 5.30.

Los valores de los componentes son: $R = 100 \Omega$, $L = 2 \text{ H}$. El condensador es variable para que se puedan sintonizar las emisoras de radio.

Queremos sintonizar las emisoras *Los 40 Madrid* (93,9 MHz) y *Los 40 Guadalajara* (99,8 MHz).

Calcula la capacidad que debe tener el condensador en cada uno de los casos.

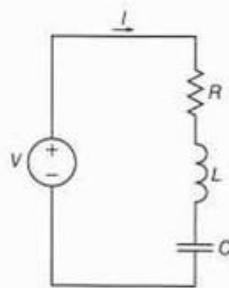


Fig. 5.30.

corresponde al circuito. A partir de la fórmula que hemos explicado, despejamos el valor de la capacidad:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \Rightarrow \text{despejando } C = \frac{1}{(2\pi f_0)^2 \cdot L}$$

Si sustituimos los valores correspondientes, obtenemos lo siguiente:

- Para $f_0 = 93,9 \cdot 10^6 \text{ Hz}$

$$C = \frac{1}{(2\pi f_0)^2 \cdot L} = \frac{1}{(2\pi \cdot 93,9 \cdot 10^6)^2 \cdot 2 \cdot 10^{-6}} = 1,43 \cdot 10^{-12} \approx 1,43 \text{ pF}$$

- De igual modo, para $f_0 = 99,8 \cdot 10^6 \text{ Hz}$

$$C = \frac{1}{(2\pi f_0)^2 \cdot L} = \frac{1}{(2\pi \cdot 99,8 \cdot 10^6)^2 \cdot 2 \cdot 10^{-6}} = 1,27 \cdot 10^{-12} \approx 1,27 \text{ pF}$$

Solución:

Para cada uno de los casos que nos presentan, la frecuencia de la emisora es la frecuencia de resonancia que

Actividades

11. Investiga qué tipos de condensadores variables se están montando en los circuitos de sintonía de los equipos de radio actuales. Busca las características de algún modelo comercial y apunta en tu cuaderno los datos más significativos de cada uno de ellos.

12. La resonancia eléctrica también se produce para circuitos RLC en paralelo. Busca alguna aplicación en la que se utilice un circuito de este tipo.

¿Se calcula igual la frecuencia de resonancia que en un circuito en serie?

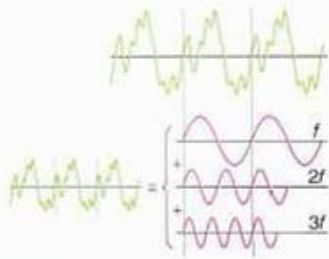


Fig. 5.31. Descomposición de una señal periódica en armónicos.

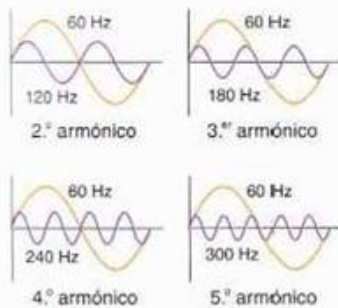


Fig. 5.32. Ejemplo de armónicos de una señal alterna cuya frecuencia fundamental (primer armónico) es de 60 Hz.

6. Armónicos de una señal alterna

En el campo de las telecomunicaciones, cualquier **función periódica no senoidal** puede ser descompuesta como la **suma** de una función senoidal, cuya frecuencia fundamental será igual a la de la señal no senoidal, y de otras funciones senoidales, cuyas frecuencias son **múltiplos enteros** de la frecuencia fundamental. Estas funciones adicionales son conocidas como **armónicos** (Fig. 5.31).

En los sistemas eléctricos, los **armónicos** son corrientes o tensiones de frecuencias que son **múltiplos enteros** de la frecuencia fundamental de la alimentación.

Por tanto, un armónico de una onda es un componente sinusoidal de la señal. Su frecuencia es un **múltiplo** entero de la frecuencia fundamental, que es la que define la señal en sí. Así, por ejemplo, si tenemos una frecuencia de 30 Hz, el primer armónico de 30 Hz (denominado **armónico fundamental**, que es la propia señal), el segundo tendrá una frecuencia de 60 Hz, el tercero de 90 Hz, y así sucesivamente (Fig. 5.32).

La **amplitud** de los armónicos va disminuyendo a medida que aumenta la frecuencia es mucho menor que la amplitud de la onda fundamental.

Como ejemplo de los armónicos de una señal podemos citar la generación del **timbre** característico de una fuente de sonido (ya sea una voz humana, un instrumento musical, etc.). Esto se produce debido a los armónicos, que son los que permiten diferenciar un tipo de instrumento de otro (cuando estos tocan la misma nota), o reconocer la voz de una persona. Por su parte, lo que produce diversos timbres a diferentes instrumentos es la amplitud y la ubicación de los primeros armónicos.

La existencia de armónicos en las señales de telecomunicaciones (transmisiones vía radio, etc.) generalmente ocasiona problemas como la **distorsión** de la señal, las **interferencias** con otros sistemas de comunicación, las interferencias con los mandos a distancia,



Caso práctico 6: Cálculo de armónicos en una señal alterna

Se ha grabado con un micrófono la nota musical do producida por una guitarra eléctrica. La frecuencia de esta nota es de 262 Hz.

¿Cuál será la frecuencia del 4.º armónico de dicha nota?

Solución:

Como los armónicos son múltiplos de la frecuencia fundamental, podemos obtener el cuarto armónico multiplicando la frecuencia por 4, con lo que obtenemos el siguiente resultado:

$$f = 262 \cdot 4 = 1048 \text{ Hz}$$



Actividades

13. En la Figura 5.33, ¿cuál será la frecuencia fundamental si la onda azul es el 2.º armónico?

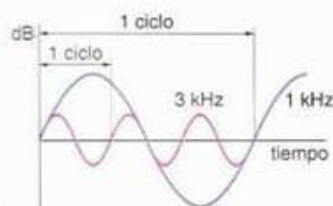


Fig. 5.33.

14. Si el oído humano es capaz de percibir sonidos cuya frecuencia están por debajo de 18 kHz, ¿seríamos capaces de distinguir el séptimo armónico de una señal cuya frecuencia fundamental sea de 3250 Hz. Justifica tu respuesta dando dos razones.

En las condiciones que citamos en el enunciado,

- ¿Hasta qué armónico de la señal podríamos oír?
- ¿Y si tuviéramos una señal de 180 Hz? Argumenta la respuesta.

Práctica final: Medidas sobre un circuito de CA

1. Objetivo

- Visualizar diferentes señales periódicas con formas de onda distintas y medir sus parámetros.
- Comprobar la variación de la impedancia de un condensador.
- Medir la tensión y la intensidad en un circuito RLC en serie.

El circuito que vamos a montar es el siguiente (Fig. 5.34):

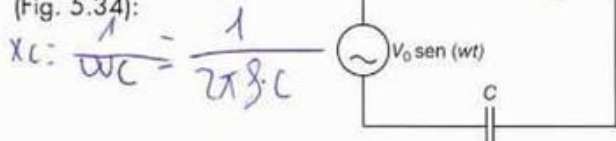


Fig. 5.34.

2. Materiales

- Resistor de 1K, condensador de 100 μF y bobina de 10 mH.
- Placa BOARD para el montaje del circuito.
- Polímetro, osciloscopio y generador de funciones.

3. Técnica

- Visualización de diferentes formas de onda:
 - Conecta el generador de funciones al osciloscopio por el canal 1.
 - Selecciona una frecuencia de 1 kHz, una amplitud de 4 V_{pp} y una onda triangular.
 - Toma las medidas de la señal, anotando las escalas en que estén colocadas la base de tiempos y la amplitud. Anota los resultados.
 - Repite la operación con una onda senoidal de 3 kHz y 5 V_{pp} , y una onda cuadrada de 6 kHz y 6 V_{pp} .

b) Comprobación de la impedancia del condensador:

La impedancia del condensador no la podemos medir directamente con el polímetro, pero si la podemos calcular aplicando la ley de Ohm.

- Conecta el generador de funciones al condensador. Selecciona una onda senoidal de 4 V_{pp} y una frecuencia de 1 kHz. $\rightarrow 100 \text{ nF}$
- Mide con el polímetro la intensidad que circula por el condensador (Fig. 5.35).
- Convierte los 4 V_{pp} en valor eficaz y aplica la ley de Ohm para calcular la impedancia del condensador.
- Repite la operación tomando otras dos medidas, con frecuencias de 500 kHz y 2 MHz, y anota los resultados que obtienes.

c) Medida de la intensidad en un circuito RLC :

- Calcula la intensidad que debe circular por el circuito si lo alimentamos con una señal de 6 V_{pp} y 20 kHz.
- Realiza el montaje del esquema sobre la placa BOARD y conéctalo al circuito (Fig. 5.36) e intercala el polímetro (Fig. 5.37).
- Selecciona en el generador la señal y conéctalo al circuito. Intercala el polímetro entre la resistencia y la bobina, y mide la intensidad que está circulando. Convierte la lectura a su valor máximo.
- Cambia la frecuencia del generador a 200 kHz y vuelve a tomar la medida de la intensidad (Fig. 5.37).

4. Cuestiones

- ¿Cómo evoluciona la impedancia del condensador a medida que aumentamos la frecuencia?
- ¿Coincide el valor de la intensidad en el circuito RLC con el calculado? Si no coincide, explica un posible motivo de por qué sucede así.
- ¿Qué sucede con la intensidad en el circuito RLC al aumentar la frecuencia? ¿Por qué?

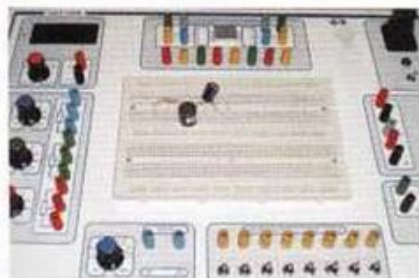


Fig. 5.35.



Fig. 5.36.

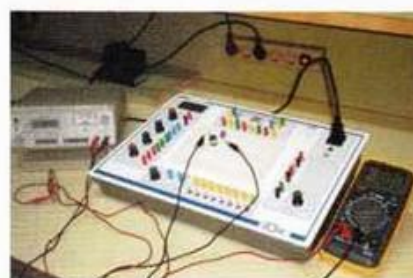


Fig. 5.37.



Test de repaso

- Se denomina corriente alterna a:
 - Aquella en la que los electrones cambian de sentido.
 - Aquella en la que los electrones no cambian de sentido.
 - La que circula por un cable.
 - La que no cambia con el tiempo.
- Si una señal alterna tiene una frecuencia de 10 Hz, su periodo será:
 - 0,1 ms.
 - 1 ms.
 - 1 s.
 - 0,1 s.
- La impedancia de un componente depende de:
 - Su longitud.
 - Su sección.
 - La frecuencia de la señal.
 - Es igual que la resistencia.
- En una bobina, la tensión con respecto a la intensidad va:
 - Retrasada 90° .
 - Adelantada 90° .
 - En fase.
 - Desfasada 180° .
- ¿Cuál es el valor eficaz de una tensión de $5,65 V_{pp}$?
 - $4 V_{ef}$.
 - $5 V_{ef}$.
 - $3 V_{ef}$.
 - $2 V_{ef}$.
- En un circuito en serie RLC, a la frecuencia de resonancia la intensidad es:
 - Cero.
 - Máxima.
 - Mínima.
 - No cambia.
- Si una señal tiene como frecuencia fundamental un valor de 100 Hz, el cuarto armónico tendrá una frecuencia de:
 - 400 kHz.
 - 400 MHz.
 - 400 Hz.
 - No existe ese armónico.
- La impedancia de una bobina:
 - Aumenta al incrementarse la frecuencia.
 - Disminuye al aumentar la frecuencia.
 - Se hace cero al aumentar la frecuencia.
 - Permanece igual al aumentar la frecuencia.
- En una resistencia, la tensión y la intensidad:
 - Están en fase.
 - Están desfasadas 90° .
 - La intensidad adelanta a la tensión.
 - La intensidad va retrasada respecto a la tensión.
- El osciloscopio sirve para:
 - Ver la forma de onda.
 - Medir el valor máximo de la señal.
 - Medir el periodo de la señal.
 - Todas son correctas.
- El valor de la intensidad que medimos con un polímetro en un circuito es:
 - Medio.
 - Eficaz.
 - Máximo.
 - Aparente.
- A la frecuencia de resonancia, la impedancia de la bobina y el condensador:
 - Son iguales.
 - Desaparecen.
 - Son máximas.
 - Son distintas.

Soluciones: 1a, 2d, 3c, 4b, 5a, 6b, 7c, 8a, 9a, 10d, 11b, 12a.

Comprueba tu aprendizaje

Conocer la corriente alterna

Identificar los principales parámetros de una señal alterna

1. La imagen de la Figura 5.38 corresponde a la pantalla de un osciloscopio. Si sabemos que la base de tiempos está colocada en 0,5 ms/div y la escala de amplitud en 2 V/div:
- ¿Cuál es el V_{pp} de la señal?
 - ¿Cuál es la frecuencia de la señal?
 - Escribe la ecuación instantánea de la misma.

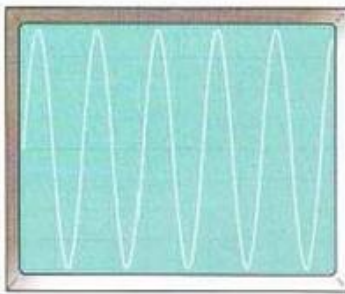


Fig. 5.38.

2. Dadas las siguientes señales:

$$Y(t) = 5 \text{ sen } 1000 t$$

$$Z(t) = 10 \text{ sen } 5024 t$$

Contesta a las siguientes preguntas:

- Indica el valor máximo de cada una de las señales.
 - Di cuál es la frecuencia de cada una.
 - Calcula el valor eficaz de la señal $Z(t)$.
 - Define el V_{pp} de la señal $Y(t)$.
3. El osciloscopio de la Figura 5.39 muestra una señal alterna:

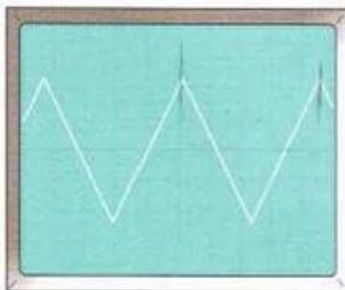


Fig. 5.39.

Si suponemos que la base de tiempos del aparato está calibrada en 10 ms/div, y que la amplitud está calibrada en 2 V/div, contesta a las siguientes preguntas:

- ¿De qué tipo de onda se trata?
 - ¿Cuál es el periodo de la señal?
 - ¿Cuánto vale su frecuencia?
 - ¿Cuál es el V_p de esta señal?
 - ¿Cuál es el V_{pp} de la misma?
4. Dibuja sobre la pantalla del osciloscopio de la Figura 5.40 una señal cuadrada de 20 V_{pp} y una frecuencia de 1250 Hz, sabiendo que la base de tiempos está calibrada en 200 ms/div, y el eje de amplitud en 5 V/div.

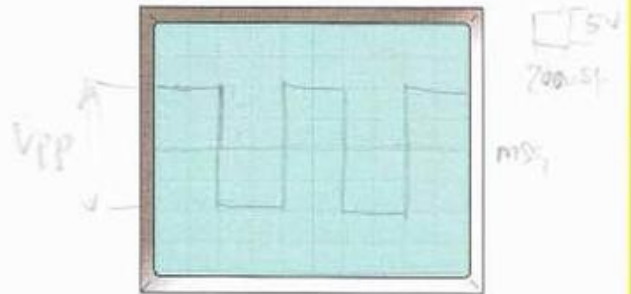


Fig. 5.40.

5. Dos señales alternas, tensión e intensidad, vienen dadas por el siguiente diagrama vectorial (Fig. 5.41):

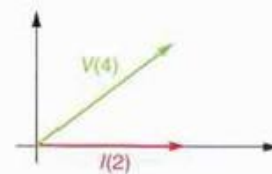


Fig. 5.41.

El número dado entre paréntesis es el módulo del vector, y el ángulo formado por ambos vectores es de 60° .

Nos piden que calculemos la ecuación instantánea de cada una de las señales si sabemos que la frecuencia de las mismas es de 100 Hz.

Los módulos vienen dados en valores máximos.

Comprueba tu aprendizaje

Calcular circuitos en corriente alterna

Aplicar la ley de Ohm en corriente alterna

- Mediante la red eléctrica ordinaria de 220 V (eficaces) a 50 Hz, se alimenta un circuito RLC con una $R = 520 \Omega$, $L = 0,02 \text{ H}$ y $C = 20 \text{ mF}$. Calcula:
 - La impedancia equivalente del circuito.
 - La intensidad que circula por el circuito.
 - Indica si se encuentra o no en resonancia.
- En el circuito de la Figura 5.42, determina la frecuencia del generador de 30 V eficaces para que circule la máxima intensidad.

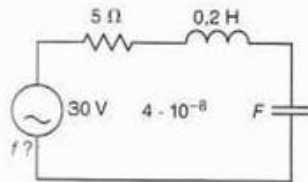


Fig. 5.42.

- Un circuito en serie RLC está alimentado por una fuerza electromotriz (fem) máxima de $E_m = 150 \text{ V}$. Los valores de R , L y C son, respectivamente, 100Ω , 20 mH y $1 \mu\text{F}$. Calcula:
 - La frecuencia de resonancia.
 - La intensidad eficaz en resonancia.
- Fíjate en el circuito de la Figura 5.43:

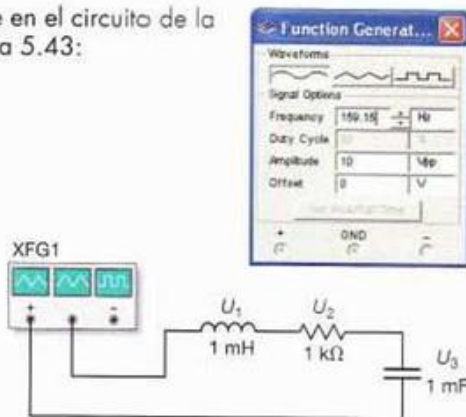


Fig. 5.43.

En función de los componentes que tienes en el esquema y con los datos del generador de señales, contesta a las siguientes cuestiones:

- ¿Cuánto vale la intensidad que circula por el circuito?
- ¿Cuál es el valor eficaz de la intensidad calculada en el punto anterior?
- Simula el circuito en el ordenador. Coloca un amperímetro y comprueba que el valor que marca coincide con el valor calculado en el apartado anterior.
- Calcula la tensión que tendrá el condensador de circuito.
- Coloca un osciloscopio en los extremos del condensador y comprueba la señal que obtienes. Compara las medidas de la misma con la tensión calculada en el apartado anterior para ver si coinciden.
- Dibuja un diagrama de vectores aproximado de circuito que estás comprobando.
- ¿Qué marcará el polímetro de la Figura 5.44?

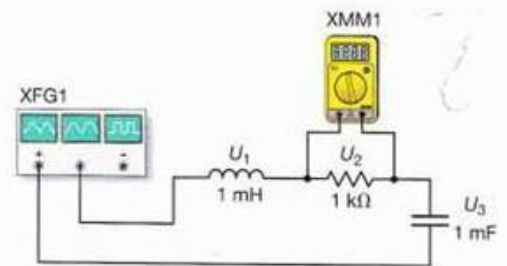


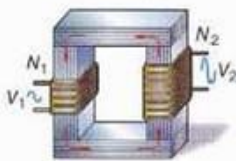
Fig. 5.44.

- Las notas musicales están formadas por una frecuencia fundamental (el tono) y una serie de armónicos. Investiga cuáles son estos armónicos para las notas *r* y *sol* (así como su frecuencia fundamental), y cómo evoluciona la escala musical en función de los armónicos. Busca también información sobre las distintas aplicaciones posibles de los armónicos en la música (afinación de instrumentos, etc.).
- Busca otros aparatos de medida que se puedan usar para medir corrientes en alterna y explica brevemente su utilización.

A Vocabulario

Transformador. Elemento formado por dos bobinas, separadas, de tal forma que puede proporcionar a su salida una tensión menor que a su entrada (reductor) o mayor (elevador), en función de una constante denominada relación de transformación, que se calcula como:

$$\alpha = \frac{N_1}{N_2}$$



? ¿Sabías que...?

La frecuencia de la red eléctrica es muy estable y no presenta prácticamente cambios. Esto hace que se utilice como referencia en muchos circuitos de los **equipos de telecomunicaciones** (tales como osciladores, etc.).

Mano Ten cuidado

Asegúrate, antes de conectar cualquier aparato a la red eléctrica, de que estos son compatibles. Consulta la placa de características del aparato antes de conectarlo.

3 RJ MUL 1L47096-AAA11			
UD 060870323862-68			
IP BS	90L	IM DS	IECEN 80034 TH C1 F
Adm	230/400 V	ΔY	50 Hz 400 V Y
1.6 A	6.32 A		1.75 A 3.3 A
Dim ³ 0.21	1420 mm		Dim ³ 0.42 1720 mm
	220-240/380-420V	ΔY	640-650 V Y
0.14-10.5-0.5 A			3.3-3.4 A
32144	8401		SP 1.1

En Estados Unidos la frecuencia de la red es de 60 Hz y puede que algún electrodoméstico fabricado allí no funcione correctamente si se conecta en nuestra red eléctrica o viceversa.

1. Definición de circuito monofásico y trifásico

En todos los equipos electrónicos existe una etapa que no puede faltar: la **alimentación**. Si el equipo es **portátil**, este funcionará con **baterías**, pero si es un equipo **fijo**, su fuente de alimentación estará conectada a la **red eléctrica**, que nos proporciona **corriente alterna (CA)**.

El uso de la corriente alterna en las redes de distribución eléctrica se justifica por varias razones:

- Los generadores de CA son más sencillos y eficaces que los generadores de corriente continua.
- La distribución y el transporte son más económicos y eficaces, al utilizarse alta tensión (hasta 400 kV), lo que reduce la sección de los cables de las líneas.
- La variación de los valores de la tensión de transporte y la de consumo se puede llevar a cabo con un alto rendimiento y un bajo coste gracias a los transformadores.

Es importante conocer algunos de los aspectos relacionados con este tipo de corrientes, por lo que vamos a estudiarlas a lo largo de esta unidad.

1.1. Circuitos monofásicos

Los **circuitos monofásicos** son aquellos que transportan la corriente alterna a dos hilos. Son, por lo general, los más utilizados en las **instalaciones domésticas**, cuando la potencia que se consume no es demasiado elevada.

Un circuito monofásico consta de dos hilos denominados **fase** y **neutro**. La fase es el conductor activo y el neutro es el terminal de referencia. Estos hilos equivalen al positivo y negativo de la alimentación en corriente continua.

Entre estos dos hilos se conectarán los receptores que van a consumir la energía. En España, la red eléctrica proporciona tensión alterna para los circuitos monofásicos compuesta por una onda senoidal de 230 V eficaces y una frecuencia de 50 Hz.

En las instalaciones eléctricas, los colores del aislamiento de los cables están normalizados con el fin de que puedan ser identificados con facilidad. Estos colores están regulados en la Norma UNE 21089.

Según esta norma, el cable de **tierra** es **verde** y **amarillo**, el **neutro** es de color **azul** y el cable **fase** puede ser **negro**, **marrón** o **gris**. El color del aislamiento permite diferenciarlos para saber cuál se debe manipular en cada momento, puesto que cada conductor cumple una función distinta (Fig. 6.1).

La toma de tierra (cable amarillo y verde) tiene como función principal proteger a las personas de cualquier derivación o fuga de corriente. Se conecta a todas las masas metálicas y descarga el exceso de electricidad en una pica metálica que se entierra en el suelo.

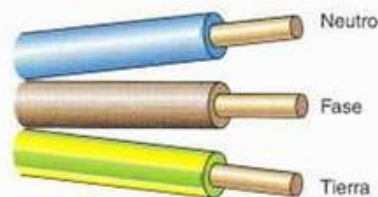


Fig. 6.1. Diferenciación de los distintos cables por colores.

1.2. Circuitos trifásicos

Cuando la **energía** demandada por una instalación es bastante **elevada**, se sustituye la conexión monofásica por una **conexión trifásica**. También se utiliza este tipo de conexión en las redes de transporte de energía eléctrica.

El **uso** de los sistemas trifásicos en estas ocasiones está justificado por las siguientes **razones**:

- La **potencia** en un generador trifásico es aproximadamente un 150% mayor que la de un generador monofásico.
- Para una misma potencia, un sistema trifásico balanceado (o equilibrado) utiliza conductores con un **grosor** un 75% inferior del que necesitarían para un sistema monofásico. Esto supone un abaratamiento importante de los costes.

Un **sistema trifásico** es el que está formado por tres tensiones monofásicas, de igual amplitud y frecuencia (y por tanto el mismo valor eficaz) y que se encuentran desfasadas entre ellas 120° . La Figura 6.2 muestra una representación de las tres tensiones.

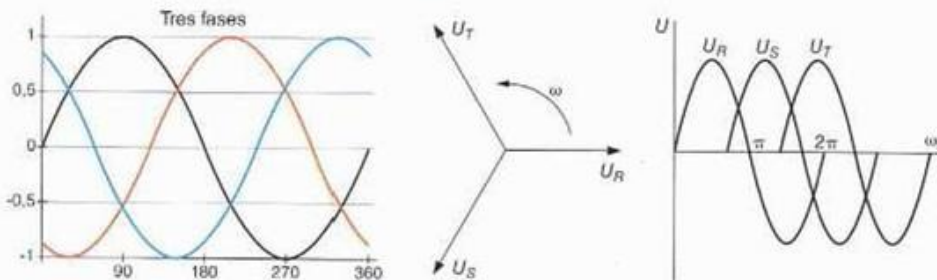


Fig. 6.2. Representación de las señales que conforman una señal trifásica.

En el centro de la Figura 6.2 tenemos los **fasores** de cada una de las fases de la señal, donde se aprecia el ángulo que forman entre sí (desfase de 120°); a la derecha, podemos observar una representación de lo que supone el desfase en cuanto al tiempo (unas señales empiezan más tarde que otras).

El **valor de la tensión trifásica** es de **400 V** (hasta el año 2003 era de 380 V), medidos entre dos fases. El sistema puede estar formado por tres o cuatro conductores, siendo tres de ellos fases (líneas *RST*) y uno neutro, si existe (línea *N*). La conexión entre una fase y el neutro permite obtener una alimentación de corriente monofásica.

Ten cuidado

Los circuitos que estamos viendo en esta unidad son los que se utilizan como **líneas de alimentación para las instalaciones**. Asegúrate, antes de tocar cualquier elemento de una instalación de este tipo, que están activados los **elementos de seguridad**, para desconectar la tensión, con el fin de evitar cualquier accidente eléctrico.

Debido a los valores de tensión y corriente que se manejan en estas instalaciones, las consecuencias de un accidente pueden ser muy graves.

Importante

Los sistemas trifásicos de **4 hilos** se utilizan en redes de **baja tensión**, mientras que los sistemas de **3 hilos** son utilizados en las redes de **alta tensión**.

Actividades

1. Para la producción de corriente alterna trifásica se utilizan generadores distintos a los de la corriente alterna monofásica. Averigua qué diferencias existen entre ambos tipos de generadores, y qué particularidades pueden tener los generadores para corriente trifásica.
2. Como hemos visto en la unidad, en las instalaciones monofásicas existe un código de colores para identificar los cables.

Investiga qué colores (normalizados) se utilizan para poder identificar cada una de las fases *RST* de la conexión trifásica y qué color se utiliza para el neutro.

2. Potencia en corriente alterna monofásica

Al igual que ocurre en los circuitos de corriente continua, en los circuitos de corriente alterna el generador entrega una determinada **potencia** que será **consumida por los receptores** (Fig. 6.3).

Como ya sabemos, los elementos de un circuito de alterna presentan **impedancias** que varían con la frecuencia, y estas impedancias provocan desfases entre la tensión y la intensidad del circuito. Este **desfase** va a tener una gran importancia a la hora de calcular la potencia en cada uno de los elementos del circuito, como veremos más adelante.

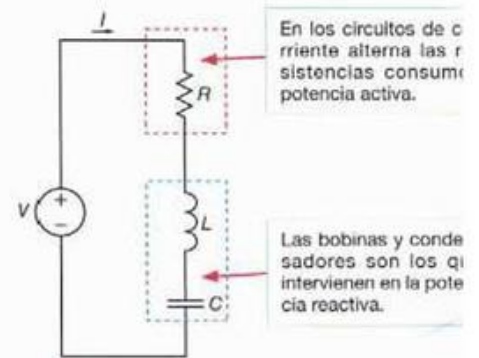


Fig. 6.3. Ejemplo de circuito en corriente alterna.

En corriente alterna, vamos a encontrar **tres tipos** de potencia: **potencia activa (P)**, que es la potencia útil del circuito, **potencia reactiva (Q)**, necesaria para que funcionen todos aquellos aparatos que lleven bobinas, y **potencia aparente (S)** o **potencia total**. En este apartado estudiaremos cómo se calcula cada una de ellas y qué influencia tienen sobre el circuito.

Importante

Interesa que el **factor de potencia** de una instalación sea lo más alto posible (que esté muy próximo a 1), ya que un factor de potencia bajo acarreará **problemas** como:

- Mayor consumo de corriente y, por tanto, un incremento de la facturación eléctrica, al ser mayor la potencia consumida.
- Aumento de las pérdidas e incremento de las caídas de tensión en los conductores.
- Sobrecarga de los transformadores, los generadores y las líneas de distribución.

2.1. Factor de potencia

Si representamos el **diagrama de fasores** de cualquier circuito de corriente alterna monofásica, cuya impedancia tenga bobinas y condensadores, tendremos algo parecido a lo que se muestra en la Figura 6.4.

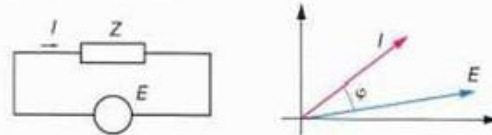


Fig. 6.4. Esquema del circuito y representación del desfase entre la tensión y la intensidad.

El ángulo formado entre los fasores de tensión e intensidad (que representa el desfase entre ambos) determina un parámetro denominado **factor de potencia (fdp)**. Se calcula como el coseno de este ángulo de desfase:

$$fdp = \cos \varphi$$

Caso práctico 1: Cálculo del factor de potencia en un circuito de corriente alterna

Calcula el valor del factor de potencia para un circuito RLC en serie, formado por un condensador de $C = 6,25 \mu\text{F}$, una resistencia de $R = 400 \Omega$, y una inductancia de $L = 1 \text{ H}$, para $\omega = 400 \text{ r/s}$.

Solución:

Debemos calcular la impedancia, ya que el desfase entre tensión e intensidad es el ángulo que nos proporciona este factor. Así:

$$X_L = \omega \cdot L = 400 \cdot 1 = 400 \Omega$$

$$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C} = \frac{1}{400 \cdot 6,25 \cdot 10^{-6}} = 400 \Omega$$

Como el ángulo de desfase es:

$$\varphi = \arctg \frac{X_L - X_C}{R} = \arctg \frac{400 - 400}{400} = \arctg 0 = 0^\circ$$

El factor de potencia será el coseno de ese ángulo:

$$fdp = \cos 0 = 1; \quad fdp = 1$$

2.2. Potencia activa

Es la potencia que consumen los **receptores**.

Se representa con la letra P , se mide en vatios (W) y se calcula mediante la fórmula:

$$P = V \cdot I \cdot \cos \varphi \quad (\text{W})$$

Lo ideal en un circuito es que toda la potencia que entrega el generador sea consumida por los receptores. Esto solo va a ocurrir si el factor de potencia del circuito es igual a 1, situación que únicamente se da si en el circuito no hay reactancias (bobinas y condensadores) o si se encuentra en la frecuencia de resonancia.

2.3. Potencia reactiva

Esta potencia solo aparece en los circuitos de corriente alterna que tienen conectadas **cargas reactivas**, como pueden ser los motores, los transformadores de tensión y cualquier otro dispositivo similar que lleve bobinas. Esos dispositivos no solo consumen la potencia activa que suministra la fuente de tensión, sino también potencia reactiva.

La potencia reactiva no proporciona ningún tipo de trabajo útil, pero los dispositivos que poseen bobinados de alambre de cobre requieren ese tipo de potencia para poder producir el campo magnético con el cual funcionan.

Se representa con la letra Q , su unidad de medida es el voltiamperio reactivo (VAR), y la fórmula para calcular su valor es la siguiente:

$$Q = V \cdot I \cdot \text{sen } \varphi \quad (\text{VAR})$$

2.4. Potencia aparente

La potencia aparente es llamada también **potencia total**. Es el resultado de la **suma** vectorial de las **potencias activa y reactiva**.

La potencia aparente representa la potencia que se podría disipar si la carga conectada al generador fuera puramente resistiva. En ese caso, coincidiría con el valor de la potencia activa del circuito.

La potencia aparente se representa con la letra S , su unidad de medida es el voltiamperio (VA) y se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$S = V \cdot I$$

Es muy importante, en el caso de las fórmulas, recordar que estas son válidas para calcular las potencias cuando los valores de tensión e intensidad son dados en valores eficaces. Si se trabaja con valores máximos, hay que multiplicar todas por $\frac{1}{2}$.

Unidades de medida

Las unidades más utilizadas en las medidas de potencia son:

Potencia activa

Megavatio (MW) = 10^6 W

Kilovatio (kW) = 10^3 W

Potencia reactiva

Kilovoltiamperio reactivo (kVAR) = 10^3 VAR

Potencia aparente

Kaveas (KVA) = 10^3 voltiamperios. Es un valor que se suele proporcionar en las placas de características de los generadores eléctricos.

¿Sabías que...?

El **factor de potencia** nos indica qué parte de potencia aparente se convierte en **potencia activa**, y por tanto **útil**, en el circuito. Lo ideal es que toda la potencia aparente se transformara en activa ($\text{fdp} = 1$).

2.5. Triángulo de potencias

Las tres potencias que acabamos de describir se relacionan mediante el denominado **triángulo de potencias**. Lo podemos representar mediante un triángulo rectángulo, como mostramos en la Figura 6.5:

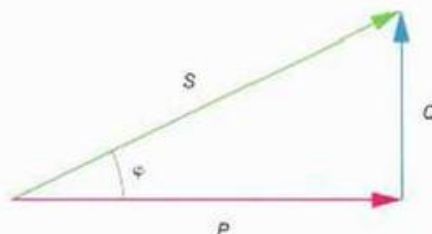


Fig. 6.5. Triángulo de potencias en corriente alterna.



Recuerda

El cálculo de un ángulo en un triángulo rectángulo, que no sea el recto, se realiza a través del cálculo de la tangente:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\text{Cateto opuesto}}{\text{Cateto contiguo}}$$

Los **catetos** del triángulo rectángulo corresponden a la **potencia activa** y **reactiva**, mientras que la **hipotenusa** es la **potencia aparente**.

El **desfase** es el **ángulo** formado por la hipotenusa S y la potencia activa P .

El triángulo de potencias nos proporciona otras fórmulas para poder calcular tanto el factor de potencia como la potencia aparente:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{Q}{P} \Rightarrow \varphi = \arctg \frac{Q}{P} \quad \boxed{\operatorname{fdp} = \cos \varphi}$$

Cálculo de la potencia aparente.

Cálculo del factor de potencia.

2.6. Comportamiento de los componentes pasivos respecto a la potencia

A la hora de analizar cómo se distribuyen las potencias en un circuito de corriente alterna es conveniente conocer cómo se comporta cada uno de los componentes pasivos y qué tipo de potencia pone en juego cada uno de ellos. En la Tabla 6.1 hemos identificado las potencias que se consumen en cada uno de los componentes de un circuito. Para ello, tomamos como origen de fases o referencia la intensidad del circuito.

Componente	Ángulo de desfase $V-I$	$\cos \varphi$	$\operatorname{sen} \varphi$	P	Q	S	Observaciones
Resistencia	0°	1	0	P	0	P	Consume potencia activa y no tiene potencia reactiva. Por tanto, $S = P$.
Bobina	90°	0	1	0	Q	Q	Consume potencia reactiva y no consume potencia activa. En la bobina $S = Q$.
Condensador	-90°	0	1	0	$-Q$	$-Q$	Es un componente que cede potencia reactiva al circuito; lo indicamos con el signo «-».

Tabla 6.1. Comportamiento de los componentes en corriente alterna.

Caso práctico 2: Cálculo de las potencias en un circuito de corriente alterna

Un circuito RLC formado por $R = 20 \Omega$, $L = 0,02 \text{ H}$ y $C = 20 \text{ mF}$, se alimenta mediante la red eléctrica ordinaria de 220 V (eficaces) a 50 Hz.

- Calcula la potencia activa, reactiva y aparente que se pone en juego en el circuito.
- Indica si se encuentra o no en resonancia.

Solución:

a) Para resolver la primera cuestión del ejercicio debemos dar los siguientes pasos:

- Calculamos las impedancias de cada uno de los elementos que forman el circuito.

Las impedancias de la bobina y el condensador serán:

$$X_L = \omega \cdot L = 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 0,02 = 6,28 \Omega$$

$$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 0,02 \cdot 10^{-6}} = 159,28 \Omega$$

La reactancia total será:

$$X_L - X_C = 6,28 - 159,28 = -153 \Omega$$

- Calculamos el ángulo de desfase entre la tensión y la intensidad.

El ángulo de desfase entre la tensión y la intensidad vendrá dado por la siguiente fórmula:

$$\begin{aligned} \varphi &= \arctg \frac{X_L - X_C}{R} = \arctg \frac{-153}{20} = \\ &= \arctg -7,65 = -82,55^\circ \end{aligned}$$

El factor de potencia lo calculamos así: $\text{fdp} = \cos \varphi = \cos -82,55^\circ = 0,129$. Calculamos también, pues nos hará falta después: $\text{sen } \varphi = -0,99$.

- Calculamos el módulo de la intensidad que circula por el circuito.

Para calcular la intensidad aplicamos la ley de Ohm, por tanto tenemos que calcular el valor del módulo de la impedancia:

$$|Z| = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{20^2 + 159^2} = 160,25 \Omega$$

Por tanto, el valor de la intensidad será:

$$I = \frac{V}{Z} = \frac{220}{160,25} = 1,37 \text{ A}$$

- Aplicamos las fórmulas para cada una de las potencias que nos piden.

$$P = V \cdot I \cdot \cos \varphi = 220 \cdot 1,37 \cdot 0,129 = 38,96 \text{ W}$$

$$\begin{aligned} Q &= V \cdot I \cdot \text{sen } \varphi = 220 \cdot 1,37 \cdot (-0,99) = \\ &= -2,98,36 \text{ VAR} \end{aligned}$$

el signo $-$ indica que es la potencia cedida al circuito.

$$S = V \cdot I = 220 \cdot 1,37 = 301,4 \text{ VA}$$

- El circuito no está en resonancia, puesto que las impedancias de la bobina y el condensador son distintas.

Actividades

- Un circuito en serie RLC está formado por una bobina de coeficiente de autoinducción $L = 1 \text{ H}$, y una resistencia óhmica interna de 10Ω , un condensador de capacidad $C = 5 \text{ mF}$, y una resistencia de 90Ω . La frecuencia de la corriente es de 100 Hz. Si el circuito se conecta a un generador de corriente alterna de 220 V de tensión máxima, calcula cuáles serán las potencias P , Q y S del circuito.
- En un circuito RLC de corriente alterna sabemos que se disipa una potencia de 100 W. Teniendo en cuenta que la tensión que alimenta el circuito es de 300 V eficaces y la intensidad que circula por el es de 1 A, calcula:
 - La potencia reactiva del circuito.
 - El factor de potencia.

2.7. Corrección del factor de potencia

Como ya hemos comentado anteriormente, interesa que en las instalaciones el factor de potencia sea lo más pequeño posible. Para disminuir este factor de potencia se conecta un **condensador** o una **batería de condensadores**, en paralelo con el circuito en el que queremos disminuir el factor. De esta forma, como el condensador aporta energía reactiva al circuito, se opone a la que se está consumiendo en el mismo.

Sobre el triángulo de potencias, lo podemos **representar** como se muestra en la Fig. 6.6:

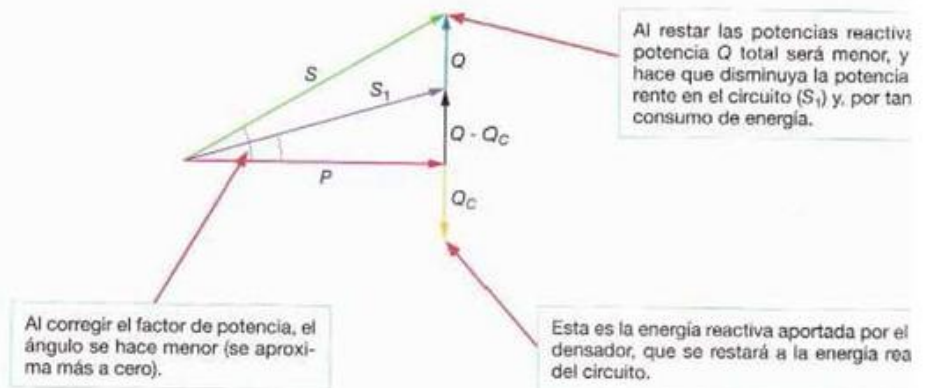


Fig. 6.6. Esquema de corrección del factor de potencia.



Caso práctico 3: Corrección del factor de potencia en una instalación

El alumbrado de la sala de un repetidor de telefonía se compone de 60 lámparas fluorescentes de 50 W/230 V con un factor de potencia de 0,6 (Fig. 6.7). Calcula la batería de condensadores que será necesaria conectar a la línea general que alimenta esta instalación para corregir el factor de potencia a 0,97 (teniendo en cuenta que la frecuencia de la red eléctrica es de 50 Hz).

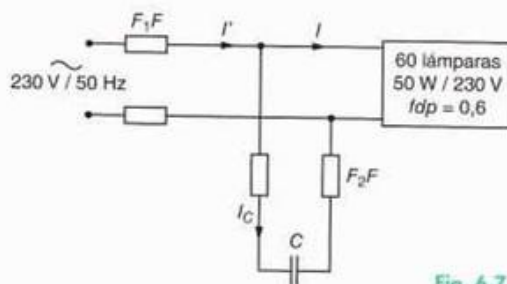


Fig. 6.7.

Solución:

1. Calculamos la potencia activa total consumida por las 60 lámparas. De esta forma, como tenemos el factor de potencia y la tensión, podemos calcular la **intensidad** que circula por las lámparas (I en el esquema de la Figura 6.7).

$$P = 60 \cdot 50 = 3000 \text{ W}$$

Como:

$$P = V \cdot I \cdot \cos \varphi \Rightarrow I = \frac{P}{V \cdot \cos \varphi} = \frac{3000}{230 \cdot 0,6} = 21,73 \text{ A}$$

A continuación calculamos la potencia reactiva que consume la instalación. El **ángulo de desfase** será:

$$\cos \varphi = 0,6 \Rightarrow \varphi = \arcsin 0,6 = 53,13^\circ$$

$$\sin \varphi = \sin 53,13^\circ = 0,8$$

Ahora necesitamos conocer el valor de la **potencia reactiva consumida**:

$$Q = V \cdot I \cdot \sin \varphi = 230 \cdot 21,73 \cdot 0,8 = 4997,9 \text{ VAR}$$

2. El factor de potencia que tenemos que conseguir nos indica el nuevo ángulo que necesitamos. Para poder calcular la capacidad de la batería de condensadores, hemos de conocer la potencia reactiva que entregamos. Para ello vamos a realizar los siguientes cálculos:

El factor de potencia corregido es 0,97; esto quiere decir que:

$$\cos \varphi = 0,97 \Rightarrow \varphi = \arcsin 0,97 = 14,06^\circ$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \operatorname{tg} 14,06^\circ = 0,25$$

(Continúa)

Caso práctico 3: Corrección del factor de potencia en una instalación



(Continuación)

Para calcular la potencia reactiva del condensador, nos fijamos en el triángulo de potencias que hemos visto en el epígrafe 2.7 de la unidad y calculamos el nuevo ángulo que le corresponde:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{Q - Q_C}{P}; \text{ despejando } Q_C = Q - \operatorname{tg} \varphi \cdot P$$

$$Q_C = 4997,9 - 0,25 \cdot 3000 = 4247,9 \text{ VAR}$$

3. Nos queda obtener la capacidad que debe tener la batería de condensadores. Para ello vamos a calcular la impedancia X_C que presenta el condensador a partir de la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{V_C^2}{X_C};$$

$$\text{despejando } X_C = \frac{V_C^2}{Q} = \frac{230^2}{4247,9} = 12,45 \Omega$$

4. A partir de esta fórmula, calculamos el valor de la **capacidad**:

$$X_C = \frac{1}{\omega C}; \text{ despejando } C = \frac{1}{\omega X_C} =$$

$$= \frac{1}{2\pi \cdot 50 \cdot 12,45} = 2,55 \cdot 10^{-4} \text{ F}$$

$$C = 255 \mu\text{F}$$

Si calculamos ahora la intensidad que pasa por el circuito con el nuevo factor de potencia:

$$P = V \cdot I \cdot \cos \varphi \Rightarrow P = V \cdot I \cdot \cos \varphi \Rightarrow$$

$$\Rightarrow I = \frac{P}{V \cdot \cos \varphi} = \frac{3000}{230 \cdot 0,97} = 13,44 \text{ A}$$

Vemos que ha disminuido con respecto a la que teníamos antes de la corrección.

También podemos utilizar otras fórmulas para el cálculo de las potencias, como hemos visto en el Caso práctico 3. Recordemos que la **potencia en una resistencia** se podía calcular como:

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

o bien, aplicando la ley de Ohm:

$$P = \frac{V^2}{R}$$

Podemos aplicar este mismo criterio para las potencias reactivas, sustituyendo la R por el valor de las impedancias correspondientes.

¿Sabías que...?

Las compañías eléctricas bonifican en las tarifas a las empresas que corrigen el *fdp* de sus instalaciones, puesto que así les tienen que suministrar menos energía desde la red.

Actividades

- Dentro de las instalaciones eléctricas hay elementos que son más perjudiciales que otros respecto al factor de potencia. Investiga cuál es el factor de potencia para los siguientes elementos:
 - Lámparas para el alumbrado público (lámparas de sodio).
 - Lámparas de bajo consumo domésticas.
 - Un motor eléctrico de grandes dimensiones.
- Un circuito consume una potencia activa de 100 kW a un factor de potencia de 0,8 de una fuente de 240 V, a 50 Hz. Dibuja el circuito y calcula:
 - La potencia aparente de entrada.
 - Los kVAR de entrada.
 - La capacidad del condensador conectado en paralelo necesaria para ajustar el factor de potencia del sistema al 95%.

3. Circuitos trifásicos. Conexión de receptores en un circuito trifásico

@ Web

La entidad responsable de la distribución de electricidad en España es la REE (Red Eléctrica Española). Consulta su página web para saber más sobre el sistema de distribución de electricidad nacional:

<http://www.ree.es/>

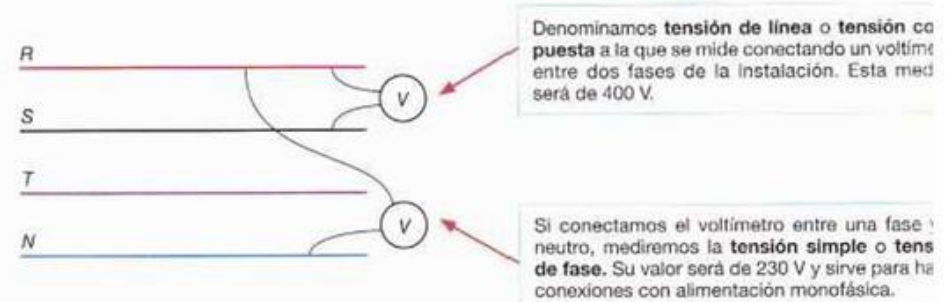
Como hemos comentado al comienzo de la unidad, la otra forma de suministrar energía eléctrica a una instalación es a través de una **conexión trifásica**. En este tipo de conexiones es necesario conocer algunos de los **parámetros** más importantes para poder realizar los cálculos pertinentes y entender su funcionamiento:

Un **sistema trifásico balanceado** (o equilibrado) es aquel en el cual las tensiones son iguales en amplitud y frecuencia y tienen un desfase igual entre ellas.

Los sistemas balanceados son los más habituales en las instalaciones trifásicas. Cuando no se cumple alguna de las condiciones citadas en cuanto a amplitud y frecuencia el sistema se denomina **desequilibrado**.

Las **tensiones** que encontramos en un sistema trifásico son las siguientes:

En un sistema trifásico de cuatro hilos (tres fases más uno neutro) podemos definir tensiones que se observan en la Figura 6.8:



Denominamos **tensión de línea** o **tensión ca puesta** a la que se mide conectando un voltímetro entre dos fases de la instalación. Esta medida será de 400 V.

Si conectamos el voltímetro entre una fase y neutro, mediremos la **tensión simple** o **tensión de fase**. Su valor será de 230 V y sirve para hacer conexiones con alimentación monofásica.

Fig. 6.8. Tensiones en un sistema trifásico de cuatro hilos.

La relación que se establece entre las dos tensiones que acabamos de definir es la siguiente:

$$V_{\text{línea}} = \sqrt{3} \cdot V_{\text{fase}}$$

En cuanto a las **intensidades** que circulan por cada una de las líneas, pueden darse casos:

- Si el sistema es **equilibrado**, las intensidades por cada una de las fases son iguales y los desfases en las fases también son iguales, lo que implica que la **intensidad** que circula por el conductor del neutro es **cero**.
- Si el sistema es **desequilibrado**, las intensidades y los desfases correspondientes a cada una de las fases serán distintos, lo que implica que la **intensidad** que circula por el conductor correspondiente al neutro **no va a ser cero**.



Actividades

7. En un sistema trifásico equilibrado, tenemos conectada una batería de focos entre dos fases cuya tensión de trabajo es de 500 V. Calcula la tensión de línea de dicho sistema e indica cuál sería la tensión de fase.
8. La tensión de fase de un sistema trifásico es de 300 V. Si medimos la tensión entre dos líneas, obtenemos un valor de 520 V. Señala de qué tipo de sistema se trata: equilibrado o no equilibrado, y justifica tu respuesta.

3.1. Conexión de receptores en un sistema trifásico

La conexión de los receptores en un sistema trifásico se realiza en función de la **tensión nominal** que tenga cada uno de ellos.

Así, si la tensión nominal del receptor coincide con la tensión de fase del sistema, la conexión se realizará entre la fase y el neutro. Este tipo de conexión se denomina **conexión en estrella**. La representación que se suele hacer de los receptores conectados de esta manera la podemos ver en la Figura 6.9: a la izquierda observamos la forma habitual de representarlos (fácil de asociar con la forma de estrella) y a la derecha cómo se realizaría la conexión de los receptores en un esquema eléctrico:

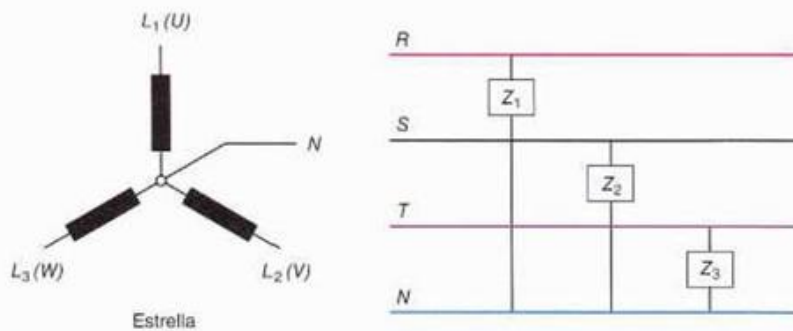


Fig. 6.9. Conexión en estrella en un sistema trifásico. Conexión del receptor entre fase y neutro (alimentación monofásica).

Si la tensión nominal del receptor coincide con la tensión de línea o tensión compuesta, la conexión se hace entre fases y se denomina **conexión en triángulo**. En la Figura 6.10 representamos, a la izquierda, el esquema de dicha forma de conexión y, a la derecha, la conexión de los receptores sobre un esquema eléctrico del sistema:

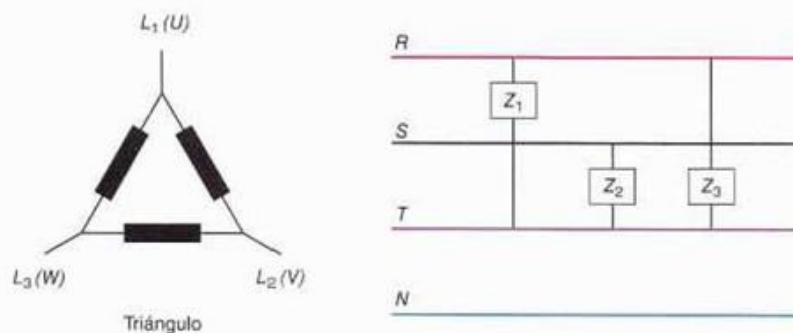


Fig. 6.10. Conexión en triángulo. Conexión del receptor entre dos fases.

La conexión más habitual de los receptores en un sistema trifásico es en triángulo. Para un sistema trifásico equilibrado, con los receptores en triángulo, se cumplen las siguientes relaciones:

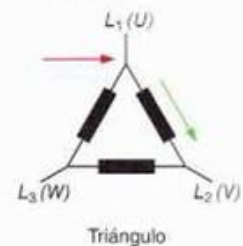
$$V_{\text{fase}} = V_{\text{línea}}$$

$$I_{\text{línea}} = \sqrt{3} I_{\text{fase}}$$

En el caso de que el sistema no esté equilibrado, las tensiones de fase y de línea ya no son iguales, y por tanto no se cumplirá la segunda ecuación que relaciona las intensidades de línea y de fase. Los valores de tensión y corriente se calcularían aplicando las técnicas de análisis de circuitos en alterna que hemos visto en la Unidad 5.

Importante

La **intensidad de fase** es la que circula por el receptor (flecha verde, en la figura), mientras que la **intensidad de línea** es la que proporciona la red eléctrica (flecha roja).



Web

En el siguiente enlace puedes encontrar mucha información adicional sobre los sistemas trifásicos (historia, cómo se generan las tensiones trifásicas, etc.):

<http://www.trifasicos.com>

A. Problemas en las conexiones de los sistemas trifásicos

Una de las posibilidades de conexión en un sistema trifásico es, como hemos comentado, la conexión de receptores entre cada fase y el neutro. Puede suceder que, en el sistema de este tipo, **se rompa** por accidente **el cable del neutro**, lo que puede ocasionar graves averías en la instalación.



Caso práctico 4: Problemas con la conexión en estrella de los receptores trifásicos

La caseta de un repetidor de televisión se encuentra alimentada por una conexión trifásica. La iluminación de la caseta se obtiene mediante dos grupos de focos cuyas características vienen dadas en el esquema adjunto (Fig. 6.11). ¿Qué ocurriría si se rompiera el cable del neutro?

Solución:

La rotura del cable del neutro provoca que los dos receptores se interconecten y se ocasione la siguiente situación (Fig. 6.12):

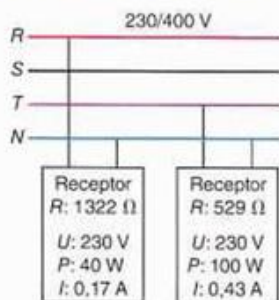
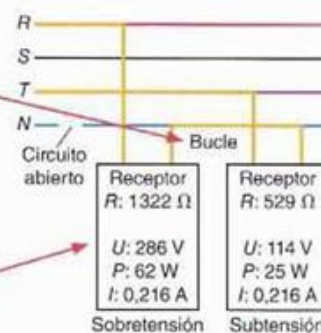


Fig. 6.11.

Se produce un bucle entre ambos receptores debido a que no existe la conexión del cable del neutro.

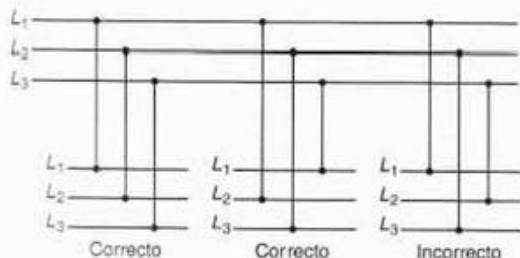
El primer receptor se verá sometido a una sobretensión y se romperá.



El segundo receptor recibirá menos tensión de la que debería. En función del equipo, esta subtensión puede provocar la rotura del aparato.

Fig. 6.12.

B. Secuencia de fases en la conexión de los receptores trifásicos



En la conexión de receptores trifásicos a redes trifásicas, debe tenerse cuenta la **secuencia de las fases**, es decir, el orden en el que están conectadas (Fig. 6.13). Esto es fundamental, sobre todo si se conectan **motoc** porque provoca una inversión del sentido de giro. También puede ser problema importante en algunos tipos de rectificadores.

Fig. 6.13. Orden correcto de las conexiones.



Actividades

9. Sobre el circuito de la Figura 6.14, dibuja las tensiones y corrientes (de línea y de fase) e indica de qué tipo de conexión se trata.

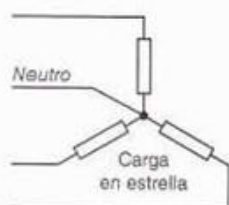


Fig. 6.14.

10. Busca las características del fabricante de un motor trifásico y de un rectificador trifásico y anota todos los valores que se proporcionan. Consulta las siguientes páginas web:

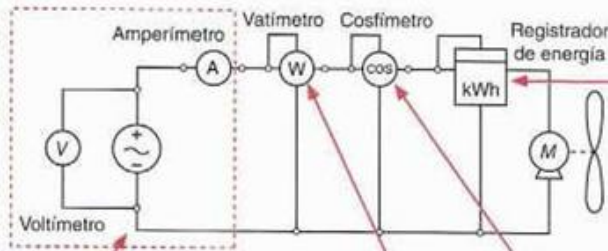
Motor: <http://www.siemens.com>

Rectificador: <http://www.rodaronline.com>

Confecciona un esquema de la conexión de los dos elementos en un sistema trifásico e indica si debe ser un sistema de tres o cuatro hilos y cuáles son sus características.

4. Medida de la potencia en un circuito de corriente alterna

Cuando tomemos medidas de potencias en un circuito de corriente alterna, debemos tener en cuenta que existen **tres tipos de potencias: activa, reactiva y aparente**. Para cada una de ellas necesitaremos un aparato específico, aunque la aparente se puede medir indistintamente con un voltímetro o un amperímetro. En la Figura 6.15 mostramos una conexión de aparatos de medida sobre un circuito de alterna:



Con el **voltímetro** y el **amperímetro**, si multiplicamos el valor de sus lecturas, obtenemos el valor de la potencia aparente.

El **vatímetro** mide la potencia activa.

El **cosfímetro** es el aparato que mide el fdp . En los vatímetros digitales actuales suele venir integrado, por lo que ya prácticamente no se fabrican como aparatos individuales.

El **registrador de energía** es un contador como los que tenemos en las viviendas, y mide el consumo de la instalación en kWh (la energía consumida, sobre la que se emite la factura de la compañía suministradora).

Fig. 6.15. Conexión de los aparatos para la medida de las potencias activa y aparente en un circuito monofásico.

Para medir la **potencia reactiva** se utiliza el **varímetro**, aunque la mayoría de los medidores de potencia actuales incorporan ya este elemento en sus conexiones.

Caso práctico 5: Conexión de un vatímetro

Vamos a observar los componentes de un vatímetro analógico (Fig. 6.16) para explicar cómo se deben hacer las conexiones a la hora de realizar una medida de potencia activa.

Las diferencias entre un vatímetro digital y uno analógico

solo radican en la forma de tomar la medida: en el digital la lectura será directa sobre la pantalla, mientras que en el analógico habrá que hacer alguna operación sobre la lectura tomada (suele venir explicado en el manual del fabricante). Las conexiones se realizan de igual forma en ambos tipos.



Fig. 6.16.

(Continúa)

Caso práctico 5: Conexión de un vatímetro

(Continuación)

Solución:

Existen varias posibilidades a la hora de conectar el vatímetro al circuito (Figs. 6.17 y 6.18):



Fig. 6.17.

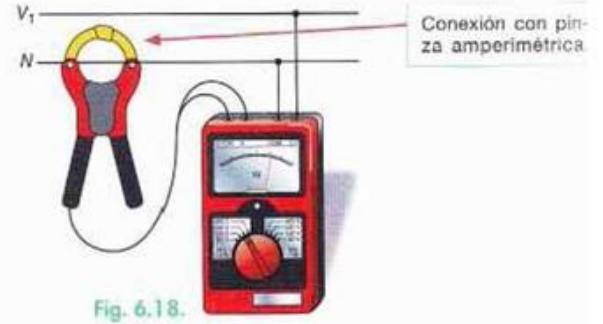


Fig. 6.18.



La Figura 6.19 es un ejemplo de vatímetro digital de sobremesa; la aplicación es la misma que hemos explicado hasta ahora, y tiene la ventaja de que nos dará la lectura directamente.

Fig. 6.19.

Caso práctico 6: Conexión de un varímetro a una red trifásica

La medida de la potencia reactiva tiene una importancia considerable en las redes trifásicas. A continuación mostramos un ejemplo de conexión de un varímetro en una instalación de este tipo.

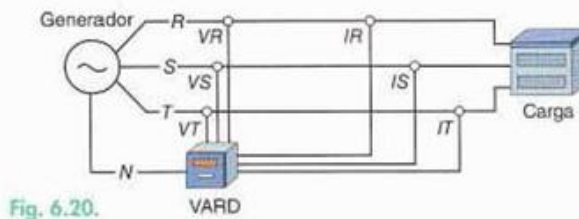


Fig. 6.20.



Fig. 6.21.

Solución:

El varímetro se conecta tal y como se ve en la Figura 6.20. Es una conexión similar a la que hemos visto para el vatímetro, y en la pantalla se refleja la lectura de la potencia reactiva en VAR (Fig. 6.21).

Actividades

- Busca en Internet modelos de vatímetros digitales y detalla en tu cuaderno las principales características que debemos tener en cuenta al utilizarlos.
- En telecomunicaciones se utilizan transmisores de c frecuencia. Averigua cómo se puede medir la potencia emitida por estos transmisores y qué aparatos utilizan para ello.

Práctica final: Medida de la potencia activa y aparente

1. Objetivo

- Medir la potencia aparente en un circuito RLC mediante un voltímetro y un amperímetro.
- Medir la potencia activa del circuito utilizando un vatímetro.
- Calcular la potencia reactiva a partir de los datos anteriores.

El circuito que vamos a montar es el siguiente (Fig. 6.22):

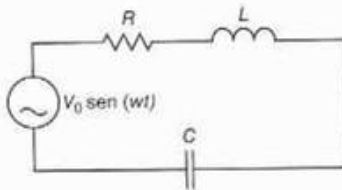


Fig. 6.22.

2. Materiales

- Resistor de 1k, potencia de 100 W, condensador de 14 μF y bobina de 1 H.
- Cables de conexión para los componentes.
- Polímetro, puntas de prueba y vatímetro.
- Conexión a la red eléctrica.

3. Técnica

a) Cálculo y medida de la potencia aparente

- Conecta el voltímetro en la salida de la conexión a la red y anota su valor (Fig. 6.24).
- Mide la intensidad que circula por el circuito (Fig. 6.23).
- Multiplika ambos valores para obtener la potencia aparente.
- Calcula la potencia aparente de forma teórica y comprueba si coincide con el valor medido.

b) Medida de la potencia activa del circuito

- Calcula el valor de la potencia activa de forma teórica según lo estudiado en la unidad.
- Conecta el vatímetro al circuito tal y como hemos explicado en la teoría de esta unidad (Fig. 6.25). Lee el manual de instrucciones antes de hacer la conexión para asegurarte de que lo haces correctamente.
- Toma la lectura de la potencia activa y compara los resultados con los cálculos que has realizado.
- Aplicando el triángulo de potencias, calcula el valor de la potencia reactiva del circuito.

c) Mejora del factor de potencia

- Monta el circuito solo con la resistencia y la bobina y calcula la potencia reactiva que consume el circuito.
- Conecta el condensador en paralelo con los dos elementos y calcula la nueva potencia reactiva que entrega el generador.
- Mide la intensidad y la tensión que hay a la salida de la conexión de red (Figs. 6.23 y 6.24).
- Calcula la potencia aparente S y compárala con el valor anterior.

4. Cuestiones

- ¿Mejora la potencia aparente con el condensador en paralelo? ¿Por qué?
- ¿Cuánto ha mejorado el factor de potencia al realizar la segunda conexión?
- Si conectamos el vatímetro en la rama del condensador en paralelo, ¿qué valor debería darnos?
- ¿Cambia el valor de la potencia activa cuando mejoramos el factor de potencia? ¿Por qué?
- ¿Por qué se ahorra energía cuando se realiza la mejora del factor de potencia? Razona la respuesta.



Fig. 6.23.

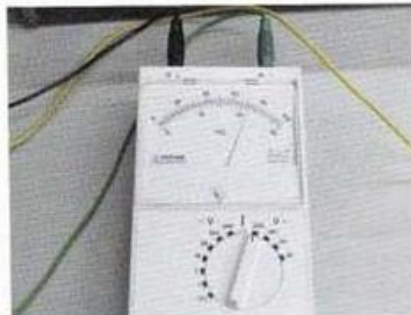


Fig. 6.24.

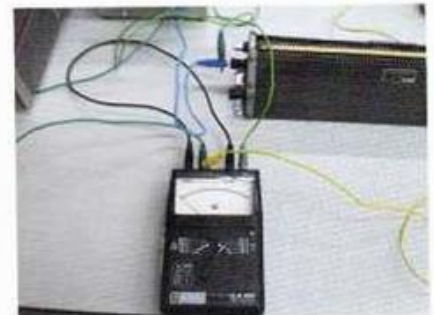


Fig. 6.25.



Test de repaso

- En un circuito trifásico equilibrado:
 - Existen tres tensiones de igual amplitud y frecuencia.
 - Existen tres tensiones de igual amplitud, frecuencia y desfase.
 - Existen seis tensiones.
 - El desfase entre las tensiones no es igual.
- Una resistencia en un circuito de CA consume:
 - Potencia activa.
 - Potencia reactiva.
 - No consume potencia.
 - No se puede conectar.
- Se define el factor de potencia como:
 - El desfase entre la tensión y la frecuencia.
 - El desfase entre la intensidad y la impedancia.
 - El desfase entre la tensión y la intensidad.
 - No existe el factor de potencia.
- El valor de la potencia activa que consume un condensador es de:
 - 0 W.
 - 100 W.
 - 200 W.
 - Depende de su impedancia.
- ¿Qué valor tiene la tensión de línea en un sistema de receptores trifásicos en triángulo?
 - Igual que la de fase.
 - La tensión de fase multiplicada por $\sqrt{3}$.
 - La tensión de fase dividida entre $\sqrt{3}$.
 - El doble de la tensión de fase.
- El aparato que se utiliza para medir la potencia aparente se denomina:
 - Vatímetro.
 - Varímetro.
 - Cosfímetro.
 - No existe tal aparato.
- En un circuito, la tensión de alimentación es de 200 V, la intensidad 1 A y $\text{fdp} = 1$. ¿Cuánto vale P?
 - 200 W.
 - 200 VAr.
 - 400 W.
 - 200 VA.
- Si la tensión y la intensidad están desfasadas la potencia reactiva:
 - Coincide con la potencia activa.
 - Coincide con la potencia aparente.
 - Se hace cero.
 - Permanece igual al aumentar la frecuencia.
- Si en un motor trifásico no se conectan correctamente las fases:
 - No hay ningún problema.
 - No funciona.
 - Se puede invertir el sentido del giro.
 - Se romperá.
- El varímetro se utiliza para:
 - Medir la tensión.
 - Medir la potencia aparente.
 - Medir la potencia reactiva.
 - Medir la potencia activa.
- ¿Qué tipo de potencia consume una bobina?
 - Activa.
 - Reactiva.
 - Aparente.
 - No consume ninguna potencia.

Respuestas: 1b, 2a, 3c, 4a, 5a, 6d, 7a, 8b, 9c, 10c, 11b.

Comprueba tu aprendizaje



Diferenciar los circuitos monofásicos y trifásicos

- La Figura 6.26 muestra la placa de características de un motor. Indica, en función de la información mostrada en ella:
 - Potencia que consume.
 - Tipos de conexiones en las que se puede colocar.
 - Frecuencia de la red a la que puede trabajar.
 - Factor de potencia.
 - ¿Puede trabajar a dos frecuencias distintas? Explica por qué.
 - ¿Que indica la leyenda IP 55?

3 ~ Mot. 1LA7096-4AA11 UD 0609/70322582-68				
IP 55	90L	IM B5	IEC/EN 60034	Th.CI.F
50Hz	230/400 V	ΔY	60 Hz	460 V Y
1.5 Kw	5.9/3.4 A		1.75 Kw	3.3 A
cos φ 0.81	1420/ min		cos φ 0.82	1720/ min
220-240/380-420V	ΔY		440-480 V Y	
6.1-6.1/3.5-3.5 A			3.4-3.4 A	
32144	6401			SF 1.1

Fig. 6.26.

- En las Figuras 6.27 y 6.28 se representa la conexión de dos motores. Explica el tipo de conexión (monofásica o trifásica) de cada uno de ellos e indica cuáles son los conductores de fase, neutro, etc.

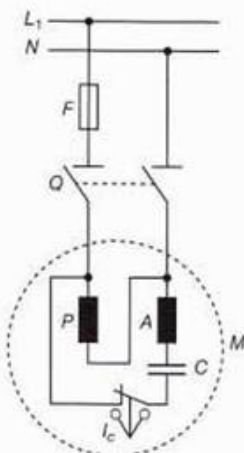


Fig. 6.27.

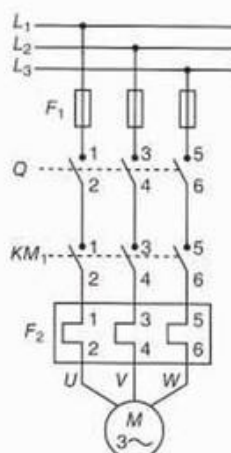


Fig. 6.28.

Calcular la potencia y el factor de potencia en un circuito monofásico

- Una fuente de 400 V, a 50 Hz, entrega 20 kVA a una carga cuyo factor de potencia es del 70%. Dibuja el circuito y calcula:
 - La potencia activa en kW.
 - La potencia reactiva en kVAR.
- Un circuito en serie RLC está alimentado por una fem máxima $E_m = 150$ V. Los valores de R, L y C son, respectivamente, 100 Ω , 20 mH y 1 μ F. Calcula:
 - La frecuencia de resonancia.
 - La intensidad eficaz en resonancia.
- El voltaje y la corriente de un motor de inducción son de 600 V y 20 A, respectivamente, y el ángulo de desfase entre la corriente y el voltaje es de 40° . Dibuja el diagrama fasorial aproximado y calcula:
 - La potencia aparente.
 - La potencia activa.
 - La potencia reactiva.
 - El factor de potencia.
 - La impedancia equivalente de la carga.
- En la línea de entrada que alimenta un repetidor de telefonía móvil se ha medido una potencia reactiva de 3047 VAR. Con un polímetro se ha medido la intensidad que circula por dicha línea, obteniéndose un valor de 25 A. La tensión de entrada es de 230 V.
 - ¿Cuánto vale el factor de potencia de esta instalación?
 - ¿Cuál es la potencia activa que se está consumiendo?

En función de estos datos, responde a las siguientes cuestiones:

- ¿Cuánto vale el factor de potencia de esta instalación?
- ¿Cuál es la potencia activa que se está consumiendo?

Se desea mejorar el factor de potencia de la instalación hasta un valor de 0,97. Calcula el condensador que sería necesario conectar en paralelo para que se produzca esta mejora del factor de potencia.

Comprueba tu aprendizaje

7. En una instalación de una fábrica hay colocados tres motores monofásicos, tal y como se ve en la Figura 6.29. Los tres motores son iguales y se alimentan a 220 V y 50 Hz. Cada uno de los motores consume una potencia de 1 500 W, y un rendimiento del 80%. El *fdp* de la instalación es de 0,8.

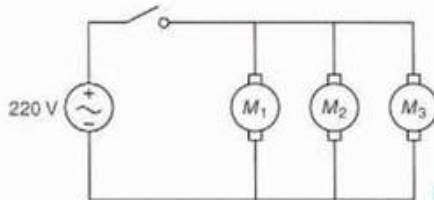


Fig. 6.29.

Calcula:

- El triángulo de potencias del sistema.
- La intensidad total del consumo.
- El valor del condensador para compensar el factor de potencia a 0,95 (considera el circuito equivalente de los tres motores como la suma de todos ellos en cuanto a potencia).

Medir la potencia en un circuito monofásico

- El aparato cuya referencia es **PKT 2515** es un vatímetro digital. Consulta en Internet su hoja de características y comenta brevemente los aspectos más destacados de este equipo.
- En un circuito de corriente alterna hemos medido con un polímetro una intensidad de 30 A y una tensión de 230 V. Se sabe que el desfase entre ambas magnitudes es de 15°.
 - ¿Qué valor mostraría un vatímetro conectado al circuito?
 - ¿Qué valor mostraría un varímetro?
- Indica, sobre el circuito de la Figura 6.30, cómo se haría la conexión del vatímetro.

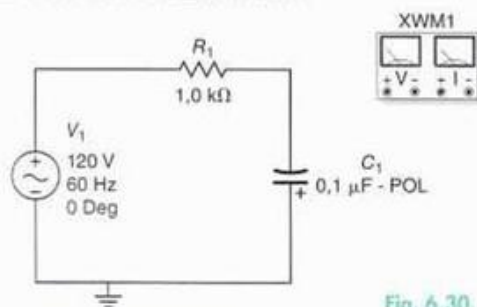


Fig. 6.30.

Calcula la potencia activa que se está consumiendo en el circuito y realiza la simulación en el ordenador para comprobar que el valor calculado se corresponde con el valor que marca el vatímetro.

Identificar las formas de conexión en los circuitos trifásicos

- Busca en Internet cuántas formas, además de las vistas en la teoría, existen para conectar los receptores o los generadores a un circuito trifásico. Realiza un esquema con cada una de ellas e indica qué conexión es la más adecuada para cada caso.
- Un motor trifásico se ha conectado a una línea de alimentación de la siguiente manera (Fig. 6.31):

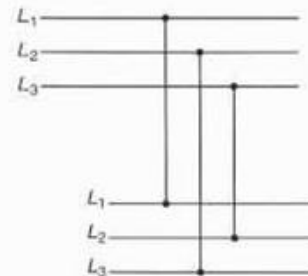


Fig. 6.31.

¿Es correcta la conexión? Justifica tu respuesta.

- Identifica qué tipo de conexión representa cada uno de los circuitos que tienes a continuación (Figs. 6.32 y 6.33) y explica brevemente para qué se usa cada uno de ellos.

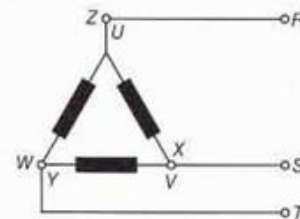


Fig. 6.32.

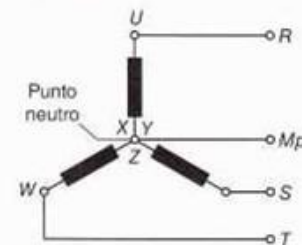


Fig. 6.33.

1. Componentes electrónicos activos

! Importante

Dentro de los componentes electrónicos activos integrados podemos encontrarlos:

- **Amplificadores operacionales:** tienen el siguiente aspecto:



- **Microprocesadores:** son el componente principal de los ordenadores. Por ejemplo estos:



A Vocabulario

Semiconductor intrínseco. Es aquel en el que todos los átomos que lo forman son iguales (como el germanio y el silicio).

Semiconductor extrínseco. Es el formado a partir de un semiconductor intrínseco al que se le añaden átomos de otro material (impurezas) mediante un proceso llamado **dopado**.

@ Web

En los siguientes enlaces puedes ampliar la información sobre los diodos, los semiconductores y la unión PN:

<http://web.educastur.princast.es/ies/salinas/flash/diodo9.swf>

<http://www.info-ab.uclm.es/labeled/Solar/>

Los **componentes electrónicos activos** son aquellos componentes que tienen un comportamiento no lineal, es decir, la relación entre la tensión aplicada y la corriente demandada no es lineal.

Son capaces de controlar tensiones e intensidades, y pueden actuar realizando acciones de amplificación o como conmutadores. Se usan en **equipos** como:

- Amplificadores de audio y vídeo.
- Sistemas de control.
- Robótica.
- Ordenadores, etc.

Dentro de ellos es posible distinguir entre **componentes individuales**, como los que vamos a estudiar en esta unidad (**diodo, transistor y tiristor**), y **componentes integrados** (entre los cuales los dos más utilizados son los **amplificadores operacionales** y los **microprocesadores**).

1.1. El semiconductor. La unión PN

Todos los componentes electrónicos activos están basados en los materiales semiconductores. Estos se caracterizan por comportarse como **aislantes** (no conducen electricidad) o como **conductores**, en función de las condiciones a las que se ven sometidos (tensión aplicada en sus extremos, temperatura, etc.). En los semiconductores se produce movimiento tanto de los **electrones**, que son cargas negativas, como de los **huecos** que son cargas positivas.

Los **principales semiconductores** que se usan para la fabricación de dispositivos electrónicos son el **germanio (Ge)** y el **silicio (Si)**. Además, a estos materiales se les puede añadir átomos de otros elementos, como el fósforo, por ejemplo, de modo que se den lugar semiconductores con un mayor número de portadores de carga positiva (semiconductor tipo P: posee mayor número de huecos) o con mayor cantidad de portadores de carga negativa (semiconductor tipo N: con más electrones).

Estos semiconductores tipo P y tipo N carecen de utilidad práctica por separado, si un cristal se dopa de tal forma que una mitad sea tipo N y la otra mitad tipo P forma una unión llamada **unión PN** (Fig. 7.1).

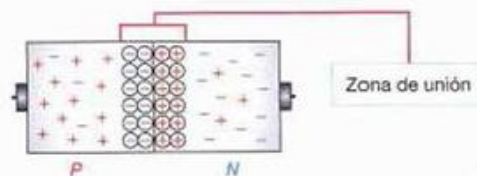


Fig. 7.1. Semiconductor.

En el lado N hay más electrones que huecos y en la zona P más huecos que electrones. En la zona de unión se crea una **barrera de potencial** y, para que un electrón salga de una zona a otra de la unión, tiene que sobrepasar dicha barrera.

La tensión mínima que hay que aplicar en los extremos de la unión PN para que funcione debe ser de aproximadamente 0,3 V, en el caso del germanio, y de 0,7 V en el silicio.

2. El diodo semiconductor

Un **diodo semiconductor** es un componente electrónico que solo deja pasar la corriente eléctrica en un sentido.

Entre las múltiples **aplicaciones** de los diodos está la de actuar como **protección en algunos circuitos**, gracias a su cualidad de permitir el paso de la corriente en un solo sentido.

Se utiliza con bastante frecuencia en **dispositivos de computación**. A diferencia de los diodos de vacío, que debido a su gran tamaño no pueden ser empleados en equipos que manejen grandes corrientes, estos sí pueden aplicarse en este tipo de equipos. Además, para aplicaciones que no requieran conducciones de corrientes altas, como la demodulación en los receptores de radio, existen diodos semiconductores de tamaño muy pequeño. En este caso suelen estar encapsulados en una caja cilíndrica de vidrio con los terminales en los extremos, aunque también podemos verlos con el encapsulado de plástico.

En la Figura 7.2 se muestran diversos diodos semiconductores:

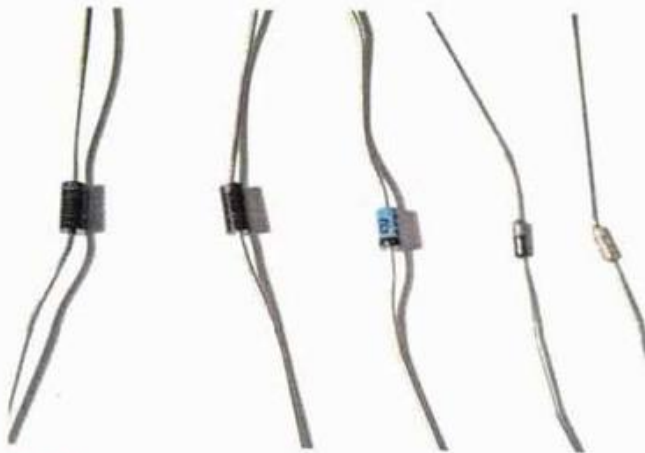


Fig. 7.2. Diodos semiconductores.

Como cualquier otro componente electrónico, el diodo se representa en los esquemas con un símbolo normalizado (Fig. 7.3):

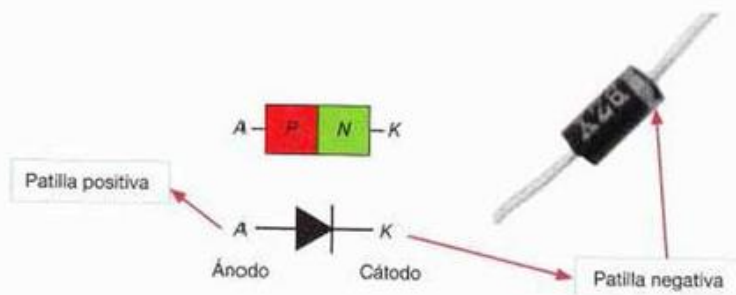
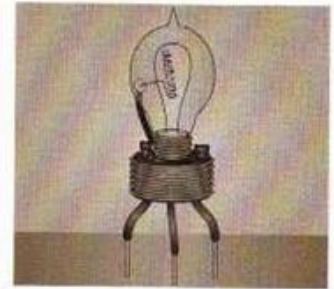


Fig. 7.3. Símbolo del diodo y aspecto físico del componente.

Como podemos observar en la Figura 7.3, el diodo tiene dos terminales, el terminal negativo, o cátodo, y el terminal positivo, o ánodo.

¿Sabías que...?

El diodo de vacío fue inventado en 1904 por un físico inglés, **John Ambrose Fleming**, e inicialmente era de gran tamaño, como se observa en la imagen.

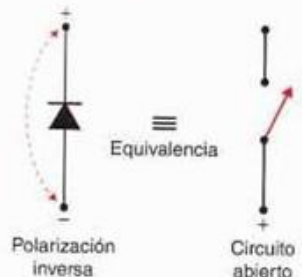


Importante

Cuando un diodo está polarizado **positivamente** equivale a un interruptor cerrado:



Cuando un diodo está polarizado **negativamente** equivale a un interruptor abierto:



2.1. Polarización directa de un diodo

La polarización directa de un diodo se produce cuando tenemos conectado un diodo a una fuente y los terminales de esta están conectados, respectivamente, el positivo ánodo y el negativo al cátodo. En ese caso, el diodo conduce y equivale a una pila de valor V_F , además de actuar como un **interruptor cerrado**.

Caso práctico 1: Comprobación de la polarización directa del diodo

Tenemos un diodo conectado a una batería y a una lámpara tal como se muestra en el esquema. Comprueba qué ocurre con la lámpara al conectar el circuito.

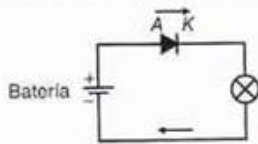


Fig. 7.4. Esquema eléctrico.

Solución:

Podemos realizar un sencillo montaje para comprobar el funcionamiento del circuito. Para ello necesitamos un diodo 1N4001, una lámpara de 9 V DC y una pila de 9 V. El montaje a realizar es el que se muestra en la Figura 7.5:

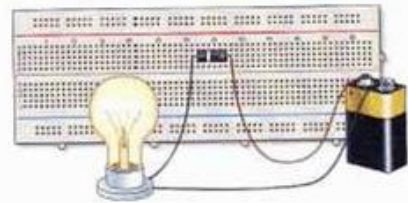


Fig. 7.5.

Comprobamos que, cuando conectamos el cable rojo a la patilla del diodo, la lámpara se enciende.

Como podemos observar en el circuito, el diodo está conectado directamente a la batería, el cátodo está conectado al polo negativo de la pila, y el ánodo al polo positivo, luego hay circulación de electrones y se enciende la lámpara.

2.2. Polarización inversa de un diodo

En la polarización inversa del diodo, al conectarlo a una fuente, el terminal positivo se encuentra conectado al cátodo y el negativo al ánodo. En este caso el diodo conduce y funciona como un **interruptor abierto**.

Caso práctico 2: Comprobación de la polarización inversa de un diodo

En un circuito contamos con un diodo, una lámpara y una batería conectados tal como se refleja en el esquema. Comprueba qué ocurre con la lámpara al conectar el circuito.

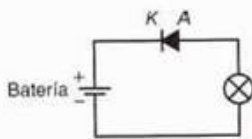


Fig. 7.6. Esquema eléctrico.

Solución:

Con los mismos componentes del caso práctico anterior, realizamos el montaje dando la vuelta al diodo.

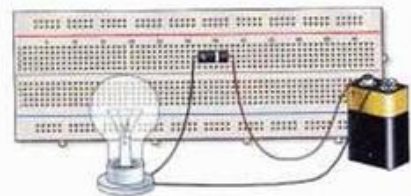


Fig. 7.7.

En este caso comprobamos que al conectar el cable rojo al diodo, no se enciende la lámpara.

La lámpara no se enciende debido a que el diodo está polarizado inversamente, y por tanto no conduce la electricidad a través de él, ya que equivaldría a un interruptor abierto.

Actividad

- ¿Es posible que se encienda la lámpara en el circuito de la siguiente figura? Justifica tu respuesta.

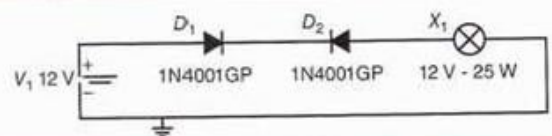


Fig.

2.3. Tipos de diodos especiales

Existe una gran variedad de diodos, entre los que destacan: el **diodo zener**, el **diodo LED**, el **diodo varicap** y el **fotodiodo**. Los estudiaremos a continuación.

A. Diodo zener

El diodo zener se caracteriza por trabajar con **polarización inversa**. Tiene muchas aplicaciones, entre las que destaca la que realiza como **estabilizador de tensión**, es decir, mantiene la tensión constante, en las fuentes de alimentación.

Se fabrica a base de silicio y conduce polarizado tanto directa como inversamente; los principales parámetros a considerar para trabajar con este tipo de diodos son:

- Tensión de polarización inversa, también conocida como **tensión zener**: es la tensión que el zener va a mantener constante (V_z).
- Corriente mínima de funcionamiento: si la corriente que circula a través del zener es menor, no existe la seguridad de que el diodo mantenga constante la tensión en sus bornas.
- Potencia máxima de disipación: debido a que la tensión es constante, indica el máximo valor de la corriente que puede soportar el zener (P_z).

La **representación** de un diodo zener en los esquemas sería la siguiente:



Fig. 7.9. Símbolo de un diodo zener.

B. Diodo LED

Este diodo, que se fabrica con elementos como el arseniuro de galio (gas) y el fósforo (P), capaces de producir una radiación luminosa (luz), posee la propiedad de iluminarse cuando circula corriente a través de él, es decir, cuando está polarizado directamente. De ahí que una de sus principales aplicaciones sea la **señalización** y se le denomine también diodo emisor de luz.

Se fabrican en material encapsulado transparente y en diferentes **colores**, como rojo, verde, ámbar, azul, amarillo y amarillo verdoso, además de transparente. El color del diodo determina la tensión que fija entre sus extremos cuando está polarizado. En las siguientes imágenes se muestra su composición y aspecto físico:

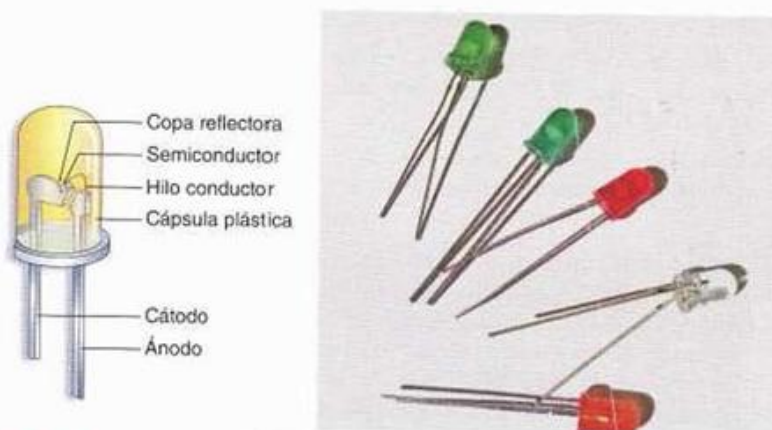


Fig. 7.10. Encapsulado de diodo LED y diodos LED de diversos colores.

Importante

Aspecto de un diodo zener:



Vocabulario

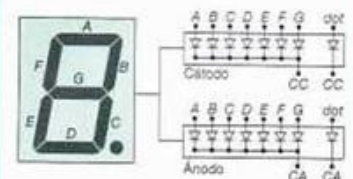
LED. Acrónimo de los términos en inglés *Light-Emitting Diode* (diodo emisor de luz).

¿Sabías que...?

Uno de los visualizadores más utilizados en electrónica digital es el display de siete segmentos.

Está formado por diodos LED, y se utiliza para representar números (y en algunas ocasiones letras).

La representación se consigue iluminando combinaciones de los segmentos correspondientes.



! Importante

En los diodos LED, cada color presenta una tensión directa diferente:

Infrarrojo	1,3 V
Rajo	1,7 V
Naranja	2,0 V
Amarillo	2,5 V
Verde	2,5 V
Azul	4,0 V
Transparente	2,9 V

La representación de un diodo LED en un **esquema** es la siguiente:



Fig. 7.11. Símbolo del diodo LED.

Los principales **parámetros** a considerar en un **diodo LED** son los siguientes:

- **Tensión directa:** es la tensión que se produce entre los extremos del diodo; cuando fluye la corriente directa está comprendida entre 1,5 y 2,2 V.
- **Corriente directa:** es la corriente que debe circular por el diodo para alcanzar la luminosidad. Está comprendida entre 10 y 15 mA.
- **Corriente inversa:** es la corriente máxima que puede fluir por el LED cuando se le aplica una polarización inversa.

⚙️ Caso práctico 3: Polarización de un diodo LED

Indica si el diodo LED se ilumina en este circuito y calcula el valor de la resistencia; sabiendo que el diodo fija una tensión (V_D) de 2 V y soporta una intensidad máxima de 100 mA.

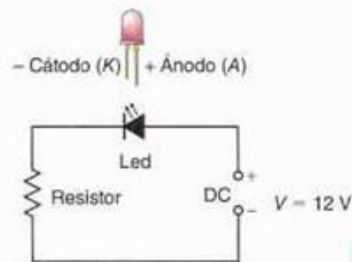


Fig. 7.12.

Solución:

Como podemos observar, el diodo LED está polarizado directamente con la fuente, por lo que sí se ilumina. Un diodo LED debe ir siempre acompañado de una resistencia, ya que las fuentes suelen poseer una tensión (12 V) superior a la que el diodo puede soportar, que es de entre 1,2 y 2,5 V, dependiendo de su color. En este caso, al tratarse de un diodo de color rojo, tiene una tensión inferior y por lo tanto se quemaría. Por eso se pone la resistencia, para evitar que se quemé al intentar impedir que le llegue tanta tensión.

$V = I \cdot R$; de donde: $R = (V - V_D) / I$; sustituyendo los valores: $R = (12 - 2) / 0,1 = 100 \Omega$.

Podemos comprobar el funcionamiento correcto del circuito montando un diodo LED, junto a un resistor de 100Ω , sobre una placa BOARD, tal y como podemos ver en la Figura 7.13:

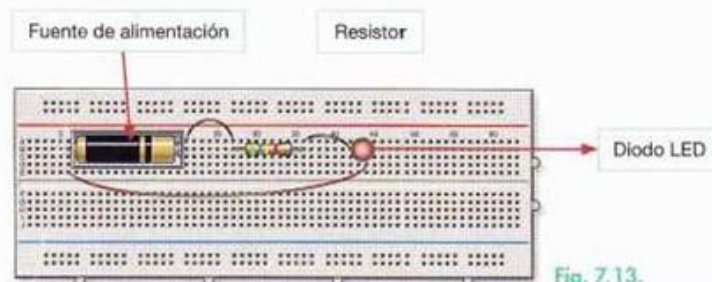


Fig. 7.13.

C. Diodo varicap

El diodo varicap (Fig. 7.14) se controla mediante la tensión que se le aplica, ya que posee la facultad de cambiar su capacidad en función de dicha tensión.

Los varicap se utilizan la mayoría de las veces en circuitos resonantes para sintonizar señales, los cuales permiten seleccionar una señal de una frecuencia específica, de entre muchas señales de diferente valor.

Su representación en los esquemas es la siguiente:



Fig. 7.14. Símbolo y aspecto físico del diodo varicap.

D. Fotodiodo

El fotodiodo (Fig. 7.15) es un diodo **sensible a la incidencia de la luz**, tanto visible como infrarroja, que se polariza inversamente para que su funcionamiento sea correcto, de modo que la circulación de corriente se producirá cuando sea excitado por la luz.

Está diseñado para que sea sensible a las radiaciones luminosas que incidan en él, es decir, realiza la función inversa al diodo LED.

Una de sus **aplicaciones** más importantes es como fotodetector, que consiste en ser un elemento capaz de transformar una magnitud luminosa en eléctrica. Por ello, se suele emplear en los mandos a distancia por infrarrojos, como los de la televisión, en las que el **receptor** está compuesto por un fotodiodo sensible a la luz infrarroja y el **emisor**, que sería el mando a distancia, lo está por un diodo LED que emite luz infrarroja. Se usa también con frecuencia en los sistemas de alarma.

Una variante especial de los fotodiodos es el **fotodiodo infrarrojo**, que posee un filtro que únicamente le permite aceptar señales luminosas de este tipo (infrarrojas).

Su **representación** en los esquemas es la siguiente:



Fig. 7.16. Símbolo del fotodiodo.

Importante

Este es el aspecto más habitual de un diodo varicap:



Fig. 7.15. Aspecto del fotodiodo.

¿Sabías que...?

La **radiación infrarroja**, **radiación térmica** o **radiación IR**, es un tipo de radiación electromagnética de mayor longitud de onda que la luz visible, pero menor que la de las microondas.

Caso práctico 4: Comprobación del funcionamiento de un fotodiodo

Monta sobre una placa BOARD el esquema de la Figura 7.17 y comprueba qué ocurre en el circuito al iluminar el diodo con una linterna.

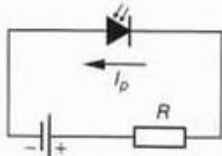


Fig. 7.17.

Solución:

Para comprobar el circuito, vamos a realizar un montaje sobre una placa BOARD.

Los **elementos** que necesitamos para montar el circuito son: un fotodiodo IPL10020BW, un resistor de 1 K, una pila de 9 V y un polímetro, que utilizaremos como amperímetro.

El **montaje** a realizar es el de la Figura 7.18:

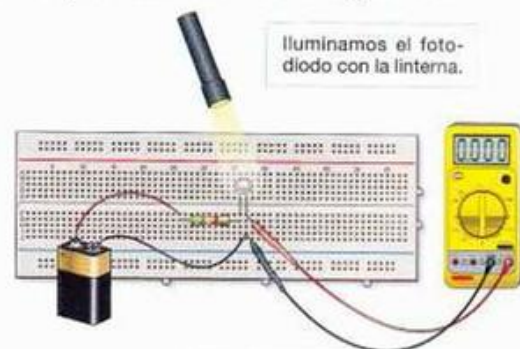


Fig. 7.18.

Iluminamos el fotodiodo con la linterna.

Al iluminar el fotodiodo, el amperímetro empezará a marcar intensidad por el circuito.

3. El transistor bipolar



Importante

Los fototransistores son sensibles a la luz, normalmente a los infrarrojos, y son más sensibles que los fotodiodos.

Un **transistor bipolar** es un dispositivo de tres terminales construido mediante uniones PN.

Además, es la base de todos los circuitos integrados que se fabrican.

Los transistores tienen multitud de **aplicaciones**, entre las que se encuentran:

- Amplificación de todo tipo (radio, televisión, instrumentación, etc.).
- Generación de señales (osciladores, generadores de ondas, emisión de radiolocalidad, etc.).
- Conmutación, actuando como interruptores (control de relés, fuentes de alimentación conmutadas, control de lámparas, modulación por anchura de impulsos etcétera).
- Detección de la radiación luminosa (fototransistores).

Una **aplicación** típica de los transistores en telecomunicaciones son los **osciladores** (generadores de señal) **de alta frecuencia**, para los que son necesarios transistores especiales.

Un transistor tiene el siguiente **aspecto**:



¿Sabías que...?

El primer transistor fue construido por William Shockley, John Bardeen y Walter H. Brattain, en 1948, y sustituyó a los tubos de vacío.

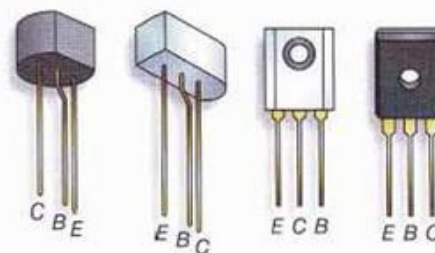


Fig. 7.19. Ejemplos de transistores.

Como podemos observar en la figura anterior, un transistor tiene **tres terminales** denominados base, emisor y colector:

- El **emisor (E)** es una capa dispuesta para emitir electrones; es un terminal extremo.
- El **colector (C)** es el otro terminal del otro extremo del transistor y recibe los electrones que emite el emisor.
- La **base (B)** es el terminal central y permite el paso de los electrones.

Para poder representarlo en los esquemas, sus **símbolos** son:



Truco

Para recordar cómo están las patillas en el transistor y saber cómo se polarizan sus uniones podemos tener en cuenta que un transistor equivale a la unión de dos diodos:

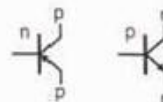
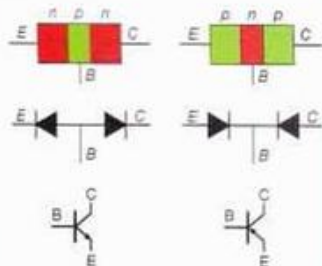


Fig. 7.20. Símbolos de los transistores PNP y NPN.

A la hora de conectar un transistor en un equipo, hay que asegurarse del orden que se encuentran colocados sus terminales, ya que, tal como podemos apreciar, siguen siempre la misma colocación.

Caso práctico 5: Comprobación del funcionamiento de un transistor

Realiza el montaje correspondiente al esquema de la figura que se muestra a continuación y comprueba la dependencia que existe en el transistor entre la corriente de base y la corriente de colector.

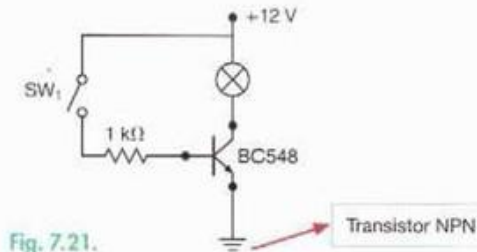


Fig. 7.21.

Solución:

Los **elementos** que necesitamos para realizar el montaje son: un resistor de 1K, un interruptor, un transistor NPN BC548 y una lámpara F.A. de 12 V.

Podemos realizar el montaje sobre una placa BOARD o utilizando un simulador; en este caso vamos a emplear la segunda opción.

Si realizamos la simulación con el interruptor abierto, comprobamos que la lámpara no se enciende. El interruptor permite cortar la corriente de base, y esto hace que el transistor no esté polarizado, con lo que la corriente del colector es nula y no enciende la lámpara:

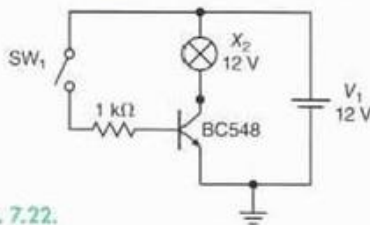


Fig. 7.22.

Si cerramos el interruptor, la lámpara se enciende. Cuando el interruptor está cerrado circula una corriente de base y el transistor funciona, observando que se enciende la lámpara:

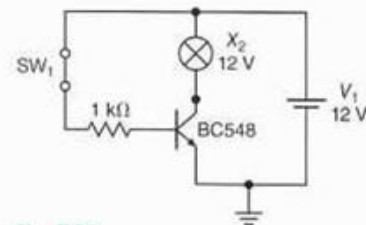


Fig. 7.23.

Cuando el interruptor SW_1 está abierto, tal como se muestra en la Figura 7.22, no circula intensidad por la base del transistor, por lo que la lámpara no se encenderá, ya que toda la tensión se encuentra entre el colector y el emisor.

Sin embargo, cuando se cierra el interruptor SW_1 , como recoge la Figura 7.23, circulará una intensidad muy pequeña por la base. Así, el transistor disminuirá su resistencia entre el colector y el emisor, por lo que pasará una intensidad muy elevada, haciendo que se encienda la lámpara.

Actividades

2. Identifica en los siguientes circuitos con placa BOARD los diodos, e indica de qué tipo son:

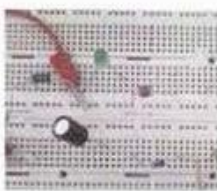


Fig. 7.24.



Fig. 7.25.

3. Identifica en la siguiente placa de un ordenador los diodos que no están identificados.



Fig. 7.26.

4. Busca los parámetros fundamentales, consultando las hojas de características, de los diodos que aparecen en la actividad 2, identificados como D134 y D135, y que corresponden a los modelos 1N3892 y 1N4148.

Importante

Se entiende por **polarizar un transistor** el suministrarle las tensiones adecuadas para que circulen las intensidades que queremos en cada uno de sus puntos.

3.1. Tensiones e intensidades de un transistor

Cuando conectamos un transistor en un circuito debemos considerar las **tensiones e intensidades** que se muestran en el siguiente esquema:

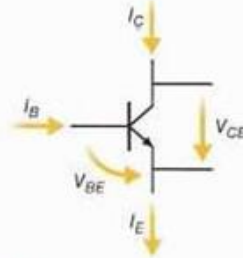


Fig. 7.27. Tensiones e intensidades de un transistor.

Si **polarizamos las uniones**, es decir, conectamos las uniones a pilas, tenemos:

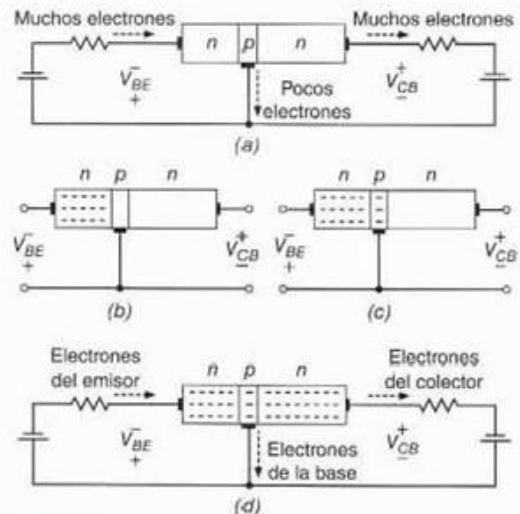


Fig. 7.28. Tensiones de un transistor.

En la Figura 7.28 tenemos la tensión V_{BE} , que es la **tensión de unión de base-emisor**; cuando esta unión es polarizada directamente (se conecta a una pila), es equivalente a la polarización directa de un diodo, y por tanto el valor de la tensión V_{BE} es 0,7 V.

V_{CE} es la **tensión colector-emisor**, que es, aproximadamente, igual al valor de la tensión colector-base, si se desprecia el valor de V_{BE} .

La **relación** entre estas tensiones citadas es:

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

En el caso de las intensidades de los transistores, su relación es: $I_E = I_B + I_C$, I_E la intensidad del emisor, I_B la intensidad de base e I_C la intensidad del colector.

Uno de los parámetros facilitados por el fabricante es β , constante para cada tipo y que representa la ganancia de corriente en continua. Relaciona la I_C y la I_B por la fórmula $\beta = I_C / I_B$.

@ Web

Además de los transistores que estamos viendo a lo largo de este apartado, existen otros, unipolares, denominados **transistores unipolares**.

Los dos tipos fundamentales son los transistores **FET** y **MOSFET**.

En la siguiente dirección web te puedes descargar una presentación de PowerPoint en la que encontrarás información sobre este tipo de dispositivos:

http://www.ielcabanyal.org/instituto/dpto_electronica/web/docs/ecc1/eg/TRANSISTORES%20DE%20EFECTO%20DE%20CAMPO.ppt

Caso práctico 6: Comprobación de la corriente de colector en un transistor bipolar

Un transistor bipolar de tipo NPN y $\beta = 100$ se conecta como se ve en el esquema de la Figura 7.29. Calcula, en estas condiciones, la corriente de colector. Comprueba de forma práctica que se cumple ese valor.

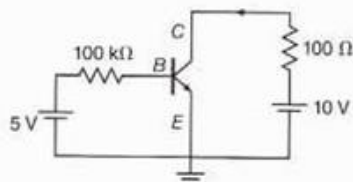


Fig. 7.29.

Solución:

Primero aplicamos la ley de Ohm: $V = I \cdot R$ en la malla de la base; despejando la I_B (intensidad de base de la fórmula) obtenemos la I_B ; a continuación, despejamos, de la fórmula $\beta = I_C / I_B$, la I_C (intensidad de colector), que es lo que se nos pide. Recordamos que entre la base y el emisor existe la tensión de una unión PN polarizada en directo (V_{BE}).

$$I_B = \frac{U_E - U_{BE}}{R_B} \Rightarrow I_B = \frac{5 - 0,7}{100 \cdot 10^3} = 4,3 \cdot 10^{-5} \text{ A}$$

$$I_C = I_B \beta \Rightarrow I_C = 4,3 \cdot 10^{-5} \cdot 100 = 0,0043 \text{ A}$$

Para comprobar el valor de la intensidad realizamos una simulación en el ordenador. El montaje es el siguiente:

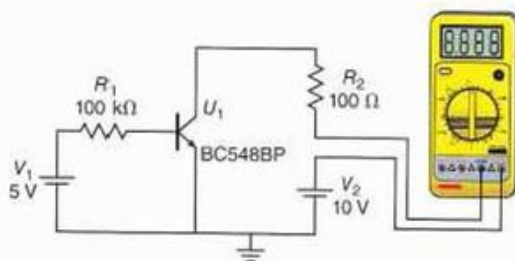


Fig. 7.30.

XMM2 es un amperímetro que nos da el valor de la intensidad que circula por el colector cuando ejecutamos la simulación.

Actividades

5. Un transistor bipolar del tipo NPN con $\beta = 100$, se conecta a una pila de 30 V de la siguiente manera: el colector se conecta al terminal positivo de la pila a través de una resistencia de 330 ohmios. La base también se conecta al mismo terminal positivo de la pila a través de una resistencia de 560 ohmios. El emisor se conecta directamente al terminal negativo de la pila. Calcula la tensión entre colector y emisor.

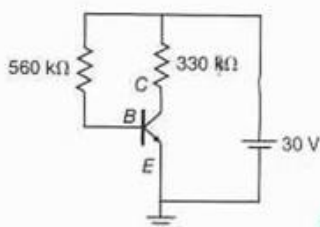


Fig. 7.31.

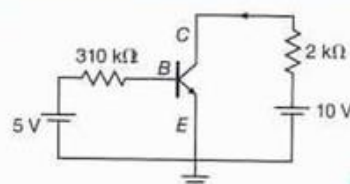


Fig. 7.32.

Determina los valores de V_{CE} , I_C e I_B .

7. Identifica los transistores en la siguiente placa de un ordenador:

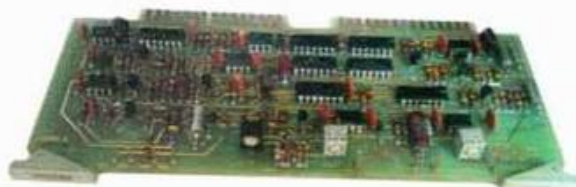


Fig. 7.33.

6. En la figura siguiente se muestra el circuito de polarización de un transistor bipolar.

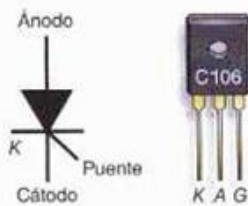
4. El tiristor

! Importante

El aspecto que posee un tiristor es el siguiente:



Tiristor visto de frente:



El **tiristor** es un dispositivo semiconductor formado por tres uniones PN.

Se utiliza con mucha frecuencia en los **circuitos electrónicos de potencia**. Su funcionamiento se asocia con un conmutador ideal, teniendo dos estados estables: conducción y no conducción.

Para muchas aplicaciones se puede suponer que los tiristores son interruptores o conmutadores ideales, aunque los tiristores prácticos exhiben ciertas características y límites. En todo caso, poseen dos estados de funcionamiento: funcionan o no funcionan.

Un **tiristor** posee tres conexiones: **ánodo**, **cátodo** y **puerta**. La puerta es la encargada de controlar el paso de corriente entre el ánodo y el cátodo. En las figuras del margen podemos ver su aspecto en fotografía e ilustrado. En cuanto al **símbolo** para representarlo en los esquemas, es el siguiente:



Fig. 7.34. Símbolo del tiristor.

Actividades

8. Identifica los tiristores en el siguiente esquema:

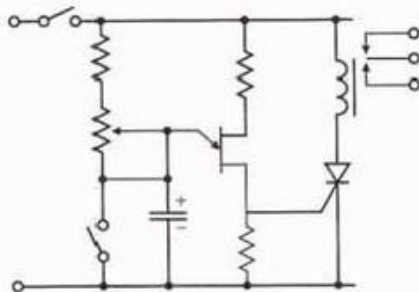


Fig. 7.35.

9. Identifica los transistores en la siguiente placa BOARD:

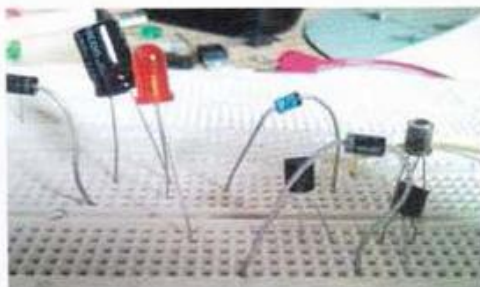


Fig. 7.36.

10. Identifica los transistores en los siguientes esquemas:

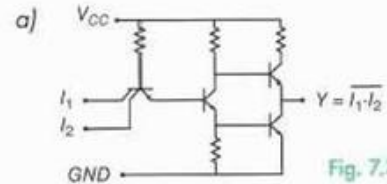


Fig. 7.37.

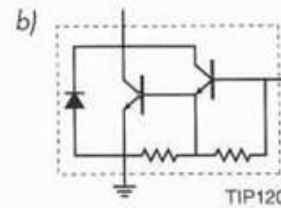


Fig. 7.38.

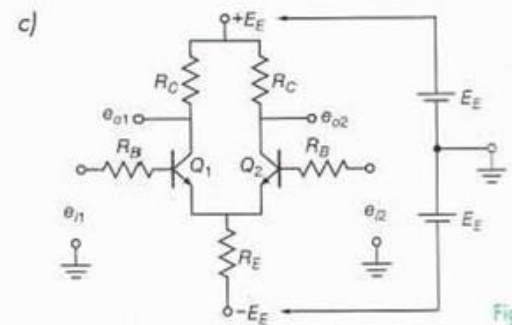


Fig. 7.39.

5. Componentes comerciales. Encapsulados de diodos, transistores y tiristores

En el mercado existen componentes comerciales para diodos, transistores y tiristores, junto a los que el fabricante facilita unas hojas en las que se detallan las características de dichos componentes. Analizaremos los más habituales.

5.1. Diodos

Para los diodos semiconductores tenemos diferentes tipos de encapsulados:



Fig. 7.40. Ejemplos de los principales encapsulados para diodos.

El encapsulado determina ciertas características que pueden ser comunes a diferentes dispositivos. Una de ellas puede ser la **potencia** que son capaces de disipar. Así, distintos dispositivos con el mismo encapsulado tendrán la misma potencia.



Fig. 7.41. Muestra de los diodos que se emplean en motores.

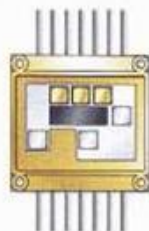
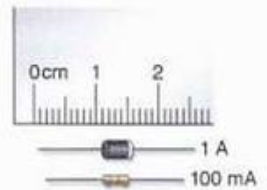


Fig. 7.42. Muestra de los diodos que se utilizan para satélites.

Importante

El tamaño de los componentes está relacionado con la potencia que aguantan, y por tanto con la intensidad que puede circular a través de ellos. Es una referencia a la hora de elegir el componente.



Importante

El tipo de encapsulado depende de la potencia del diodo. A partir de 1 W, los encapsulados suelen ser metálicos, y para grandes potencias incorporan la posibilidad de acoplarles un refrigerador.

En el caso de los diodos, las **hojas de características** que suele facilitar el fabricante normalmente están escritas en **inglés**.



Caso práctico 7: Análisis de la hoja de características de un diodo

A partir de la hoja de características de un diodo vamos a analizar los principales parámetros que facilita el fabricante.

Solución:

En una primera parte de la hoja nos proporciona información sobre los valores máximos de utilización de los componentes y su utilización (en este caso se trata de rectificadores de propósito general).

1N4001 - 1N4007

Features

- Low forward voltage drop.
- High surge current capability.

DO-41
COLOR BAND INDICATES CATHODE

1.0 Ampere General Purpose Rectifiers

Absolute Maximum Ratings* T_a = 25°C unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Value	Units
I _{AV}	Average Rectified Current 375° lead length @ T _a = 75°C	1.0	A
I _{FSM}	Non-repetitive Peak Forward Surge Current 8.3 ms single half-sine-wave Superimposed on rated load (JEDEC method)	30	A
P _D	Total Device Dissipation Derate above 25°C	2.5	W
R _{θ(jc)}	Thermal Resistance, Junction to Ambient	50	°C/W
T _{stg}	Storage Temperature Range	-55 to +175	°C
T _j	Operating Junction Temperature	-55 to +150	°C

Modelos para los que son válidos los valores de la hoja de características.

Aspecto físico del diodo.

Encapsulado del diodo.

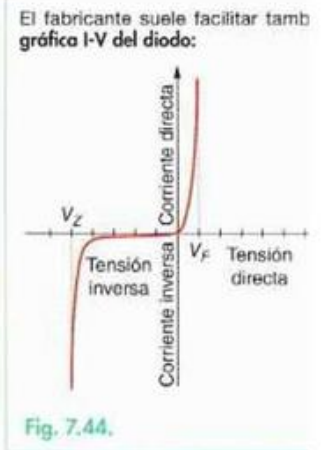


Fig. 7.43.

Otros de los aspectos importantes a tener en cuenta son los parámetros eléctricos:

Electrical Characteristics T_a = 25°C unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Device						Units	
		4001	4002	4003	4004	4006	4007		
V _{RRM}	Peak Repetitive Reverse Voltage	50	100	200	400	600	800	1000	V
V _{RRM}	Maximum RMS Voltage	35	70	140	280	420	560	700	V
V _R	DC Reverse Voltage (Rated V _R)	50	100	200	400	600	800	1000	V
I _{RM}	Maximum Instantaneous Reverse Current @ rated V _R	5.0						μA	
		500						μA	
V _{FM}	Maximum Instantaneous Forward Voltage @ 1.0 A	1.1						V	
I _V	Maximum Full Load Reverse Current, Full Cycle T _a = 75°C	30						μA	
C	Typical Junction Capacitance V _B = 4.0 V, f = 1.0 MHz	15						pF	

Tensión máxima eficaz.

Tensión inversa en continua.

Características comunes para todos los modelos: tensión máxima en directo, máxima corriente en inverso a plena carga y capacidad típica de la unión.

Fig. 7.45.



Truco

Comprobación del estado de un diodo: si el diodo, tanto en directo como en inverso, marca una resistencia muy pequeña, significa que está en corto; y si marca una resistencia muy grande, el diodo está abierto.

A. Comprobación mediante el óhmetro del estado de un diodo

Para comprobar el estado de un diodo, utilizamos el **óhmetro** (instrumento que para medir las resistencias), gracias al cual comprobaremos si hay o no continuidad en el diodo en función de cómo esté polarizado.

Para llevar a cabo esta comprobación, hemos de conectar el óhmetro poniendo el terminal positivo en el ánodo y el negativo en el cátodo, así tenemos el diodo polarizado directamente. Si el diodo está en perfectas condiciones, nos tiene que dar una resistencia muy pequeña, ya que el diodo conduce.

La Figura 7.46 muestra cómo se debe realizar la **conexión**:

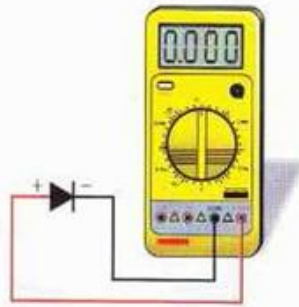


Fig. 7.46. Diodo polarizado directamente.

Si, por el contrario, invertimos la posición del diodo, es decir, con el terminal positivo del óhmetro en el cátodo y el negativo en el ánodo del diodo, para comprobar que el diodo está en perfecto estado nos tiene que dar un valor de resistencia muy alto, tal como se muestra en la Figura 7.47:

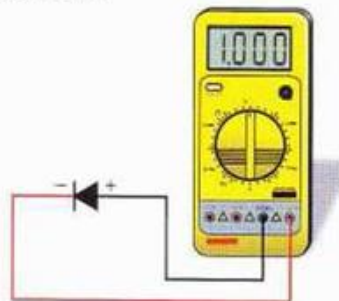


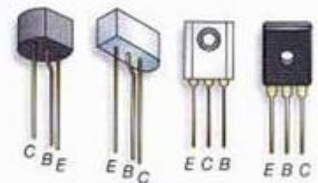
Fig. 7.47. Diodo polarizado inversamente.

Recuerda

En la Unidad 2 se explica con detalle cómo se utiliza un **polímetro en la posición de óhmetro**. Consulta el apartado que lo aborda si tienes dudas a la hora de comprobar el diodo.

Importante

Dependiendo del encapsulado, la disposición de las patillas de base (emisor y colector) será diferente. Así por ejemplo:



5.2. Transistor

En el mercado podemos encontrar transistores con diferentes **encapsulados**:

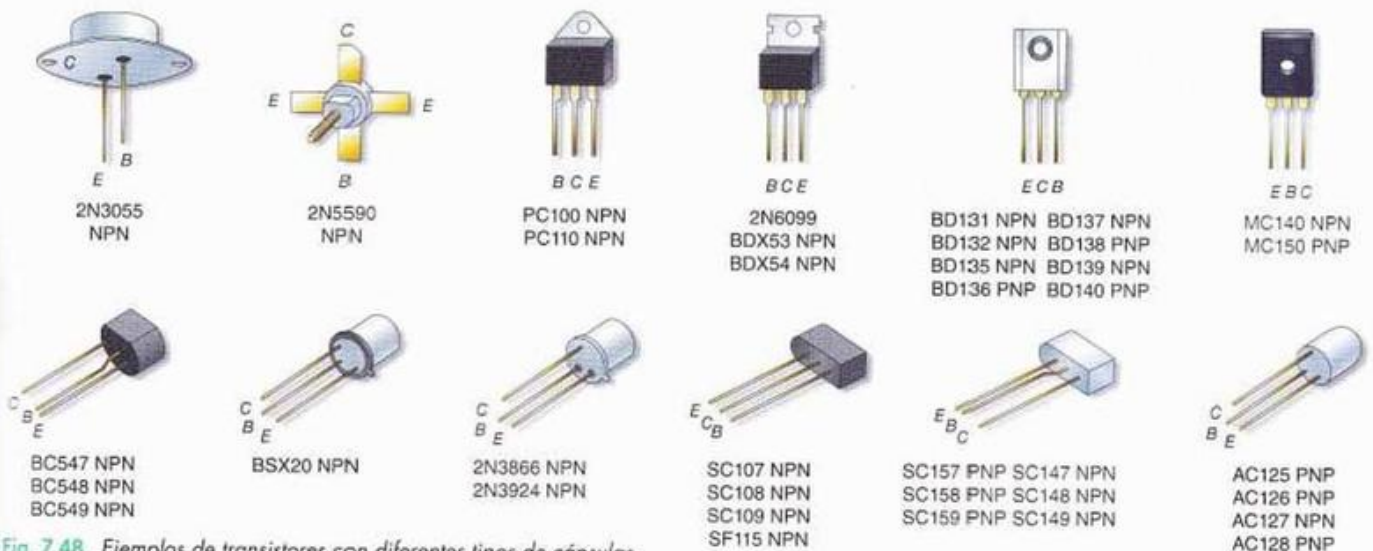


Fig. 7.48. Ejemplos de transistores con diferentes tipos de cápsulas.

Como con todos los componentes electrónicos, debemos recurrir a la **hoja de características** para saber cuáles son sus parámetros y cómo funcionan.

Caso práctico 8: Análisis de la hoja de características de un transistor bipolar

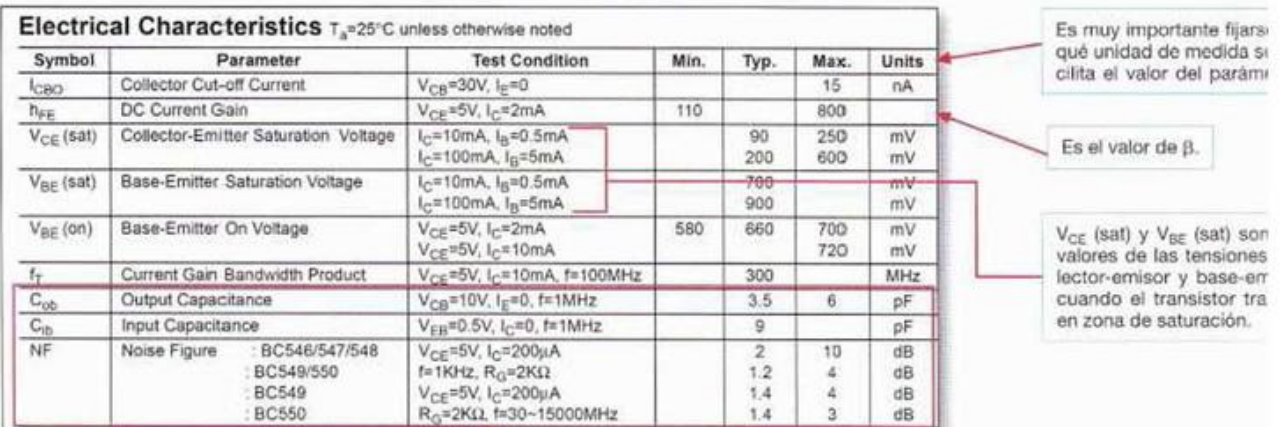
Interpretación de los principales parámetros que proporciona el fabricante sobre la hoja de características de un transistor bipolar.

Solución:



Fig. 7.49 a.

Además de los valores máximos de cada uno de los transistores de la familia para la que se proporciona la hoja de características, nos interesan los **parámetros eléctricos**:



La figura de ruido es un parámetro importante cuando se va a utilizar el transistor como amplificador. En este caso, la unidad de medida de este parámetro es el decibelio (dB). Este valor lo estudiaremos con detalle en la unidad dedicada a los amplificadores.

Fig. 7.49 b.

○ A. Comprobación del estado de un transistor con un óhmetro

Para comprobar el estado de un transistor, procedemos igual que con el diodo, teniendo en cuenta que **el transistor es la interconexión de dos diodos**. En esta unidad realizaremos la comprobación para un transistor NPN, ya que es el más utilizado.

En primer lugar conectaremos el terminal positivo del óhmetro al ánodo y el terminal negativo al cátodo de la unión base-emisor. En este caso, la resistencia que observemos debe ser muy baja, puesto que está polarizado **directamente** y conduce. En esta ocasión el transistor está bien.

Si por el contrario se invierte la posición, y tenemos polarizado el transistor **inversamente**, nos tiene que dar un valor de resistencia alto para que el transistor esté bien, tal como se muestra en la Figura 7.50:

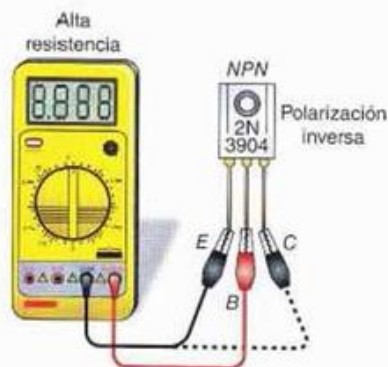


Fig. 7.50. Medida de un transistor polarizado inversamente.

● 5.3. Tiristores

Al igual que en el caso de los diodos y los transistores, también hay **diferentes tipos** de tiristores:



Fig. 7.51. Tiristores con diferentes encapsulados.

Los **parámetros** a tener en cuenta son los mismos que en los diodos (corriente directa, tensión directa, etc.), facilitados por los fabricantes en las hojas de características.

Truco

No siempre se tiene claro cuál es, en un transistor, la base (colector y emisor). Saldremos de dudas empleando un polímetro:



Web

En la siguiente página web puedes consultar las **hojas de características** de los componentes que estamos analizando:

<http://es.rs-online.com>

Actividades

11. Analiza la hoja de características del tiristor TIC106N (5A) y anota sus principales parámetros, tal como hemos visto en el caso de los transistores.
12. Lee la hoja de características del transistor 2N3055 y averigua la potencia máxima que puede disipar, el valor de β y la temperatura máxima que puede alcanzar la unión.

Caso práctico 9: Comprobación del estado de un tiristor con un óhmetro

Comprueba el estado de un tiristor con ayuda de un óhmetro.

Solución:

Lo primero que haremos será colocar el óhmetro o multímetro en la escala para medir baja resistencia ($R \cdot 1$).

A continuación uniremos el polo positivo (rojo) al cátodo del SCR, y el ánodo al cable negativo (negro), tal como vemos en la Figura 7.53. En ese momento podremos observar que la aguja del medidor señala alta resistencia (si es que mueve). Entonces haremos un puente entre los terminales puerta y ánodo, lo cual provocará que la aguja suba a una posición de baja resistencia, y se debe conservar así aunque retiremos el puente que unió estos dos terminales y suministró la señal de disparo.

Esquema del montaje:

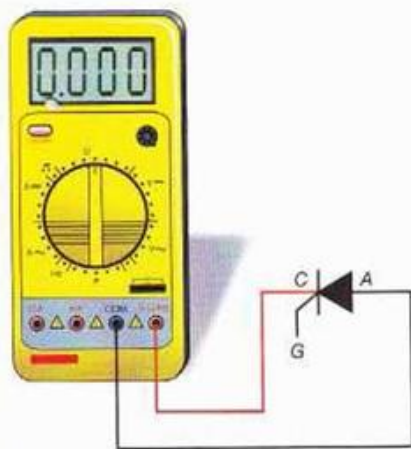


Fig. 7.52.

Visualización de la medida con el polímetro. Comprobación del tiristor C10B.

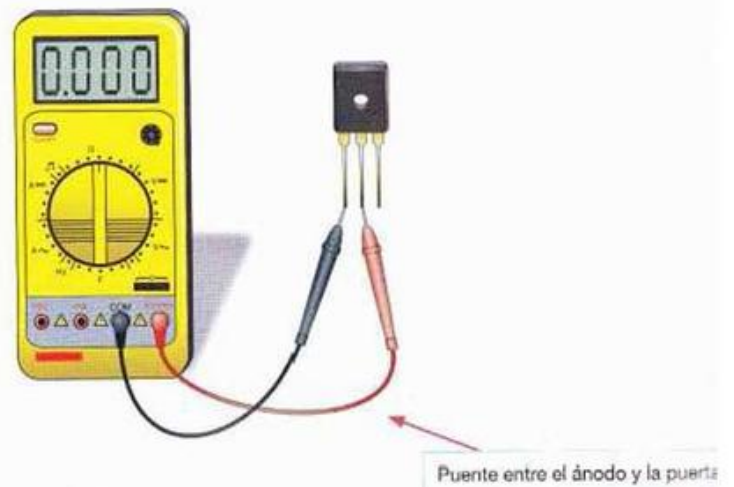


Fig. 7.53.

Actividad

13. Identifica, de los siguientes transistores, y según su encapsulado, cuáles son los terminales: base, colector y emisor, y recopila sus características buscando en las hojas de los fabricantes (observa para ello de qué tipo de transistor se trata).

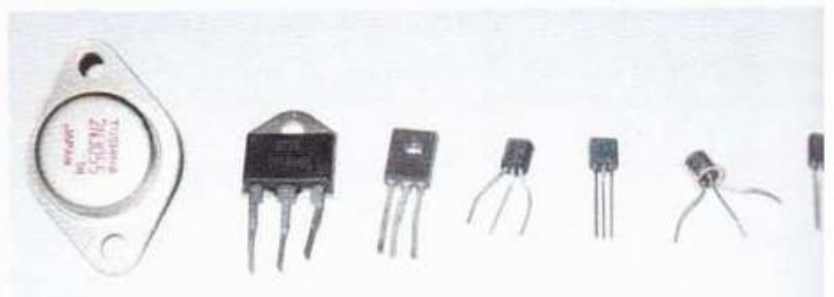


Fig. 7.54.

Práctica final: Montaje y cálculos de circuitos con transistores

1. Objetivo

Se pretende realizar el montaje y tomar medidas del siguiente circuito:

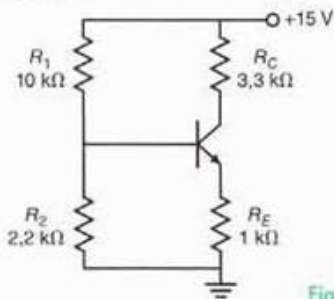


Fig. 7.55.

2. Materiales

- Resistores de los valores indicados en el circuito.
- Placa BOARD para el montaje del circuito.
- Transistor de valor 2N3904.
- Fuente de alimentación de 15 V.
- Cables.
- Polímetro.

3. Técnica

a) Cálculos teóricos

1. Se trata de calcular los valores de V_C , V_B , V_E , I_E , I_C e I_B , estudiados en esta unidad.
2. Primero calculamos teóricamente todos estos valores utilizando las fórmulas del tema.
3. A continuación lo haremos prácticamente, usando el polímetro.
4. Comparamos los resultados.



Fig. 7.56.



Fig. 7.57.



Fig. 7.58.

5. Anotamos los resultados en la siguiente tabla:

	Teóricos	Prácticos
V_C		
V_B		
V_E		
I_C		
I_B		
I_E		

b) Medidas

1. Montamos sobre la placa BOARD el circuito de la figura (Figs. 7.56 y 7.57).
2. Conectamos el polímetro en posición de voltímetro para medir las tensiones, y en posición de amperímetro para medir las intensidades (Fig. 7.58).
3. Ajustamos la escala según el valor previsto que tenemos que medir (calculado anteriormente).
4. Tomamos la lectura correcta de la medida y anotamos su valor (Fig. 7.58).

4. Cuestiones

a) Una vez realizadas las medidas, comparamos:

- ¿Qué valor obtenemos de V_B ? ¿Por qué?
- ¿Qué valor obtenemos de V_C ?
- ¿Qué valor obtenemos de V_E ? ¿Y de I_E , I_B e I_C ?

b) Razona las respuestas, aplicando los conocimientos adquiridos a lo largo de estas unidades.



Test de repaso

1. Un componente activo es:
 - a) Una resistencia.
 - b) Un condensador cerámico.
 - c) Un condensador electrolítico.
 - d) Un transistor.
2. Un diodo polarizado directamente:
 - a) Conduce la electricidad.
 - b) Conduce la intensidad.
 - c) Conduce la intensidad de corriente.
 - d) Todas son correctas.
3. La I_F en un diodo es:
 - a) Intensidad directa.
 - b) Intensidad inversa.
 - c) Tensión directa.
 - d) Tensión inversa.
4. Un fotodiodo es un tipo de diodo que:
 - a) Solo conduce la corriente cuando incide sobre las radiaciones luminosas.
 - b) Solo conduce la corriente y es él el que proporciona luz.
 - c) Solo conduce la corriente cuando incide sobre él luz infrarroja.
 - d) Siempre conduce.
5. Un diodo LED tiene la propiedad de:
 - a) Recibir luz visible.
 - b) Emitir luz visible.
 - c) Emitir luz ultravioleta.
 - d) Recibir luz ultravioleta.
6. Un diodo zener conduce cuando está polarizado:
 - a) En directo y en inverso.
 - b) En directo.
 - c) En inverso.
 - d) En paralelo.
7. La V_B de un transistor es:
 - a) Tensión de colector.
 - b) Tensión de base.
 - c) Tensión de emisor.
 - d) Intensidad de base.
8. La I_B de un transistor es:
 - a) Tensión de colector.
 - b) Tensión de base.
 - c) Tensión de emisor.
 - d) Intensidad de base.
9. La V_{CE} de un transistor es:
 - a) La tensión continua entre colector y base.
 - b) La tensión continua entre colector y emisor.
 - c) La tensión continua entre base y emisor.
 - d) La tensión continua entre emisor y colector.
10. A las patillas de un tiristor se las denomina:
 - a) Emisor, base y colector.
 - b) Emisor, puerta y colector.
 - c) Ánodo, cátodo y puerta.
 - d) Emisor, cátodo y puerta.
11. La ganancia de corriente continua en un transistor representa con la letra:
 - a) α .
 - b) β .
 - c) γ .
 - d) π .

opciones: 1d, 2d, 3a, 4a, 5b, 6a, 7b, 8b, 9b, 10c, 11b.

Comprueba tu aprendizaje



Identificar los parámetros y características fundamentales de los componentes electrónicos activos

1. Explica la diferencia entre polarización directa e inversa de un diodo.
2. ¿A qué tensión de polarización directa comienzan a conducir los diodos de Si? ¿y los de Ge?
3. Busca y explica las características de los diodos LED.
4. ¿Cómo se comprueba el buen funcionamiento de los transistores?
5. Investiga cuáles son las principales aplicaciones de los transistores para telecomunicaciones.

Identificar los componentes activos, asociándolos con su símbolo

6. De los siguientes símbolos, identifica de qué tipo son los diodos de las siguientes figuras:



Fig. 7.59.



Fig. 7.60.



Fig. 7.61.

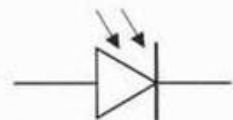


Fig. 7.62.

7. Busca la hoja de características del transistor BC547 e identifica sus parámetros más importantes.

8. Identifica, sobre el esquema de la siguiente figura, los componentes que has estudiado a lo largo de la unidad. ¿Qué diferencias hay entre D_1 , D_2 y D_3 ?

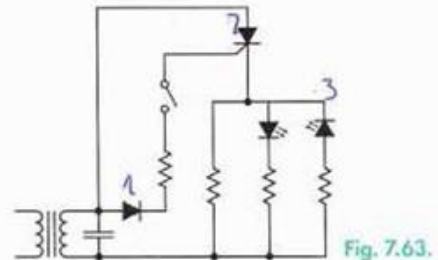


Fig. 7.63.

Montar y realizar las medidas fundamentales de los circuitos con componentes activos

9. Señala qué diodos lucen y cuáles no de las siguientes figuras:

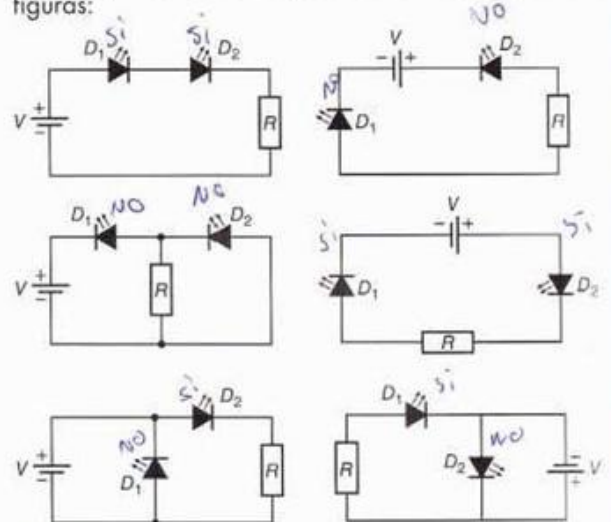


Fig. 7.64.

10. Calcula los parámetros fundamentales del transistor de la siguiente figura (transistor BC547) aplicando las fórmulas estudiadas en esta unidad. (Los datos que faltan se incluyen en la hoja de características.)

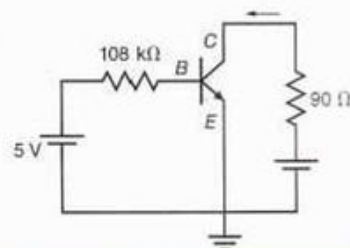


Fig. 7.65.

Comprueba tu aprendizaje

11. Realiza el montaje del circuito de la figura en un simulador. Mide la tensión V_{CE} y la corriente de colector, I_C , colocando un amperímetro y un voltímetro en la posición que sea más adecuada para realizar tales medidas.
12. Realiza los cálculos de los valores que has medido, aplicando las fórmulas que has visto en la unidad, y comprueba que coinciden con las medidas tomadas. Si te faltan datos del transistor, localízalos en su hoja de características.

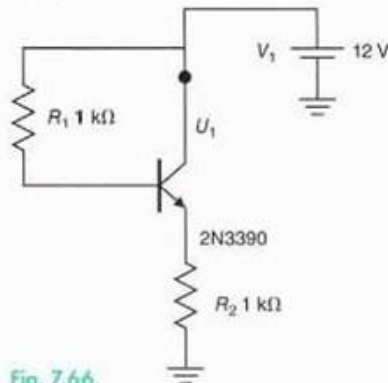


Fig. 7.66.

13. Monta el circuito de la siguiente figura sobre una placa BOARD o en un simulador:

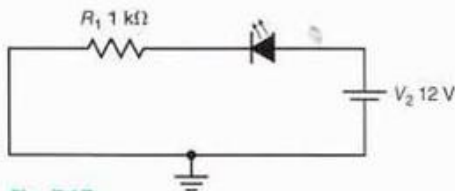


Fig. 7.67.

Contesta ahora a las siguientes preguntas:

- ¿Luce el diodo?
- Consulta la hoja de características de un diodo LED rojo y comprueba el valor de la intensidad máxima que puede circular por él. Coloca un amperímetro en el montaje y comprueba el valor de la intensidad que circula por el circuito, para ver si estamos lejos o cerca de la $I_{m\acute{a}x}$ del diodo.
- Cambia la resistencia del circuito por una de 100 kΩ. ¿Funciona el diodo? ¿Por qué está ocurriendo esto?
- Calcula el valor máximo de resistencia que podrías colocar en el circuito para que el diodo funcionara correctamente. Realiza el montaje con ese valor y comprueba su funcionamiento.

14. Efectúa los montajes de los dos circuitos que tiene continuación sobre un simulador. Comprueba en cuál de los dos luce el diodo LED y explica razonadamente por qué en uno de ellos no funciona.

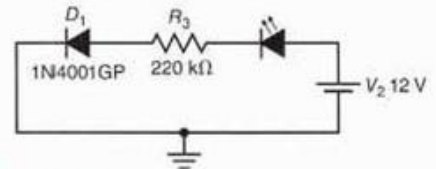


Fig. 7.68.

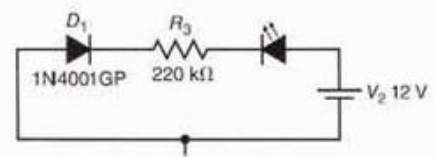


Fig. 7.69.

15. Dibuja, respecto al transistor de la figura, cómo conectarías un polímetro para comprobar su funcionamiento, explicando en qué posición habría que colocar el aparato para tomar tales medidas.



Fig. 7.70.

- ¿De qué tipo es el transistor mostrado en la figura?
¿Cómo influye esto a la hora de comprobar su funcionamiento?

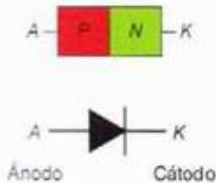
Describir aplicaciones reales de los componentes activos

16. Busca varios ejemplos de las aplicaciones en comunicaciones de los diodos, los transistores y tiristores.

1. Circuitos rectificadores

A Vocabulario

Diodo. Es un componente electrónico formado por una unión PN, y tiene la funcionalidad de que la corriente eléctrica circula por él en un solo sentido.



Los **rectificadores** son circuitos realizados con diodos, capaces de cambiar la forma de onda de la señal que reciben en su entrada.

Se utilizan sobre todo en las fuentes de alimentación de los equipos electrónicos, que tener en cuenta que cualquier equipo electrónico funciona internamente con corriente continua, y aunque nosotros los conectamos a la red eléctrica (230 V de corriente alterna a 50 Hz), la fuente de alimentación se encarga de convertir esa corriente alterna en corriente continua. El elemento fundamental de esa fuente de alimentación será precisamente el **circuito rectificador**.

Podemos establecer una **clasificación** de los rectificadores en función del número de diodos que utilizan. Así, tendremos:

- Rectificador de media onda, formado por un único diodo.
- Rectificador de onda completa. Dentro de este tipo podemos distinguir:
 - Rectificador con transformador de toma intermedia, formado por dos diodos.
 - Rectificador con puente, formado por cuatro diodos.

A continuación analizaremos el funcionamiento de cada uno de ellos.

@ Web

http://www.sc.ehu.es/sbweb/electronica/elec_basica/

Este curso de Electrónica básica de la Universidad del País Vasco incluye en la Unidad 4 un simulador de rectificador de media onda.

1.1. Rectificador de media onda

El **rectificador de media onda** es un circuito que elimina la mitad de la señal que recibe en la entrada, en función de cómo esté polarizado el diodo: si la polarización es directa, eliminará la parte negativa de la señal, y si la polarización es inversa, eliminará la parte positiva.

⚙️ Caso práctico 1: Estudio del funcionamiento de un rectificador de media onda

El esquema de la Figura 8.1 corresponde a un circuito rectificador de la fuente de alimentación de un amplificador de sonido para aparatos lectores de MP3 portátiles. Analiza el funcionamiento del circuito.

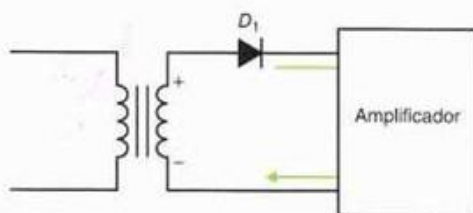


Fig. 8.1.

Solución:

A efectos prácticos, **todo circuito electrónico** (como el amplificador de este caso) **se puede sustituir por una resistencia de carga (R_L)** cuyo valor será el de la resistencia de entrada del circuito que queremos sustituir. De esta forma,

el esquema eléctrico que vamos a utilizar para comprobar el funcionamiento del rectificador será el siguiente:

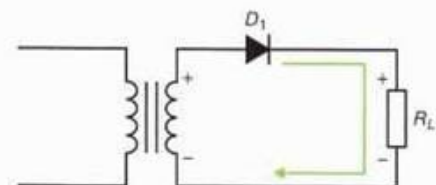


Fig. 8.2.

Los **elementos** que necesitamos para comprobar el funcionamiento de este circuito son:

- Transformador de 220 V/12 V.
- D_1 : Diodo 1N4001.
- R_L : Resistor de 1 k Ω , 1/4 W.

(Continúa)

Caso práctico 1: Estudio del funcionamiento de un rectificador de media onda

(Continuación)

- Osciloscopio.
- Placa BOARD.

Los **pasos** que tenemos que seguir son los siguientes:

1. Montamos el diodo y el resistor sobre la placa BOARD.
2. Conectamos la sonda del osciloscopio a los extremos de la resistencia, de tal forma que el positivo quede en la patilla que comparte con el diodo, y el negativo en la patilla de abajo.

3. Conectamos el secundario del transformador (la parte de 12 V) al circuito: un cable al diodo y el otro al resistor.
4. Encendemos el osciloscopio para visualizar la señal y conectamos el primario del transformador a la red eléctrica. Ajustamos el osciloscopio hasta que veamos la señal correctamente.

El **montaje** es el siguiente:

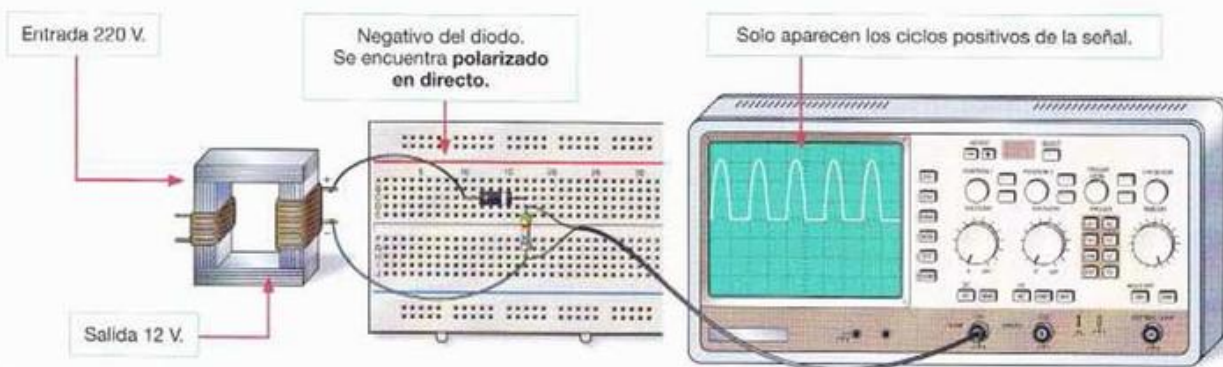
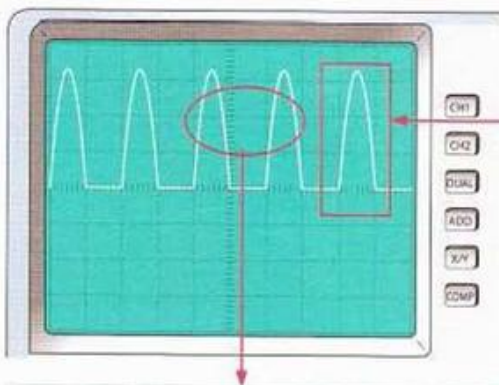


Fig. 8.3.

Comprobamos la **medida** de la señal:



Periodo: 2 divisiones multiplicadas por 10 ms/div: 20 ms;
luego la **frecuencia** será $1/20 \text{ ms} = 50 \text{ Hz}$.

Para poder visualizar esta señal, el osciloscopio está configurado de la siguiente manera:

- Canal 1 seleccionado.
- Escala de amplitud: 5 V por división.
- Base de tiempos: 10 ms por división.

Amplitud: hay que tener en cuenta que el valor del transformador se expresa en **valores eficaces**, mientras que el **osciloscopio** mide **valores máximos**. Hay que realizar la conversión entre estos valores, de modo que la amplitud que debe tener la señal en la pantalla es de $12\sqrt{2} = 17 \text{ V}$. En la señal podemos observar que tiene 3,2 divisiones. Al multiplicar por la escala (5 V/div) nos da como resultado 17 V.

Fig. 8.4.

Es importante destacar que el rectificador no modifica la amplitud de la señal que recibe a su entrada, solamente elimina los ciclos negativos. Esto se cumple para todas las señales que pongamos a su entrada, independientemente de la frecuencia que tengan. La única limitación al respecto la impondrá el funcionamiento del diodo, que estará elegido acorde con el circuito.



Actividad

1. Considerando el circuito que hemos visto en el Caso práctico 1, realiza las siguientes acciones:
 - a) Dale la vuelta al diodo y visualiza en el osciloscopio la señal que obtienes. ¿Qué ha ocurrido con la onda? Explica por qué sucede esto.
 - b) En lugar del transformador de entrada, conecta un generador de señales e introduce una señal de 10 V_{pp} y una frecuencia de 1 kHz . Dibuja en tu cuaderno la señal que obtienes.
 - c) Repite la operación cambiando la frecuencia a 1 MHz . ¿Funciona el circuito correctamente? ¿Por qué?



Vocabulario

Valor de pico o valor máximo (A_p o A_o). Es la máxima amplitud que puede tomar la señal.

Valor eficaz. Es el valor que tendría una corriente continua que produjera el mismo efecto que la corriente alterna. Se calcula dividiendo el valor máximo entre $\sqrt{2}$.

Valor instantáneo. Es el valor que puede tomar la señal en cualquier instante de tiempo.

Los **parámetros** más importantes que debemos tener en cuenta en los rectificadores de media onda son los siguientes (Tabla 8.1):

Parámetro	Fórmula	Observaciones
Valor medio de la tensión	$V_{med.} = \frac{V_{máx.}}{\pi}$	Es la media aritmética de todos los valores instantáneos de la señal comprendidos en un intervalo (en este caso la mitad del periodo).
Valor eficaz de la tensión	$V_{ef.} = \frac{V_{máx.}}{2}$	Este valor de tensión lo podemos comprobar con un polímetro.
Valor medio de la intensidad	$I_{med.} = \frac{V_{med.}}{R}$	Se obtienen aplicando la ley de Ohm a los valores de tensión. Dependen de la resistencia de carga del rectificador.
Valor eficaz de la intensidad	$I_{ef.} = \frac{V_{ef.}}{R}$	

Tabla 8.1. Parámetros fundamentales en rectificadores de media onda.



Caso práctico 2: Cálculo de la tensión media en un rectificador de media onda

Necesitamos calcular el valor medio de la tensión de salida en un circuito rectificador de media onda como el utilizado en el Caso práctico 1. Contamos con la lectura obtenida en el osciloscopio a la salida del mismo. ¿Cuál será el valor medio si consideramos la tensión que tiene el diodo por estar polarizado en directo ($V_F = 0,7\text{ V}$)?

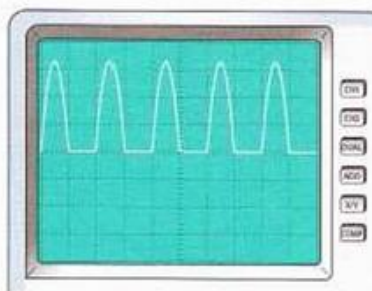


Fig. 8.5.

Solución:

Obtenemos el **valor máximo** de la señal a partir de la lectura del **osciloscopio**. De esta forma, multiplicando por la escala de amplitud, obtenemos que el valor de pico de la señal es de:

$$3,09\text{ div} \cdot 100\text{ V/div} = 309\text{ V}$$

Tenemos que aplicar la **fórmula** estudiada para el cálculo del valor medio de la señal, pero teniendo en cuenta la tensión que necesita el diodo para empezar a conducir (V_F). Esta tensión se restará al valor máximo de la señal:

$$V_{med.} = \frac{V_{máx.} - 0,7}{\pi}$$

Sustituyendo los valores, obtenemos:

$$V_{med.} = \frac{309 - 0,7}{\pi} = 98,13\text{ V}$$

Siempre que trabajemos con un diodo real polarizado en directo, la tensión que necesite para empezar a conducir se restará del valor de tensión que tenga a su entrada. Este valor de tensión se obtiene de la hoja del fabricante y es el parámetro dado como V_F .

1.2. Rectificador de onda completa

El circuito rectificador de onda completa es el tipo más empleado en las fuentes de alimentación de los equipos, debido a que con él se obtiene una corriente continua muy parecida a la que proporcionan las pilas o las baterías.

A. Rectificador de onda completa con transformador de toma intermedia

Caso práctico 3: F. a. con transformador de toma intermedia y rectificador de onda completa

Al buscar una avería en la fuente de alimentación de un lector de DVD para la televisión, comprobamos que lleva un rectificador que sigue el esquema de la Figura 8.6:

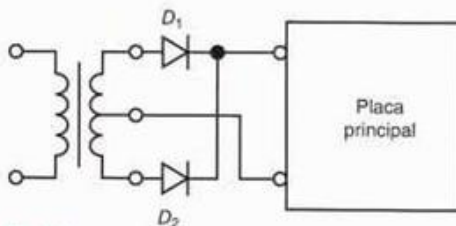


Fig. 8.6.

Como necesitamos saber si funciona correctamente, vamos a montar en el taller un circuito igual al que tenemos en el equipo para comprobar si las señales que obtenemos a la salida son iguales en ambos casos. A efectos prácticos, como hemos visto en el caso práctico anterior, la placa la podemos sustituir por una resistencia. Así, el esquema del circuito que queremos simular será:

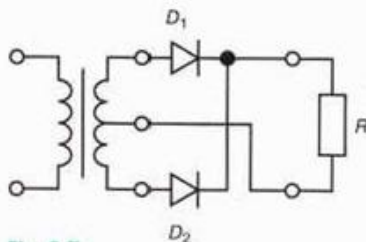


Fig. 8.7.

Solución:

Los **elementos** que necesitamos para el montaje del circuito son los siguientes:

- Transformador de 220 V/12 + 12 V.
- D_1 y D_2 : Diodo 1N4001.
- R : Resistor de 1 k Ω , 1/4 W.
- Osciloscopio.
- Placa BOARD.

Los **pasos** que tenemos que seguir son los siguientes:

1. Montamos los diodos D_1 y D_2 sobre la placa BOARD, en la posición indicada en el esquema. Montamos el resistor. Hay que unir eléctricamente las dos partes negativas de los diodos.
2. Conectamos la sonda del canal 1 del osciloscopio en los extremos de la resistencia, de tal forma que el positivo quede en la patilla que comparte con el diodo, y el negativo en la patilla de abajo.
3. Conectamos la sonda del canal 2 del osciloscopio a la salida del transformador: masa en el terminal de 0 V y la punta activa en uno de los extremos de 12 V. Queremos observar la señal que nos da el transformador y la que obtenemos a la salida del rectificador.
4. Conectamos el secundario del transformador (la parte de 12 V) al circuito: un cable al diodo D_1 , el otro cable de 12 V al diodo D_2 y el cable de 0 V al resistor.
5. Encendemos el osciloscopio para visualizar la señal y conectamos el primario del transformador a la red eléctrica. Ajustamos el osciloscopio hasta que veamos la señal correctamente.

Además del montaje físico, podemos hacer una **simulación** en el ordenador. En la figura mostrada a continuación (Fig. 8.8) puede observarse el esquema que utilizaríamos en un simulador:

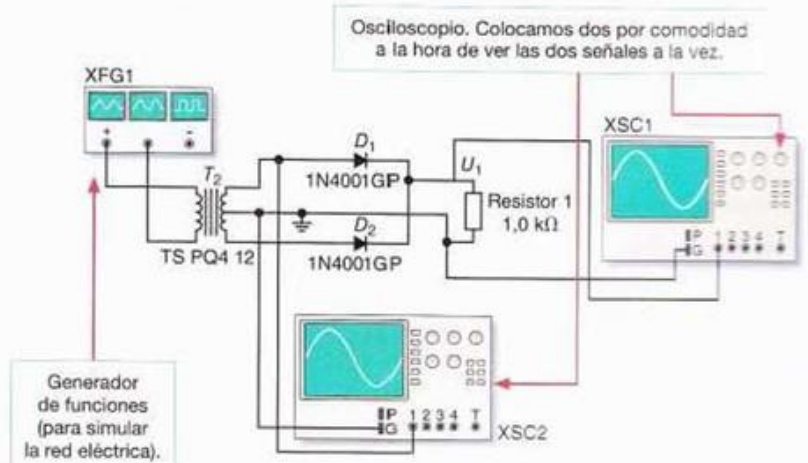


Fig. 8.8.

(Continúa)

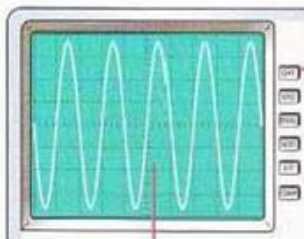
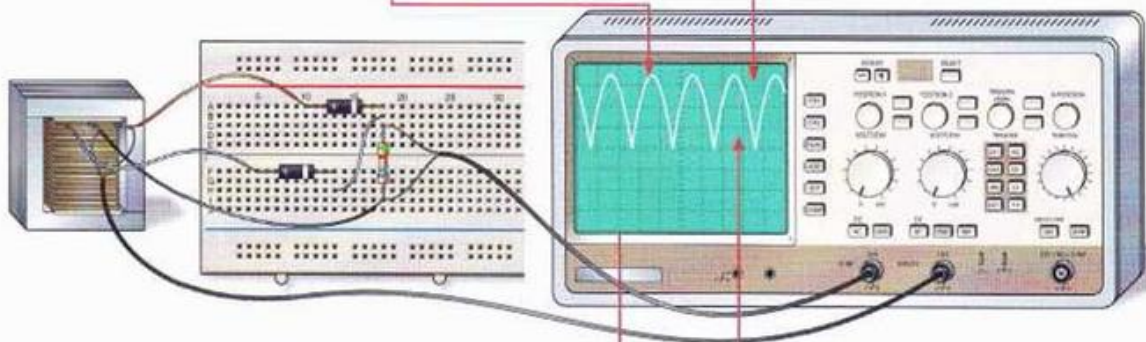
Caso práctico 3: F. a. con transformador de toma intermedia y rectificador de onda completa

(Continuación)

Una vez realizado y puesto en marcha el montaje, obtenemos las siguientes señales:

Cuando conduce el diodo D_1 en el primer semiciclo, al estar polarizado directamente, fluye una **corriente I** por la resistencia de carga. El diodo D_2 está polarizado inversamente y no conduce **ninguna corriente**.

Cuando conduce el diodo D_2 en el segundo semiciclo, al estar polarizado directamente, fluye una **corriente I** por la carga y el diodo D_1 está polarizado inversamente, por lo que no conduce **ninguna corriente**. Como la corriente circula en el mismo sentido que en el caso del diodo D_1 , esta siempre es positiva en la resistencia.



Señal de salida rectificada en doble onda. El osciloscopio está conectado en el canal 1, con la base de tiempos en la escala de 10 ms por división y la escala de amplitud de 5 V por división.

Si medimos la señal, la **amplitud** es la misma que la de salida del transformador. El rectificador no la cambia, lo único que hace es invertir la parte negativa y convertirla en positiva. Tampoco existe variación en la **frecuencia** de la señal.

El **osciloscopio** está conectado en el canal 2, con la base de tiempos en la escala de 10 ms por división y la escala de amplitud de 5 V por división. Por tanto, la **señal** que proporciona el transformador, según vemos en la pantalla, será:

- **Amplitud:** $3,4 \text{ div} \cdot 5 \text{ V/div} = 17 \text{ V}$
- **Período:** $2 \text{ div} \cdot 10 \text{ ms/div} = 20 \text{ ms}$ (frecuencia = 50 Hz)

Recordemos que los 12 V del transformador son valores **eficaces** y por tanto los tendremos que convertir a valores máximos para ver si la señal del osciloscopio es correcta:

$$V_p = 12 \cdot \sqrt{2} \approx 17 \text{ V}$$

Fig. 8.9.

En este tipo de rectificadores, al igual que hemos podido ver que ocurre con la media onda, debemos considerar una serie de parámetros importantes a la de ponernos a trabajar con ellos. Los más destacables son los que vemos a continuación en la Tabla 8.2:

Parámetro	Fórmula	Observaciones
Valor medio de la tensión	$V_{med} = \frac{2 V_{máx}}{\pi}$	Es la media aritmética de todos los valores instantáneos de la señal comprendidos en un intervalo (en este caso la mitad del periodo). Si se tiene en cuenta la tensión de la polarización directa del diodo, tenemos: $V_{med} = \frac{2 (V_{máx} - 0,7)}{\pi}$
Valor eficaz de la tensión	$V_{ef} = \frac{V_{máx}}{\sqrt{2}}$	Podemos comprobar este valor de tensión con un polímetro.
Tensión máxima inversa del diodo	V_R	Se obtiene de la hoja de características del diodo. Debe ser igual, como mínimo, al doble de la tensión máxima que proporciona el transformador.
Valor medio de la intensidad	$I_{med} = \frac{V_{med}}{R}$	Se obtienen aplicando la ley de Ohm a los valores de tensión. Dependen de la resistencia de carga del rectificador.
Valor eficaz de la intensidad	$I_{ef} = \frac{V_{ef}}{R}$	

Tabla 8.2. Parámetros fundamentales en rectificadores de onda completa.

Caso práctico 4: Intensidad media en la resistencia de carga de un rectificador de onda completa

Utilizando el circuito rectificador del Caso práctico 3, queremos ahora medir la intensidad que circula por la resistencia de carga y calcular el valor medio de la tensión y de la intensidad por la misma, teniendo en cuenta la caída de tensión en los diodos.

Solución:

Vamos a utilizar la **simulación** por ordenador para comprobar la intensidad que está circulando por el resistor.

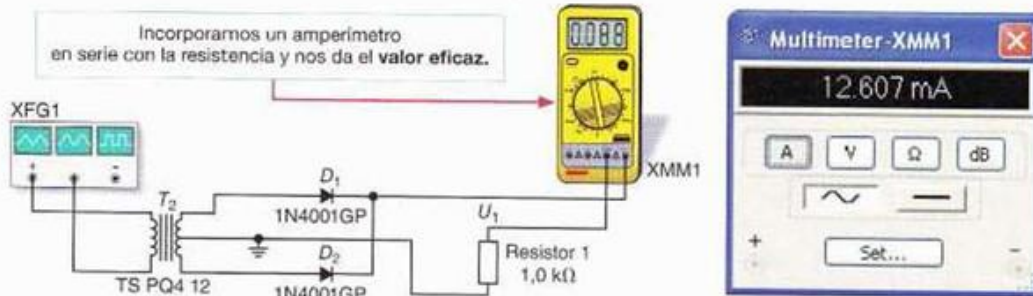


Fig. 8.10.

El **valor medio** de la tensión lo obtenemos a partir de la siguiente fórmula:

$$V_{med} = \frac{2(V_{máx} - 0,7)}{\pi} = \frac{2 \cdot (17 - 0,7)}{\pi} = 5,18 \text{ V}$$

Y aplicando la ley de Ohm obtendremos la **intensidad media** por la resistencia:

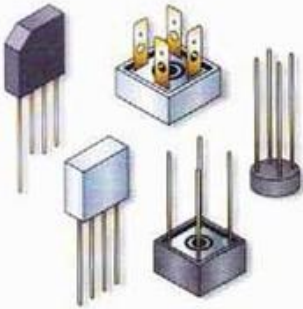
$$I_{med} = \frac{V_{med}}{R} = \frac{5,18}{1 \cdot 10^3} = 0,00518 \text{ A}$$

Actividades

- En un circuito rectificador de doble onda como el que acabamos de estudiar, se rompe el diodo D_2 y deja de funcionar. ¿Qué ocurre con la señal de salida? Comprueba de forma práctica cuál es la forma de onda que obtienes ahora en el rectificador.
- Elige los diodos adecuados, en un catálogo comercial, para un rectificador de doble onda que se va a conectar a un transformador con toma intermedia de 30 V de salida y una resistencia de carga de 500 Ω.

Importante

Los puentes de diodos integrados suelen ser como los que aparecen a continuación:



B. Rectificador de onda completa con puente de diodos

Este rectificador es uno de los más usados en las fuentes de alimentación, tanto si formado por **cuatro diodos** individuales como en su versión **integrada**. Estos últimos son más fáciles de manejar, puesto que disponen de cuatro patillas, dos para su conexión al transformador, y otras dos para la conexión hacia la carga.

La Figura 8.11 muestra cómo se puede montar un puente de diodos y la señal que se obtiene a su salida, así como el **esquema eléctrico** del puente. La forma de la onda es igual a la que se obtiene en el rectificador con transformador de toma intermedia.

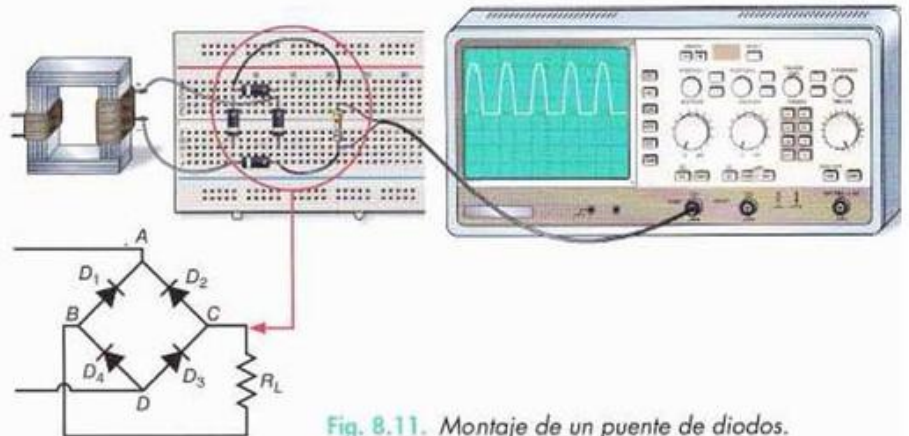


Fig. 8.11. Montaje de un puente de diodos.

Caso práctico 5: Rectificador de onda completa con puente integrado de diodos

Vamos a analizar el funcionamiento del rectificador de una fuente de alimentación de un ordenador. Sabemos que el **esquema eléctrico** es el siguiente (Fig. 8.12):

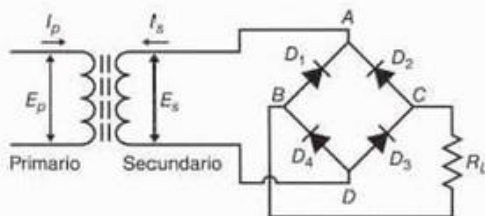


Fig. 8.12.

Necesitamos comprobar el valor de la **tensión** y la **corriente de pico**, así como calcular la **tensión** y la **intensidad media** en la resistencia de carga que se ha colocado a la salida. Para ello vamos a realizar un montaje sobre una placa BOARD y vamos a realizar las medidas y los cálculos oportunos.

Solución:

Los **elementos** que necesitaremos son:

- Transformador de 220 V/9 V.
- Puente rectificador.

- R: Resistor de 65 Ω , 1/4 W.
- Osciloscopio.
- Placa BOARD.

Los **pasos** que tenemos que seguir son los siguientes:

1. Montamos el puente de diodos sobre la placa BOA colocando adecuadamente las patillas, y montamos el resistor.
2. Conectamos la sonda del osciloscopio del canal 1 a los extremos de la resistencia.
3. (Opcional) Conectamos la sonda del canal 2 del osciloscopio a la salida del transformador: masa en el terminal de 0 V y punta activa en el terminal de 9 V, para observar la señal que nos da el transformador y la obtenemos a la salida del rectificador.
4. Conectamos el secundario del transformador (la p de 9 V) al circuito, en las patillas con los símbolos de corriente alterna del puente rectificador.
5. Encendemos el osciloscopio para visualizar la señal y conectamos el primario del transformador a la red eléctrica. Ajustamos el osciloscopio hasta ver la señal correctamente.

(Conti

Caso práctico 5: Rectificador de onda completa con puente integrado de diodos

[Continuación]

El **circuito** montado nos queda de la siguiente manera:

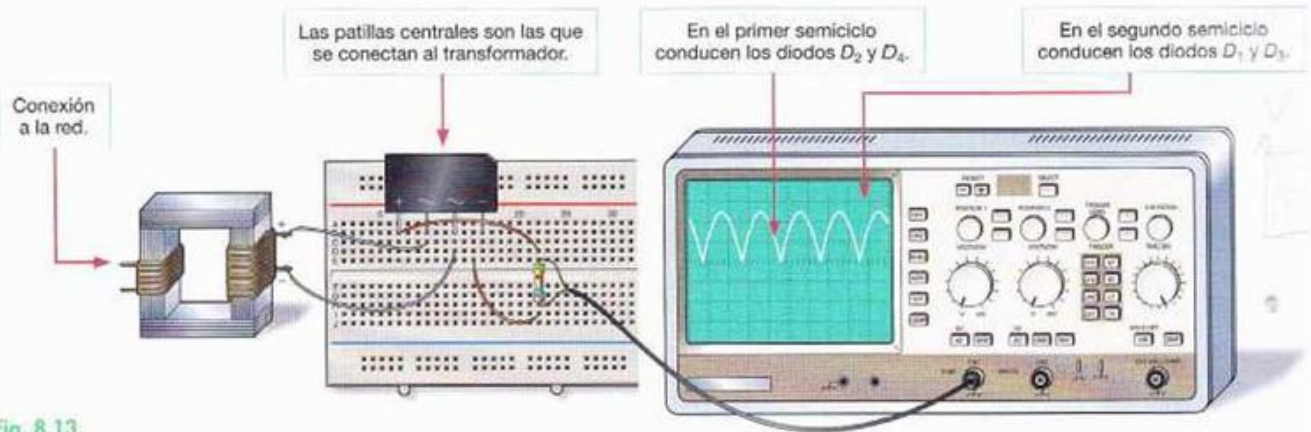


Fig. 8.13.

En el osciloscopio las **escalas** son las siguientes: para la amplitud, 5 V/div, y para la base de tiempos, 10 ms/div. Tomando la medida de la señal que vemos en la pantalla, tendremos un **valor de pico** de la señal de:

$$V_p = 2,54 \text{ div} \cdot 5 \text{ V/div} = 12,72 \text{ V}$$

y un **periodo** de:

$$T = 2 \text{ div} \cdot 10 \text{ ms/div} = 20 \text{ ms},$$

que se corresponde con una **frecuencia** de 50 Hz.

La **intensidad de pico** o máxima la podemos calcular a partir de este valor aplicando la ley de Ohm:

$$I_p = \frac{V_p}{R} = \frac{12,72}{65} = 0,19 \text{ A}$$

Vamos a calcular la **tensión media**, teniendo en cuenta el valor de la tensión de polarización de los diodos. Como en este caso son dos los que conducen a la vez, y cada uno de ellos necesita 0,7 V para estar polarizado en directo, la fórmula es la siguiente:

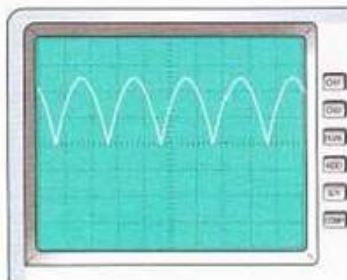
$$V_{med.} = \frac{2 (V_{m\acute{a}x.} - 1,4)}{\pi} = 7,2 \text{ V}$$

La **intensidad media** la calculamos aplicando nuevamente la ley de Ohm:

$$I_{med.} = \frac{V_{med.}}{R} = 0,11 \text{ A}$$

Actividad

4. A la salida de un circuito rectificador se ha conectado un osciloscopio y se ha obtenido la siguiente forma de onda en la pantalla (Fig. 8.14):



Amplitud: 10 V/div
Base de tiempos:
20 ms/div

Fig. 8.14.

Resuelve las siguientes cuestiones:

- ¿De qué tipo de rectificador se trata?
- ¿Qué tensión, en valor eficaz, está entregando el transformador a su salida?
- ¿Cuál es la frecuencia de la señal que está entrando en el transformador?
- Dibuja un posible esquema de un rectificador que cumpla estas características y elige componentes de un catálogo con los que pudieras realizar el montaje.

2. Circuitos de filtrado con componentes pasivos

@ Web

Los filtros tienen una importante aplicación en los equipos de audio. Entra en la siguiente dirección web: <http://www.pcpaudio.com> y pincha en *PCP-files*. Luego, en la barra superior, selecciona *DOC altavoces* y *Filtros pasivos* en el desplegable. Allí encontrarás más información sobre esta aplicación.

Los **filtros** son circuitos realizados con componentes pasivos para trabajar con frecuencia de la señal.

Podemos distinguir varios **tipos** de filtros:

- Filtros paso bajo.
- Filtros paso alto.
- Filtros paso banda.

2.1. Filtros paso bajo

Son los filtros que únicamente dejan pasar aquellas frecuencias que están por debajo de una determinada frecuencia.

Para realizar este tipo de filtrado podemos utilizar bobinas, condensadores, o a al mismo tiempo.

Los filtros paso bajo se suelen utilizar como complemento para un equipo de audio para acentuar más los sonidos de frecuencias bajas; y también en aparatos con diodos, televisores, etc.

🔧 Caso práctico 6: Fuente de alimentación con filtro paso bajo

A la salida del rectificador de una fuente de alimentación, colocamos un filtro paso bajo formado por un condensador en paralelo. El esquema del circuito es el siguiente (Fig. 8.15):

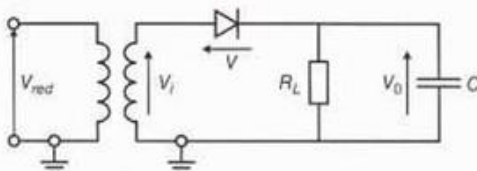


Fig. 8.15.

Donde R_L representa la entrada del aparato de radio, tal como hemos visto en los casos prácticos anteriores.

Analiza la señal que se obtiene a la salida, según la capacidad del condensador, para los valores $C = 27 \text{ nF}$ y $C = 100 \mu\text{F}$.

Solución:

La misión del **condensador** que se coloca en paralelo con la señal es la de **aplanar** la onda de salida del rectificador, es decir, obtener una señal continua lo más parecida posible a la que proporcionan las pilas o baterías.

Para el estudio de este circuito partimos del montaje que hemos hecho para el Caso práctico 1, al que añadiremos el condensador en paralelo con la resistencia de carga. De esta forma obtenemos la siguiente onda de salida para el condensador de 27 nF :

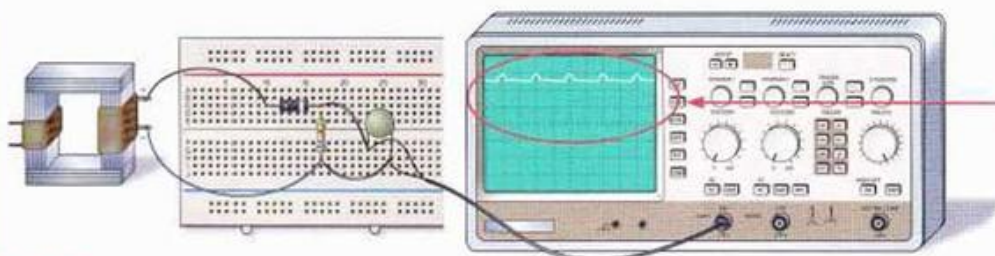


Fig. 8.16.

La onda de salida que obtenemos no es totalmente plana sino que tiene un pequeño **ritmo**. A pesar de todo, se puede utilizar como alimentación continua en muchos equipos.

(Conti

Caso práctico 6: Fuente de alimentación con filtro paso bajo

(Continuación)

Si cambiamos el condensador por el de $100\ \mu\text{F}$, la salida que obtenemos es la siguiente:

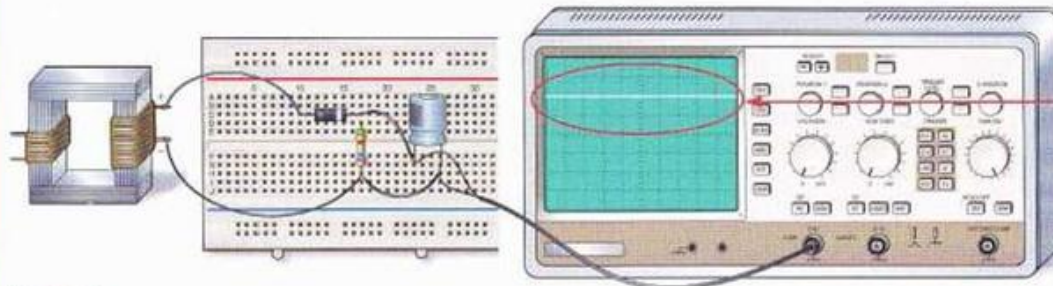


Fig. 8.17.

La onda de salida en este caso sí es totalmente **continua**. A medida que ponemos condensadores de mayor capacidad, la corriente continua es más perfecta (desaparece la tensión de rizado).

Los condensadores que se utilizan como filtros en las fuentes de alimentación tienen que ser de elevada capacidad, con el fin de eliminar la ondulación de la señal continua; por eso generalmente son electrolíticos.

Como hemos visto en el caso práctico anterior, se produce una **tensión de rizado** V_0 , debida a las cargas y descargas del condensador. Podemos establecer una relación entre la tensión de rizado y la capacidad del condensador a través de la siguiente fórmula:

$$I = V_0 / C$$

$$V_0 = \frac{I}{fC}$$

Donde: V_0 = tensión de rizado en voltios.

I = intensidad de la corriente continua en amperios. $\frac{1}{50\text{Hz}} = 20\text{ms}$

f = frecuencia del rizado en hercios.

C = capacidad del condensador en faradios.

Interesa que la tensión de rizado sea lo más pequeña posible. El **rizado** es un efecto no deseado cuando se está intentando conseguir una tensión continua en una fuente de alimentación. Cuanto más pequeño sea este rizado, más se asemeja la tensión que proporciona la fuente a la que nos daría una pila o una batería, en las que no existe este efecto.

Ten cuidado

Hay que vigilar especialmente **polaridad** de los condensador electrolíticos en el filtro de fuente a la hora de conectarlo en el circuito: el positivo debe hacia la salida del diodo y negativo a la patilla de abajo la resistencia.

Actividades

5. La fuente de alimentación de un reproductor de CD lleva un rectificador de media onda y un filtro paso bajo formado por un condensador en paralelo. El transformador de la fuente está conectado a una red eléctrica de 230 V/50 Hz.

Determina la tensión de rizado de la señal que obtenemos a la salida del filtro si conectamos un condensador electrolítico de $700\ \mu\text{F}$ y circula por la carga una intensidad de 100 mA.

6. Determina la tensión de rizado para un rectificador de onda completa de puente de diodos que se encuentra integrado en la fuente de alimentación de un disco duro reproductor multimedia. Ten en cuenta que la fuente está conectada a una red eléctrica de 230 V/50 Hz, que el filtro de la fuente consiste en un condensador electrolítico de $600\ \mu\text{F}$ y que, en estas condiciones, se ha medido con un amperímetro, en la salida de la fuente hacia la carga, una intensidad de 100 mA.

2.2. Filtros paso alto

Un **filtro paso alto** es un circuito, formado por resistencias y condensadores en serie, destinado a dejar pasar señales cuyas frecuencias sean mayores que un valor mínimo denominado **frecuencia de corte** del filtro.

Su funcionamiento se basa en la variación de la impedancia del condensador con frecuencia. Si la frecuencia de la señal es muy baja, el condensador no dejará pasar la corriente (se comporta como un circuito abierto), y si la frecuencia es muy alta comportará como un cortocircuito.



Caso práctico 7: Separación de señales en la etapa de filtrado de una caja acústica

El filtro de una caja acústica lleva incorporado un filtro paso alto para dejar pasar los sonidos agudos. Comprueba el funcionamiento del filtro cuando a su entrada se reciben señales de diferente frecuencia.

Solución:

Vamos a realizar un montaje sobre una placa BOARD para simular el comportamiento del filtro de la caja de altavoces y visualizar en el osciloscopio las diferentes señales que obtenemos en la salida.

El **esquema** para el montaje es el siguiente (Fig. 8.18):

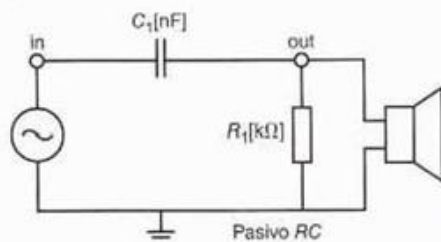


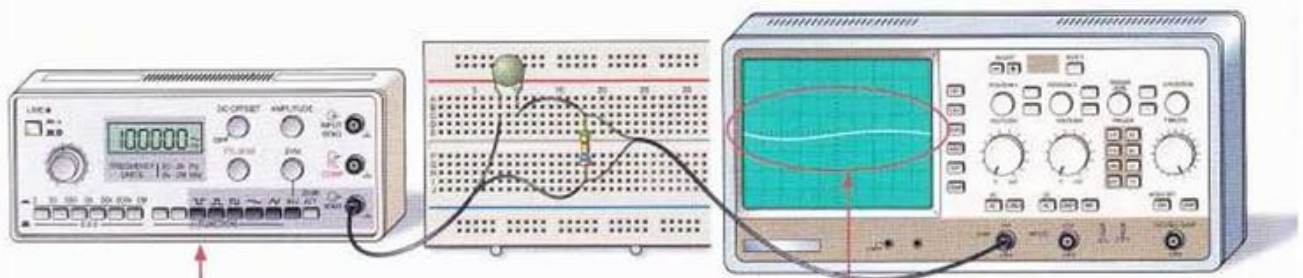
Fig. 8.18.

A la entrada del circuito colocaremos un generador de señales e iremos introduciendo ondas senoidales de diferentes frecuencias para ver qué ocurre en la resistencia de salida del filtro (R_1).

Los **elementos** que necesitamos para comprobar el funcionamiento de este circuito son:

- Generador de señales.
- C_1 : Condensador de 100 nF.
- R_1 : Resistor de 1 kΩ.
- Osciloscopio.
- Placa BOARD.

El **montaje** del circuito es el siguiente:



Ajustamos el generador de señales para que nos dé una onda senoidal de frecuencia de 10 Hz y amplitud 10 V_p. La frecuencia y la forma de onda es lo que se ve en la pantalla digital del generador de funciones.

A la salida del filtro, como la señal de frecuencia es muy baja, vemos que la amplitud es prácticamente cero (el osciloscopio está regulado para 10 V/div). El condensador se comporta como un circuito abierto.

Fig. 8.19.

[Contin

Caso práctico 7: Separación de señales en la etapa de filtrado de una caja acústica

(Continuación)

Si ahora introducimos una señal de 10 kHz:

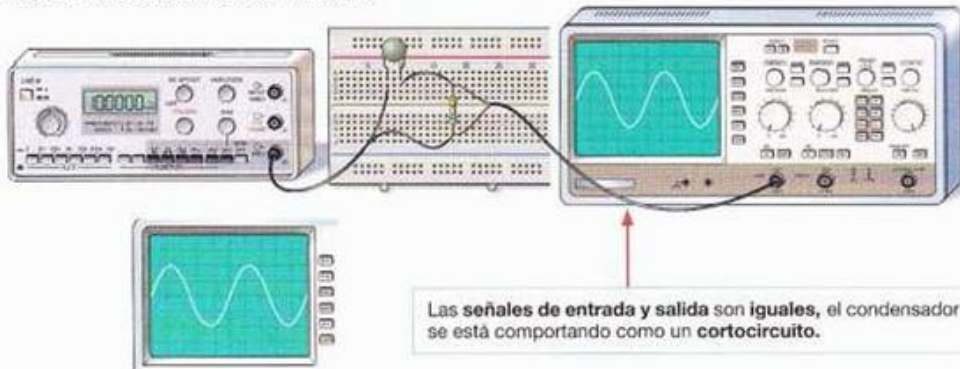


Fig. 8.20.

Los filtros se diseñan para que permitan el paso de las señales a partir de una determinada frecuencia.

El **parámetro fundamental** de estos filtros es la **frecuencia de corte**.

El producto de la resistencia por el condensador ($R \cdot C$) es la constante de tiempo (τ). La inversa de la constante de tiempo recibe el nombre de **frecuencia de corte** del filtro, y se calcula a través de la siguiente fórmula:

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC}$$

Donde f_c es la frecuencia de corte en hercios, R es la resistencia en ohmios y C es la capacidad en faradios.

En el ejemplo del caso práctico anterior sería:

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi \cdot 1000 \cdot 100 \cdot 10^{-9}} = 1591,54 \text{ Hz}$$

Una **posible aplicación** de este tipo de filtro sería hacer que las altas frecuencias de una señal de audio fuesen a un altavoz para sonidos agudos, mientras que un filtro paso bajo haría lo propio con los graves.

Otra posible utilización de un filtro paso alto es la de la eliminación de ruidos de baja frecuencia, ya que el filtro solo nos va a dejar pasar señales que estén por encima de su frecuencia de corte.

Vocabulario

Frecuencias de corte de un filtro. Son aquellas frecuencias que marcan el límite de las que pueden pasar a través del filtro. Puede ser una sola, si el filtro es de tipo paso bajo o paso alto, o dos, en el caso de que sea un filtro paso banda.

Importante

Cuando se trabaja con los filtros, existen unas gráficas que se denominan **respuesta en frecuencia** o **función de transferencia** del filtro. Son una representación de la amplitud de las señales que deja pasar el filtro en función de las frecuencias de las mismas. Nos da una idea del tipo de filtro que es.

Actividades

- Calcula la frecuencia de corte para un filtro RC con los siguientes valores:
 - Resistencia de 100Ω y condensador de 100 mF .
 - Resistencia de 200Ω y condensador de 200 mF .
 - Resistencia de $2 \text{ k}\Omega$ y condensador de $100 \mu\text{F}$.
- Realiza un esquema de un filtro paso alto en el que sea posible modificar la frecuencia de corte sin necesidad de cambiar los componentes del circuito: ¿qué componentes podríamos utilizar para tal fin?, ¿cuál crees que sería el más adecuado?

2.3. Filtros paso banda

Los **filtros paso banda** son circuitos formados por resistencias, bobinas y condensadores, diseñados para dejar pasar a su salida un determinado grupo de señales cuyas frecuencias se encuentren dentro de la banda de paso del filtro, eliminando o atenuando mucho el resto de frecuencias.

¿Sabías que...?

Un **ecualizador de audio** es un aparato que sirve para atenuar o resaltar ciertas frecuencias de una señal de sonido, de tal forma que podamos acomodar a nuestro gusto la música que queremos escuchar.

El aspecto de un ecualizador es como este:



El filtro deja pasar la **frecuencia de resonancia**, que sería la **frecuencia de corte** componentes de frecuencias próximas a la frecuencia de corte.

En este filtro existen dos frecuencias de corte, una inferior (f_1) y otra superior (f_2) filtro solo atenúa las señales cuya frecuencia sea menor que la frecuencia de corte inferior o aquellas de frecuencia superior a la frecuencia de corte superior, por lo que permiten el paso de un rango o banda de frecuencias sin atenuar.

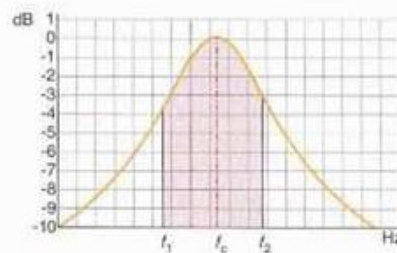


Fig. 8.21. Gráfica de un filtro paso banda real. La banda de paso es la comprendida entre f_1 y f_2 .

Como **aplicaciones** de este tipo de filtros podemos citar los ecualizadores de audio que actúan como selectores de las distintas bandas de frecuencia de la señal de sonido, la eliminación de ruidos que aparecen junto a una señal, siempre que la frecuencia de ruido sea fija o conocida, etc.

Caso práctico 8: Estudio de un filtro paso banda

En un ecualizador de audio tenemos un filtro paso banda que deja pasar señales de frecuencia de en torno a 5 kHz. Comprueba que el resto de las frecuencias son realmente rechazadas por el filtro.

Solución:

Vamos a realizar una **simulación** por ordenador del circuito del filtro y vamos a comprobar qué es lo que ocurre cuando a la entrada introducimos tres señales senoidales de 10 Hz, 5 kHz y 5 MHz, respectivamente. El **esquema** que vamos a utilizar es el siguiente (Fig. 8.22)

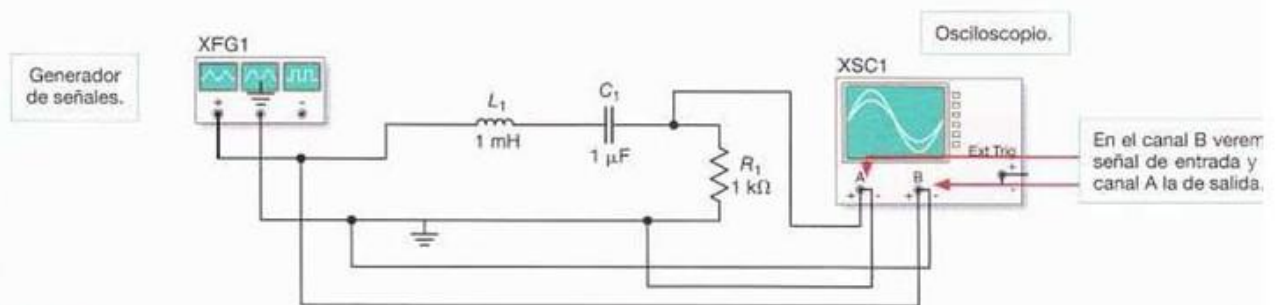


Fig. 8.22.

(Co

Caso práctico 8: Estudio de un filtro paso banda

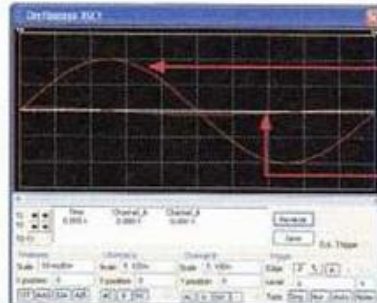
(Continuación)

Vamos a ver las **señales obtenidas** para cada uno de los tres casos:

Caso 1:



Fig. 8.23.



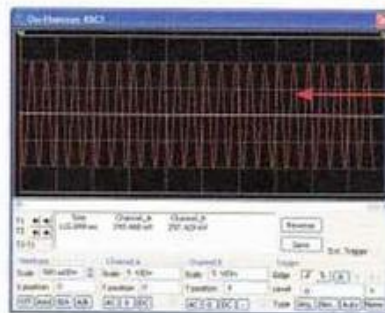
Señal de entrada: tal como está indicada en el generador de funciones (canal B).

Señal de salida: el filtro no deja pasar la señal de la entrada por lo que a la salida su amplitud es casi nula (canal A).

Caso 2:



Fig. 8.24.

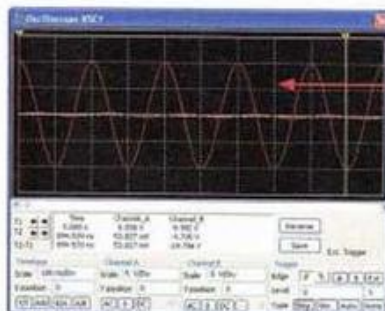


Cuando la frecuencia de la **señal de entrada** está muy próxima a la frecuencia de resonancia del filtro pasa sin ningún problema a la salida del mismo. En el osciloscopio se observan las señales de entrada y **salida** superpuestas, al ser las dos iguales.

Caso 3:



Fig. 8.25.



La frecuencia de la **señal de entrada** está muy lejos de la banda de paso del filtro, y por tanto no pasa a la **salida** (como se puede ver en la imagen mostrada por el canal A).

El parámetro fundamental del filtro paso banda es el **ancho de banda**. Se define como el **intervalo de frecuencias del filtro paso banda**, es decir, la diferencia entre la frecuencia de corte superior y la frecuencia de corte inferior. La **fórmula** para calcularlo es:

$$B = f_2 - f_1 \text{ (se mide en hercios)}$$

Otra posible utilización de un filtro paso alto es la de la eliminación de ruidos de baja frecuencia, ya que el filtro solo nos va a dejar pasar señales que estén por encima de su frecuencia de corte.

Actividades

9. La imagen de la figura muestra la placa de circuito impreso de un filtro paso banda integrado en un aparato de radio. Identifica los componentes que aparecen en el mismo.

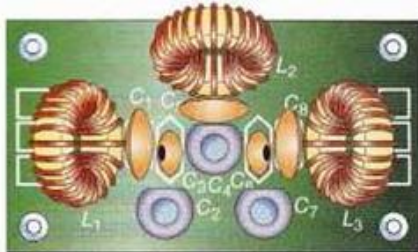


Fig. 8.26.

10. Los filtros paso banda también se pueden hacer uniendo un filtro paso bajo y un filtro paso alto, como el esquema mostrado a continuación.

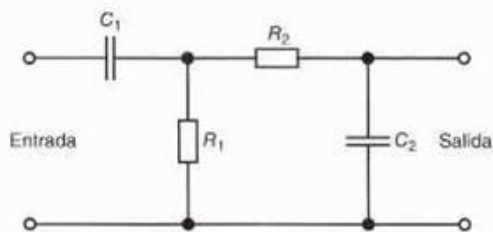


Fig. 8.27.

- a) Identifica cada uno de los dos filtros según los esquemas que hemos visto a lo largo de la Unidad.
- b) Si los valores de los componentes son $C_1 = 100 \mu\text{F}$, $R_1 = 2 \text{ k}$, $R_2 = 1 \text{ k}$ y $C_2 = 1 \mu\text{F}$, ¿cuál sería el intervalo de frecuencias que dejaría pasar el filtro? Explica cómo has llegado a ese resultado.
11. Queremos comprobar el funcionamiento de un rectificador como el que se muestra en la figura, ya que pensamos que hay alguna avería en el mismo. El esquema del circuito es el siguiente:

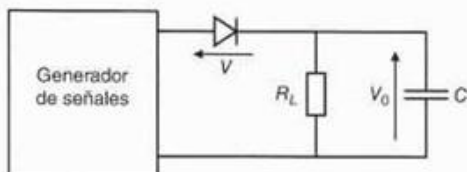


Fig. 8.28.

El generador de señales proporciona una onda senoidal de 100 kHz y 10 V_{pp} .

Los componentes que forman el circuito son una resistencia de 100Ω , un condensador de $10 \mu\text{F}$ y un diodo 1N4001 (mira la hoja de características para este diodo).

El proceso que debemos seguir para comprobar la avería es el siguiente:

1. Observa los síntomas del mal funcionamiento del equipo.
2. Estudia las causas que lo producen.
3. Mediante pruebas y medidas con el polímetro y el osciloscopio, realiza medidas hasta encontrar la avería.
4. Repara y sustituye los componentes necesarios.

Realiza el montaje del circuito en un simulador y en continuación contesta a las siguientes preguntas:

- a) ¿Qué sucede con el circuito?
- b) ¿Rectifica la señal de entrada? Si no es así, sustituye los componentes mirando las hojas de características e intenta buscar el más adecuado para que ante la señal de entrada que proponemos funcione correctamente.
- c) ¿Cuál crees que es el motivo por el que no funciona el circuito anterior (en caso de que así sea)? Comprueba, conectando un polímetro en los extremos del condensador, el valor de la tensión que mides.
- d) ¿Qué tipo de medida (valor máximo, eficaz, etc.) estarías realizando?
- e) ¿Se parece a la señal que mides en el osciloscopio?
- f) ¿Qué relación existe entre ambas?

12. Queremos montar un circuito rectificador de media onda que elimine la parte negativa de la señal, y comprobar su funcionamiento. La señal que vamos a introducir a la entrada es de 10 V_{pp} y la frecuencia de 1 kHz .

- a) Dibuja el esquema correspondiente en función de lo visto en la teoría.
- b) Elige un diodo adecuado partiendo de su hoja de características para colocarlo en el circuito.
- c) Realiza el montaje en un simulador y comprueba su funcionamiento. Para ello, conecta a la entrada un generador de señales y a la salida un osciloscopio para visualizar la onda.
- d) ¿Funciona el circuito correctamente si ponemos a la señal de entrada una frecuencia de 2 MHz ?

Práctica final: Comprobación de la señal de salida de un rectificador con filtro paso bajo



1. Objetivo

Visualizar las diferentes formas de onda que obtenemos a la salida de un filtro paso bajo de entradas con diferentes tipos de onda y distintas frecuencias.

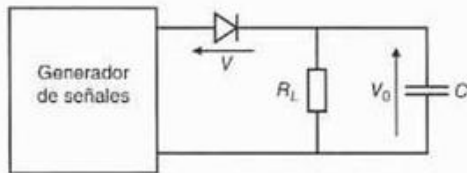


Fig. 8.29.

2. Materiales

- Generador de señal.
- Placa BOARD para el montaje del circuito.
- Resistencias de $1\text{ k}\Omega$ y $6\text{ k}\Omega$.
- Un condensador de 10 pF .
- Un condensador de 47 nF .
- Un condensador electrolítico de $470\text{ }\mu\text{F}$.
- Osciloscopio.
- Cables.
- Diodo 1N4001.

3. Técnica

- Ajusta en el generador una señal para que nos dé una onda senoidal de amplitud 10 V_{pp} y una frecuencia de 500 Hz y:
 - Realiza el montaje con un condensador de 10 pF y un resistor de $1\text{ k}\Omega$ (Figs. 8.30 y 8.31).
 - Conecta el generador de señales a la entrada del circuito.
 - Conecta el osciloscopio y observa la señal de salida (Fig. 8.32).
 - Dibuja la señal en un cuaderno.

- Realiza la operación cambiando el condensador por el de 47 nF y el resistor de $1\text{ k}\Omega$.
- Dibuja la señal obtenida y compárala con la anterior.
- Realiza la misma operación cambiando el condensador por el de 47 nF y el resistor de $1\text{ k}\Omega$.
- Repite la operación cambiando el condensador por el de $470\text{ }\mu\text{F}$ y el resistor de $1\text{ k}\Omega$.
- Dibuja la señal obtenida con este nuevo condensador.
- Cambia el resistor por el de $6\text{ k}\Omega$ y comprueba si se producen variaciones en la señal de salida.

b) Ajusta el generador de señal para que nos dé una frecuencia de 5 kHz y con 10 V_{pp} . Sigue los mismos pasos que en el caso a).

c) Ajusta el generador para que nos dé una onda triangular con la misma frecuencia y amplitud que en el caso anterior y realiza la misma operación.

d) Ajusta el generador para que nos dé una onda senoidal con una frecuencia de 100 kHz y una amplitud de 15 V_{pp} .

Realiza las mismas acciones que en el caso c) e indica qué ocurre en la señal de salida.

4. Cuestiones

- Explica cuál es el mejor filtro que hemos montado, justificando la respuesta.
- ¿Por qué el circuito deja de funcionar cuando aumentamos la frecuencia?
- ¿A partir de qué valor de frecuencia deja de funcionar?
- Consultando un catálogo, elige un diodo que responda a las altas frecuencias para poder montar el mismo rectificador.



Fig. 8.30.

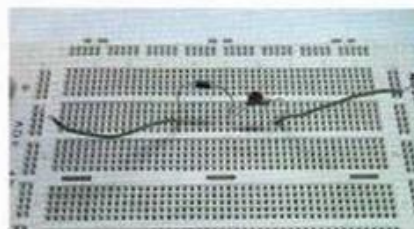


Fig. 8.31.



Fig. 8.32.



Test de repaso

1. ¿Cuántos diodos hay en un rectificador de media onda?
 - a) Uno.
 - b) Dos.
 - c) Tres.
 - d) Cuatro.
2. ¿Cuántos diodos hay en un rectificador de onda completa en puente de diodos?
 - a) Uno.
 - b) Dos.
 - c) Tres.
 - d) Cuatro.
3. Un puente de diodos es un rectificador:
 - a) De doble onda.
 - b) De media onda.
 - c) De onda completa.
 - d) No existe este tipo de rectificador.
4. Un filtro paso bajo no deja pasar:
 - a) Las frecuencias superiores a la frecuencia de corte.
 - b) Las frecuencias inferiores a la frecuencia de corte.
 - c) Las frecuencias superiores e inferiores a la frecuencia de corte.
 - d) Deja pasar todas las frecuencias.
5. Un filtro paso alto no deja pasar:
 - a) Las frecuencias superiores a la frecuencia de corte.
 - b) Las frecuencias inferiores a la frecuencia de corte.
 - c) Las frecuencias superiores e inferiores a la frecuencia de corte.
 - d) Deja pasar todas las frecuencias.
6. Se llama ancho de banda en un filtro paso banda a:
 - a) La diferencia entre las frecuencias de corte inferior y superior.
 - b) La diferencia entre las frecuencias de corte superior e inferior.
 - c) La suma de las frecuencias de corte superior e inferior.
 - d) Ninguna es correcta.
7. Una aplicación de rectificadores con filtro puede ser en:
 - a) Una lavadora.
 - b) Un microondas.
 - c) En fuentes de alimentación.
 - d) Ninguna es correcta.
8. Una aplicación que tienen los filtros paso banda es:
 - a) Un ecualizador de sonido.
 - b) Una calculadora.
 - c) Un microondas.
 - d) Una lavadora.
9. Si ponemos a la salida de un rectificador de onda completa un condensador en paralelo, la señal de la salida está:
 - a) Más rectificada.
 - b) Menos rectificada.
 - c) Igual de rectificada.
 - d) Ninguna es correcta.
10. Un transformador tiene:
 - a) Dos bobinados: primario y secundario.
 - b) Tres bobinados: primario, secundario y terciario.
 - c) Un bobinado primario.
 - d) Un bobinado secundario.
11. Se denomina frecuencia de corte en un filtro paso banda:
 - a) A la frecuencia central del filtro.
 - b) A las frecuencias de los extremos del filtro.
 - c) A todas las frecuencias que deja pasar el filtro.
 - d) Ninguna es correcta.

Respuestas: 1a, 2d, 3c, 4a, 5b, 6b, 7c, 8a, 9a, 10a, 11a.

Comprueba tu aprendizaje



Identificar los parámetros y características fundamentales de los circuitos rectificadores y de los filtros analógicos

Verificar el funcionamiento y las medidas fundamentales de los circuitos de rectificación y filtrado

1. Explica el funcionamiento de un rectificador de media onda y el de un rectificador de puente de diodo, así como las diferencias existentes entre ellos.
2. Identifica en los siguientes circuitos qué tipo de rectificador son y los componentes utilizados.

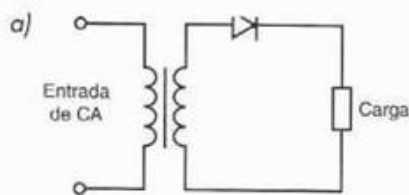


Fig. 8.33.

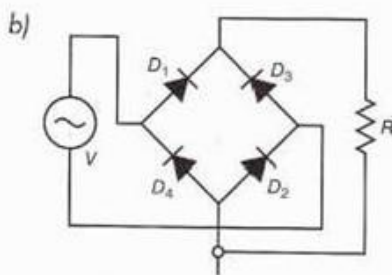


Fig. 8.34.

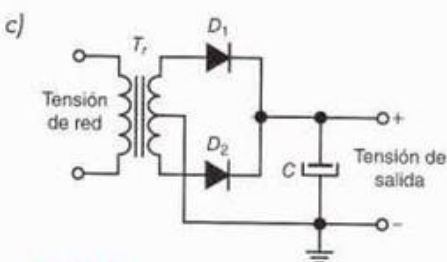


Fig. 8.35.

3. ¿Cuál será la tensión de corriente continua a la salida de un rectificador de media onda si a su entrada se aplica una corriente alterna de 230 V de valor eficaz?

4. Identifica en los siguientes circuitos qué tipo de filtro son y los componentes utilizados.

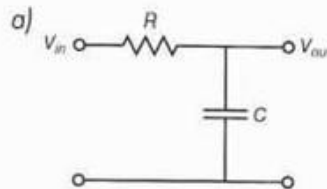


Fig. 8.36.

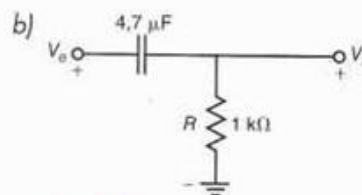


Fig. 8.37.

5. El componente de la figura es un rectificador integrado. Corresponde al modelo 005S:

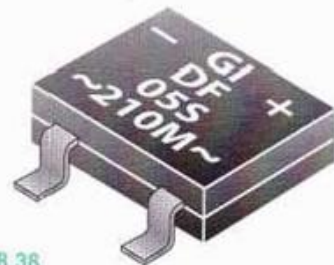


Fig. 8.38.

Se quiere utilizar para realizar la rectificación en una fuente de alimentación, que tiene que proporcionar a la resistencia de carga una corriente de 2 A. La salida del transformador de la fuente proporciona una tensión de 48 V.

Consulta la hoja de características y contesta a las siguientes preguntas:

- a) ¿Es adecuado este modelo para el circuito propuesto? Justifica la respuesta.
- b) En caso de que no se pueda utilizar, elige otro componente acorde con las especificaciones del circuito.

Comprueba tu aprendizaje

6. En el circuito de la siguiente figura, el transformador T_1 está conectado a la red eléctrica y proporciona una tensión de salida de 24 V.

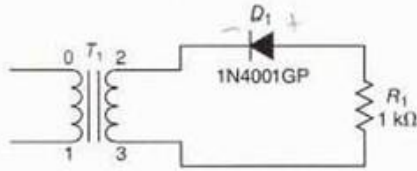


Fig. 8.39.

Dibuja sobre la pantalla del osciloscopio cómo es la forma de onda de la señal que podemos medir en el resistor R_1 . Explica cómo deben estar configurados los mandos del osciloscopio para que la medida se pueda realizar de forma correcta.

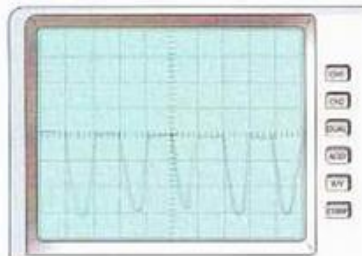


Fig. 8.40.

7. Dibuja sobre la pantalla del osciloscopio la señal de salida que se obtiene en el resistor del circuito de la figura:

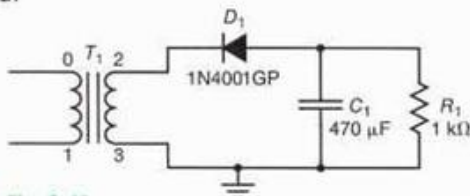


Fig. 8.41.

Explica cómo configurar los mandos del osciloscopio para realizar la medida de forma correcta.

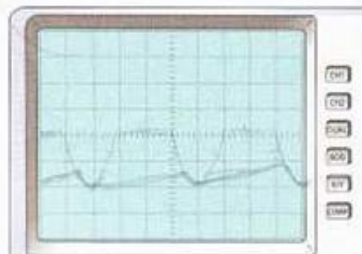


Fig. 8.42.

Montar o simular circuitos analógicos básicos: rectificadores y filtros

8. Monta o simula el circuito *b* del ejercicio 4 de la página anterior y observa la forma de onda que obtenemos a la salida. Calcula la frecuencia de corte.
9. Simula el circuito del apartado *b* del ejercicio 2, poniendo a la entrada del puente de diodos una tensión de 10 V_p. Coloca un condensador en paralelo con el resistor de 1 kΩ y comprueba cómo es la señal de salida. Haz lo mismo con un condensador de 470 μF. Explica las diferencias que observas en las señales que se ven en el resistor al colocar un osciloscopio.

Aplicar este tipo de circuitos a situaciones reales

10. Un **tweeter** es un transductor diseñado para reproducir frecuencias altas que oscilan entre 2 000 Hz hasta 20 000 Hz o más. ¿Qué filtro utilizaremos para limitar la señal que le llega?



Fig. 8.43.

11. Un **woofer** es un transductor encargado de emitir bajas frecuencias en un altavoz o caja acústica. ¿Qué tipo de filtro utilizaremos para limitar la señal que llega?



Fig. 8.44.

12. Un **squawker** o **midrange** es el transductor de un altavoz encargado de reproducir frecuencias medias entre 300 y 5 000 Hz. ¿Qué filtro utilizaremos para que solo deje pasar las frecuencias medias al altavoz?



Fig. 8.45.

¿Sabías que...?

Muchos de los equipos electrónicos que manejamos habitualmente llevan incorporados **circuitos amplificadores**.

Algunos de estos equipos tienen como misión únicamente amplificar las señales de su entrada, como es el caso de los amplificadores de las cadenas de sonido. En este caso, internamente suelen estar formados por diferentes etapas (circuitos) como los que estamos estudiando en esta unidad; en el interior llevarán varias etapas.

Unidades de medida

El **decibelio (dB)** es la unidad más utilizada en telecomunicaciones, pues permite realizar cálculos con potencias pequeñas de manera sencilla. Al ser una unidad logarítmica, los productos se convierten en sumas y las divisiones en restas.

Cabe destacar que la cifra en decibelios no indica nunca el valor absoluto de las dos potencias comparadas, sino la **relación** entre ellas. Esto permite, por ejemplo, expresar en dB la ganancia de un amplificador o la pérdida de un atenuador sin necesidad de referirse a la potencia de entrada que, en cada momento, se les esté aplicando.

1. Concepto de amplificador

Un **amplificador** es un circuito que permite obtener a la salida una señal igual que la de la entrada, pero multiplicada por un valor, denominado **ganancia**. Es decir, la señal de salida tiene la misma forma que la señal de entrada pero con mayor amplitud.

Se emplea con mucha frecuencia en telecomunicaciones, ya que los niveles de las señales que se manejan suelen ser muy pequeños. Pero además, tiene aplicaciones en campos como la telefonía móvil, la transmisión de imágenes de televisión, la reproducción de audio, la transmisión de señales por radiofrecuencias, etc.

1.1. Representación como bloque de un amplificador

Cuando en el diagrama de bloques de un equipo electrónico aparece un amplificador normalmente encontraremos un símbolo como el de la Figura 9.1:

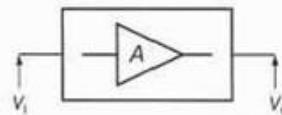


Fig. 9.1. Representación en un diagrama de bloques de un amplificador.

En el símbolo, la «A» representa la **ganancia** del amplificador, aunque algunas veces también vendrá marcada con la letra «G».

1.2. Concepto de ganancia

La **ganancia** es el parámetro fundamental de cualquier amplificador. Representa el número de veces que la señal de salida es mayor respecto a la señal de entrada.

Se calcula como el **cociente** entre las dos señales de salida y entrada:

$$G = \frac{V_o \rightarrow \text{Salida}}{V_i \rightarrow \text{Entrada}}$$

Es un número sin dimensiones, puesto que las dos magnitudes que estamos comparando son del mismo tipo (tensión, intensidad o potencia). Por otro lado, la ganancia se suele expresar en **decibelios (dB)**, unidad de medida de tipo logarítmico. El cálculo dependerá de las magnitudes que estemos comparando. Así:

- Para **potencias** (ganancia de potencia) será:

$$G_p \text{ (dB)} = 10 \log \frac{P_o}{P_i} \text{ (dB)}$$

- Para **tensiones e intensidades**: aplicamos la ley de Ohm; $P = V \cdot I = V \frac{V}{R} = \frac{V^2}{R}$ (válido para calcular tanto la potencia de entrada como la de salida. Sustituyendo el valor de las potencias en la fórmula anterior (ganancia de tensión y ganancia de intensidad), obtenemos:

$$G_V \text{ (dB)} = 20 \log \frac{V_o}{V_i} \text{ (dB)} \quad G_I \text{ (dB)} = 20 \log \frac{I_o}{I_i} \text{ (dB)}$$

1.3. Parámetros importantes en un amplificador

Además de la ganancia, que acabamos de tratar en el apartado anterior, en un circuito amplificador hay otros parámetros que deberemos considerar a la hora de trabajar con él. Para ello, observamos la Figura 9.2 y partimos de un bloque amplificador para ir definiendo cada uno de estos parámetros:

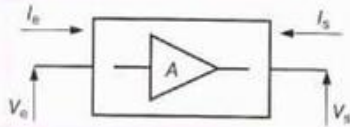


Fig. 9.2. Tensiones y corrientes a la entrada y la salida del amplificador.

Los parámetros más destacables son:

- **Impedancia de entrada:** es el cociente entre la tensión de entrada (V_e) y la intensidad de entrada (I_e). Se puede calcular como: $Z_e = \frac{V_e}{I_e}$
- **Impedancia de salida:** es el cociente entre la tensión de salida (V_s) y la intensidad de salida (I_s). Se puede calcular como: $Z_s = \frac{V_s}{I_s}$

Estos dos parámetros son importantes a la hora de colocar varios circuitos amplificadores en cascada. Normalmente interesará que se transfiera entre ellos la máxima cantidad de potencia posible, para lo que se tiene que cumplir que la impedancia de salida del primero sea igual que la impedancia de entrada del segundo, y así sucesivamente. Es lo que se conoce como **adaptación de impedancias**.

- **Distorsión:** es un proceso producido por el propio circuito amplificador, y se manifiesta porque la señal obtenida a la salida no es exactamente igual a la de entrada. Hay diferentes tipos de distorsión (en amplitud, frecuencia, etc.) y es un efecto no deseado. No obstante, se puede minimizar realizando un diseño adecuado del circuito.

Caso práctico 1: Cálculo de la ganancia de un amplificador

En la Figura 9.3 tenemos las señales de entrada y salida del circuito amplificador de un equipo de sonido, visualizadas en el osciloscopio. Vamos a calcular el valor de la ganancia de tensión del amplificador y mostrar el resultado en decibelios.

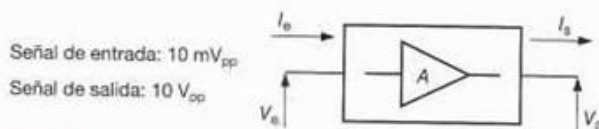


Fig. 9.3.

Solución:

Tal como hemos visto, la ganancia se calcula como el cociente entre la tensión de entrada y la de salida. Si aplicamos la fórmula, tenemos:

$$G = \frac{V_s}{V_e} = \frac{10}{10 \cdot 10^{-3}} = 1000$$

Expresándolo en decibelios (dB), tenemos:

$$G_V \text{ (dB)} = 20 \log 1000 = 60 \text{ dB}$$

Actividades

1. Calcula la ganancia de un amplificador en el que sabemos que al introducir a la entrada una señal de 20 mV, a la salida se obtiene una señal de 1 V.
2. ¿Cuál es el valor de la ganancia obtenida en la actividad 1 expresada en decibelios?

2. Amplificadores con transistores

! Importante

Las **curvas de salida** de un transistor muestran de forma gráfica cómo varía la tensión entre el colector y el emisor, en función de la intensidad del colector para diferentes valores de corriente de base.

Los **circuitos de amplificación** están basados en el uso de semiconductores. Uno de los componentes que se utiliza para la realización de estos circuitos es el **transistor**.

Para poder entender cómo amplifica una señal un transistor, vamos a estudiar primero las zonas o regiones de funcionamiento que puede tener, y cómo debe estar configurado el circuito para que trabaje en cada una de ellas.

2.1. Regiones de funcionamiento de un transistor

Tal como estudiamos en la Unidad 8, el transistor está formado por dos uniones, PN que deben ser polarizadas para que funcione correctamente. El tipo de polarización (directa o inversa) de cada una de las uniones determina la región donde está funcionando el transistor.

Para analizar el funcionamiento de un transistor nos basamos en las curvas características de salida y, en función de dónde situemos el punto de trabajo y de cómo polarizamos el transistor, tendremos diferentes zonas de funcionamiento.

Así, para un transistor **NPN**, las distintas posibilidades para polarizar las uniones son las siguientes (Tabla 9.1):

Unión B-E	Unión C-B	Valor de I_c	Valor de I_B	V_{BE}	V_{CE}	Región de funcionamiento
Inverso	Inverso	$I_c = 0$	$I_B = 0$	$< 0,7 \text{ V}$	V_{CC}	Corte
Directo	Directo	$I_{c\text{sat}} (< I_B) (< \beta I_B)$	> 0	$= 0,7 \text{ V}$	$V_{CESAT} (= 0,2 \text{ V})$	Saturación
Directo	Inverso	βI_B	> 0	$= 0,7 \text{ V}$	$> 0,2 \text{ V y } < V_{CC}$	Activa

Tabla 9.1. Zonas de funcionamiento del transistor en función de la polarización de las uniones.

Estos valores los podemos reflejar sobre la gráfica de las curvas de salida del transistor de la siguiente manera (Fig. 9.4):

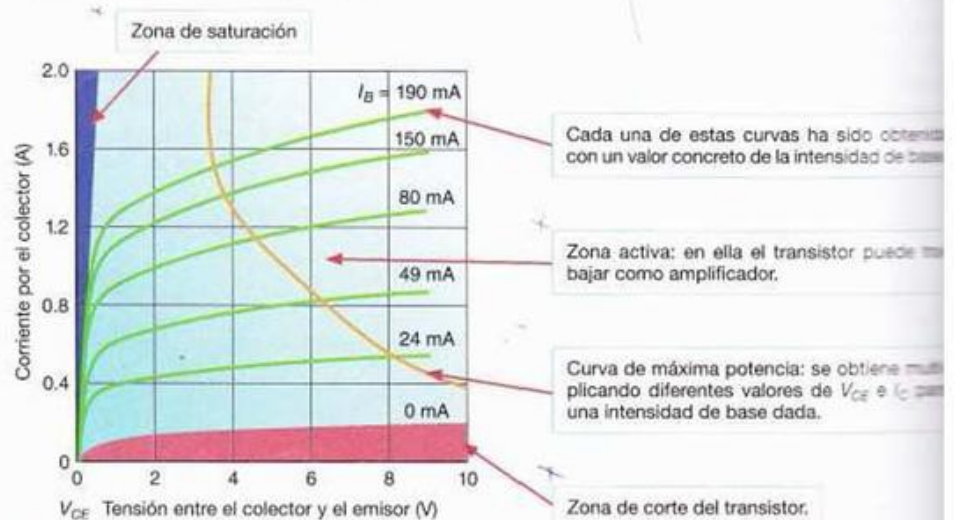


Fig. 9.4. Curvas del transistor.

2.2. Polarización del transistor en zona activa

Como hemos comentado en el apartado anterior, debemos polarizar el transistor mediante un circuito externo, de tal forma que se encuentre funcionando en una de las regiones comentadas. Como nos interesa que el transistor pueda funcionar como amplificador, vamos a ver de qué manera podemos conseguir que trabaje en la zona activa, y por debajo de la curva de máxima potencia.

Para que el transistor funcione correctamente debemos calcular su **punto de trabajo**. Este viene determinado por la corriente que circula por la base del transistor (lo que definirá una de las curvas de las gráficas), y por los valores que se obtienen del circuito externo.

Existen diferentes **configuraciones** a la hora de realizar circuitos amplificadores con transistores, así como diversos circuitos de polarización mediante los cuales podemos fijar el punto de trabajo de un transistor. No obstante, para comprender cómo se trabaja con este tipo de circuitos vamos a ver un amplificador en emisor común, con un circuito de polarización que no depende de la β (ganancia en continua) del transistor.

El esquema es el siguiente (Fig. 9.5):

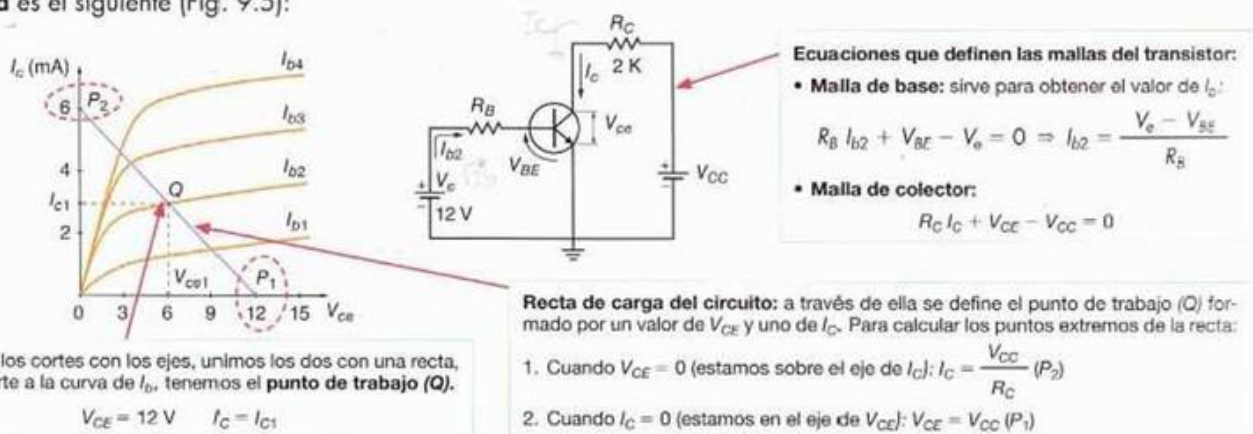


Fig. 9.5. Explicación de la obtención del punto de trabajo en un transistor.

A partir de aquí, el transistor trabaja como un amplificador, es decir, a la salida nos dará una señal como la de la entrada pero multiplicada por la ganancia del amplificador.

En multitud de ocasiones, no será suficiente con un único circuito como el de la figura, sino que será necesario unir **varios en cascada** para que finalmente la señal de salida tenga un nivel suficiente.

Caso práctico 2: Estudio de un amplificador en emisor común

El receptor de un radioenlace de telefonía tiene en su etapa de entrada un amplificador como el que se muestra en la Figura 9.6. Analicemos su funcionamiento y comprobemos su ganancia.

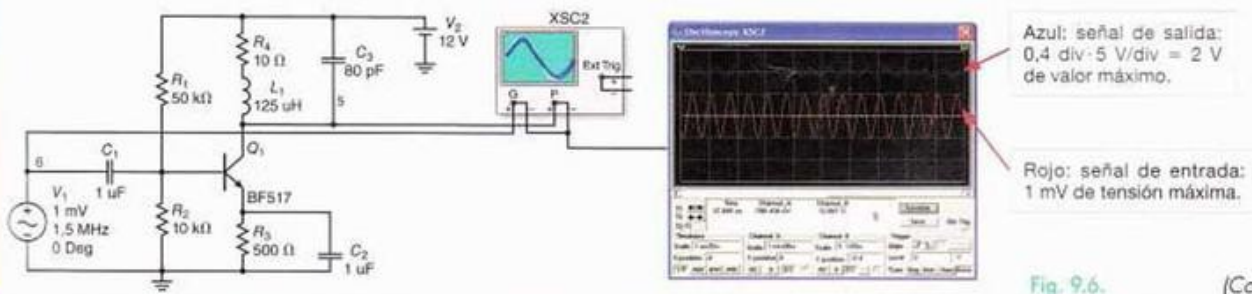


Fig. 9.6.

[Continúa]



Caso práctico 2: Estudio de un amplificador en emisor común

(Continuación)

Solución: *examen*

Para comprobar el funcionamiento del amplificador, vamos a introducir una señal a su entrada de 1,5 MHz de frecuencia y una amplitud de 1 mV. Si visualizamos las dos señales en el osciloscopio, la entrada y la salida, obtenemos la imagen que se muestra en la Figura 9.6.

Según los valores obtenidos en el osciloscopio, la **ganancia** del amplificador será:

$$G = \frac{V_s}{V_e} = \frac{2}{1 \cdot 10^{-3}} = 2000$$

Y expresada en decibelios:

$$G_v(\text{dB}) = 20 \log 2000 = 66 \text{ dB}$$

En cuanto a los **componentes** que forman el amplificador, L_1 bloquea el posible paso de las altas frecuencias hacia la fuente de alimentación. El condensador C_1 bloquea el paso de posibles corrientes continuas hacia la base del transistor, y C_2 y C_3 están actuando como filtros.

El cálculo del **punto de trabajo** del transistor se puede hacer de la siguiente manera:

Circuito de polarización en continua:

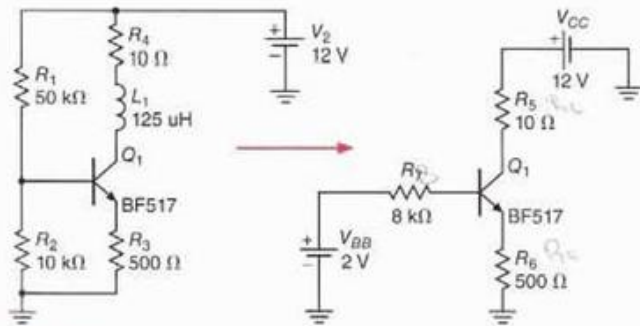


Fig. 9.7.

$V_{CE} = 12 - 10 \cdot 2,22 \text{ mA} = 9,78 \text{ V}$

Para la tensión de colector (tensión del punto de trabajo):

$$R_C I_C + R_E I_C + V_{CE} - V_{CC} = 0,$$

despejando $V_{CE} = 10,88 \text{ V}$.

En el circuito equivalente:

R_T es el paralelo de R_1 y R_2 :

$$R_T = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} =$$

$$= \frac{50 \cdot 10}{50 + 10} = 8,33 \text{ k}\Omega$$

El valor de la pila de la base es:

$$V_{BB} = \frac{V_{CC}}{R_1 + R_2} \cdot R_2 =$$

$$= \frac{12}{50 + 10} \cdot 10 = 2 \text{ V}$$

La corriente de base será:

$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B + R_E (\beta + 1)} =$$

$$= \frac{2 - 0,7}{8 + 0,5 \cdot 101} = 22,2 \mu\text{A}$$

La intensidad de colector, al estar en zona activa, es el producto de la I_B por la β del transistor. Si suponemos que $\beta = 100$, $I_C = 0,22 \mu\text{A}$. Esta es la intensidad del punto de trabajo.



Actividades

3. Calcula el punto de trabajo del circuito de la Figura 9.8.
4. Simula el circuito de la Figura 9.8 en el ordenador, y comprueba la ganancia ante una señal de entrada de 2 mV de amplitud y 1 kHz de frecuencia.

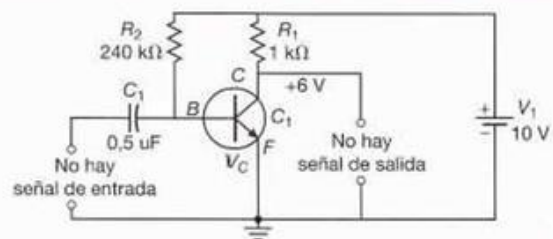


Fig. 9.8.

3. Amplificadores operacionales

Un **amplificador operacional** es un componente electrónico activo que tiene dos terminales de entrada y uno de salida. Es un componente imprescindible en muchos circuitos electrónicos analógicos. Básicamente, es un amplificador lineal de alto rendimiento, con una ganancia muy elevada.

El **símbolo** con el que aparece en los **esquemas** es el siguiente:



Fig. 9.9. Símbolo del amplificador operacional.

Entre las **aplicaciones** habituales de este tipo de amplificadores encontramos:

- Realización de operaciones matemáticas, tales como sumas, restas...
- Implementación de filtros activos.
- Realización de circuitos rectificadores de alta precisión.
- Convertidores I-V.
- Realización de conversores analógico-digitales.

3.1. Parámetros fundamentales de un amplificador operacional. Modos de funcionamiento

A la hora de trabajar con un amplificador operacional en un circuito debemos conocer los principales parámetros de este componente. Así, la entrada del A_o , marcada con el signo $-$, se conoce como **entrada inversora**, y la marcada con el signo $+$, como **entrada no inversora**. Además, los principales **parámetros** que hay que tener en cuenta son:

- Resistencia de entrada ∞ .
- Resistencia de salida nula.
- Ganancia en tensión en modo diferencial ∞ .
- Ausencia de posibles desviaciones de las características con la temperatura.
- Ganancia de tensión en modo común nula.
- Corrientes de entrada nulas.
- Ancho de banda ∞ .

Estos valores se dan considerando el amplificador operacional como ideal. En la práctica, debemos comprobar los valores que facilita el fabricante para estos parámetros a través de la **hoja de características del componente**.

En el **funcionamiento** del amplificador podemos distinguir dos modos:

- **Modo diferencial:** la tensión en la entrada se calcula como la resta de las tensiones V_p y V_n : $V_d = V_p - V_n$.
- **Modo común:** la tensión de salida se puede calcular como $V_C = \frac{V_p + V_n}{2}$.

La tensión de salida se expresa como: $V_o = A_d \cdot V_n + A_C \cdot V_p$, donde A_d es la ganancia en modo diferencial y A_C la ganancia en modo común.

¿Sabías que...?

El **amplificador operacional** fue desarrollado alrededor de 1940, con el fin de poder ser incorporado a las calculadoras analógicas para la realización de sumas, restas, multiplicaciones, integración, diferenciación, etc. Estas operaciones eran básicas para la computación analógica de la época.

La base de este circuito es un amplificador diferencial realizado con componentes tales como transistores, resistores, etc., que gracias a las técnicas de integración pudo fabricarse encapsulado en un circuito integrado tal y como lo conocemos en la actualidad.

Importante

Por la configuración del amplificador operacional, a efectos de cálculos en los circuitos, se puede considerar que las **patillas inversora y no inversora** están conectadas entre sí internamente, de tal forma que si la patilla no inversora está conectada a tierra, podemos considerar que en la patilla inversora también está conectada la toma de tierra (es lo que se denomina tierra virtual).

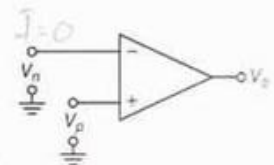


Fig. 9.10. Entradas en un amplificador operacional.

Importante

La mayoría de los amplificadores operacionales se alimentan de forma simétrica entre $\pm V_{cc}$. Esto permite aumentar el margen de las posibles señales de salida que podemos obtener. Así por ejemplo, si la tensión de alimentación en un operacional es de ± 15 V, en la salida podríamos llegar a obtener señales de hasta $30 V_{pp}$.

Cuando se alcanza la tensión máxima de salida, el amplificador está saturado, y puede distorsionarse su comportamiento.

3.2. Circuitos de aplicación de los amplificadores operacionales

De entre las aplicaciones lineales del amplificador operacional vamos a estudiar funciones de amplificación y las operaciones aritméticas.

A continuación analizaremos las principales aplicaciones de carácter lineal de los amplificadores operacionales.

A. Amplificador inversor

El **amplificador inversor** es un amplificador que se caracteriza porque la señal de la salida está desfasada 180° con respecto a la de entrada. Puede utilizarse en aplicaciones como mandos de volumen de amplificadores de audio.

El **circuito** del amplificador inversor es el siguiente (Fig. 9.11):

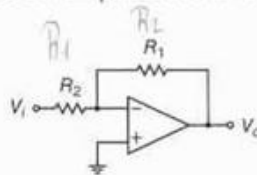


Fig. 9.11. Circuito del amplificador inversor.

La **tensión de salida** se calcula como

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

Como podemos ver, el término que multiplica a la tensión de entrada es la ganancia del amplificador, y solamente depende de las resistencias R_1 y R_2 del circuito. El signo indica que la señal de salida está desfasada 180° con respecto a la de entrada.

Caso práctico 3: Análisis de un amplificador inversor

El circuito de la Figura 9.12 se encuentra en la entrada de la señal de voz de un circuito telefónico. Vamos a comprobar que la señal que se obtiene a la salida es 10 veces mayor que la que tienes en la entrada del amplificador.

Solución:

A la vista del circuito, y como la ganancia solo depende de las resistencias R_1 y R_2 , el valor de la señal de salida debería ser:

$$V_o = -\frac{R_2}{R_1} \cdot V_i = \frac{100}{10} \cdot 10 \text{ mV}_{pp} = 10 \cdot 10 \text{ mV}_{pp} = 100 \text{ mV}_{pp}$$

Si conectamos el osciloscopio a la salida del amplificador, la **señal obtenida** es la siguiente:

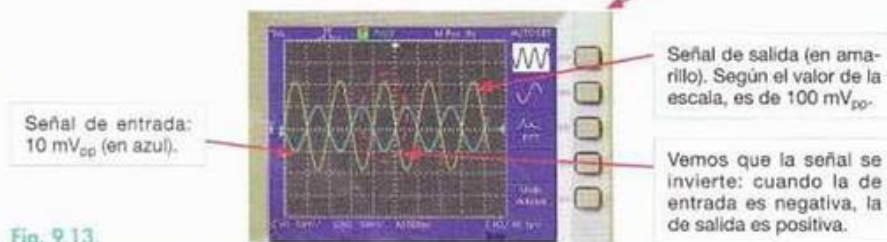


Fig. 9.13.

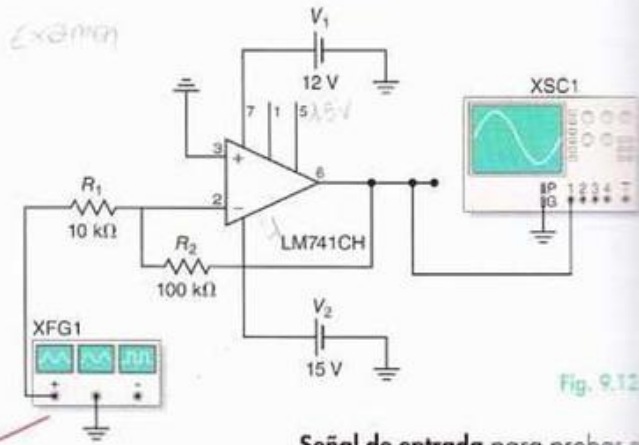


Fig. 9.12

Señal de entrada para probar el amplificador:



Fig. 9.14.

B. Amplificador no inversor

El **amplificador no inversor** se puede utilizar en cualquier aplicación en la que sea necesaria la utilización de un amplificador. La ganancia del circuito, como en el caso anterior, solo depende de las resistencias exteriores, y la señal de salida no está desfasada con respecto a la señal de entrada.

El esquema básico de un amplificador no inversor es el que se muestra en la Figura 9.15.

En este caso, el valor de la señal de salida del amplificador se puede calcular mediante la siguiente **fórmula**:

$$V_o = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot V_i \rightarrow G = \frac{V_o}{V_i} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

La ganancia siempre es mayor que 1.

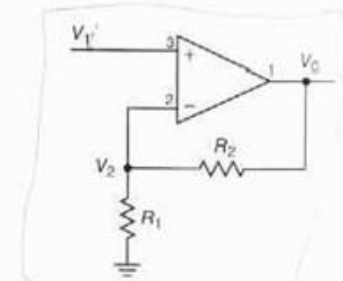


Fig. 9.15. Esquema de un amplificador no inversor.

Caso práctico 4: Análisis de un amplificador no inversor

El circuito de la Figura 9.16 muestra un amplificador para un micrófono, realizado con un amplificador operacional. A la vista de los componentes mostrados, ¿cuál es la ganancia del amplificador?

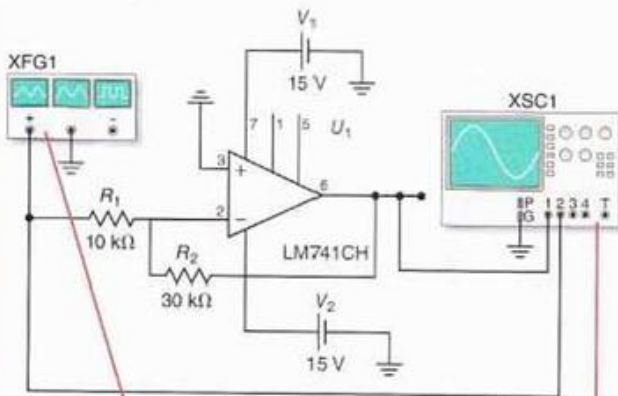


Fig. 9.16.

Solución:

Según la fórmula que acabamos de ver, la ganancia del amplificador se puede calcular como:

$$G = 1 + \frac{R_2}{R_1} = 1 + \frac{30 \text{ k}\Omega}{10 \text{ k}\Omega} = 4$$

Por tanto, la señal de salida obtenida debe ser cuatro veces mayor que la introducida en la entrada.

Si realizamos la simulación del circuito para una señal de entrada de frecuencia 1 kHz y amplitud 10 mV_{pp}, obtenemos la salida que se muestra en la pantalla del osciloscopio:



Señal de entrada introducida con el generador de señales.

Fig. 9.17.

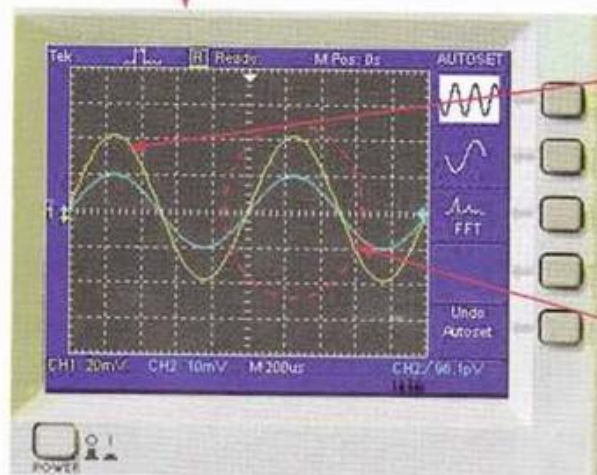


Fig. 9.18.

La salida (en amarillo) tiene una amplitud de 40 mV_{pp}, por lo que sí se cumplen los valores calculados.

Es importante destacar que ambas señales (entrada y salida) ahora no están desfasadas, tal como se ve en la pantalla del osciloscopio.

¿Sabías que...?

Una aplicación típica de los **circuitos sumadores** son las mesas de mezclas que se utilizan en audio (por ejemplo, las de los DJ).

C. Circuitos que realizan operaciones matemáticas

Como ya hemos comentado, el amplificador operacional surge para dar solución a la realización de operaciones matemáticas mediante circuitos electrónicos.

Podemos distinguir dos tipos de **aplicaciones**:

- **Operaciones lineales:** circuitos que realizan operaciones como sumas y restas.
- **Operaciones no lineales:** circuitos que realizan operaciones como derivadas e integrales.

Todas estas operaciones se realizan con las señales de entrada del circuito.

Caso práctico 5: Análisis de un circuito sumador de señales

Comprueba la señal que se obtiene a la salida del circuito de la Figura 9.19 realizándolo en un simulador.

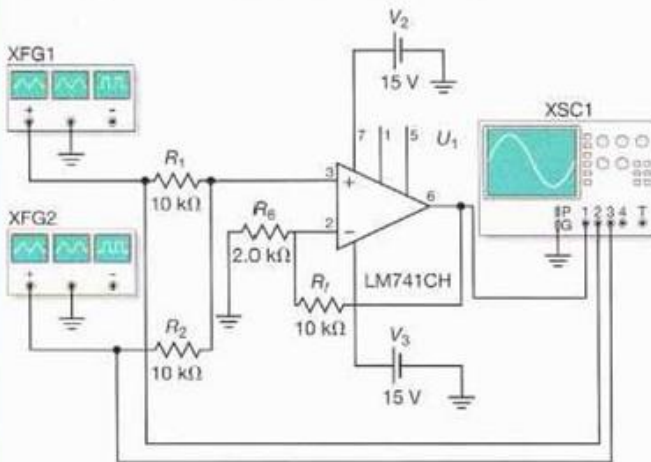


Fig. 9.19.

Solución:

Se trata del circuito de un amplificador sumador no inversor. Por ello, hay que sumar las dos señales que se aplican a su entrada, las simuladas con los generadores XFG1 y XFG2. Además, según está configurado, no se producirá ningún desfase de la señal de salida con respecto a las de entrada (es un amplificador no inversor).

Para comprobar el funcionamiento del circuito vamos a introducir dos señales cuadradas de 20 mV_{pp} y 40 mV_{pp} .

El **circuito** funciona de la siguiente manera:

Si las resistencias de cada una de las entradas son todas iguales (las vamos a llamar R), y a su vez iguales a R_f , la ganancia del amplificador (el valor por el que se va a multiplicar la suma de las señales) se puede calcular como:

$$V_o = \left(1 + \frac{R_f}{R}\right) \cdot V_+$$

En estas condiciones la tensión en la patilla no inversora podemos calcular como:

$$V_+ = \frac{1}{2} \cdot (V_1 + V_2)$$

Si sustituimos los valores con los que estamos simulando el circuito, tenemos:

$$V_+ = \frac{1}{2} \cdot (V_1 + V_2) = \frac{20 + 40}{2} = 30 \text{ mV}_{pp}$$

Y si ahora calculamos el valor de la señal de salida:

$$V_o = \left(1 + \frac{R_f}{R}\right) \cdot V_+ = \left(1 + \frac{10}{2}\right) \cdot 30 = 180 \text{ mV}_{pp}$$

Las **señales obtenidas** al simular canales son las siguientes:



Fig. 9.20.

3.3. Aplicaciones no lineales con amplificadores operacionales

Dada la versatilidad y las propiedades del componente que estamos estudiando, nos encontramos con multitud de aplicaciones, además de las comentadas anteriormente.

Así, en **telecomunicaciones**, las principales aplicaciones de este tipo en las que podemos encontrar amplificadores operacionales son:

- Filtros activos de todos los tipos habituales: paso alto, paso bajo, paso banda...
- Comparadores de señales.
- Generadores de ondas, etc.

Caso práctico 6: Filtro paso banda realizado con un amplificador operacional

El circuito de la Figura 9.21 corresponde a un filtro paso banda, utilizado para eliminar frecuencias no deseadas en la entrada de un aparato de radio. Analiza su funcionamiento mediante una simulación en el ordenador.

Solución:

Al realizar la simulación en el ordenador vemos que las señales que pasan por el filtro con mayor amplitud se encuentran en torno a 100 Hz y 10 kHz, atenuándose bastante las que están lejos de estos valores.

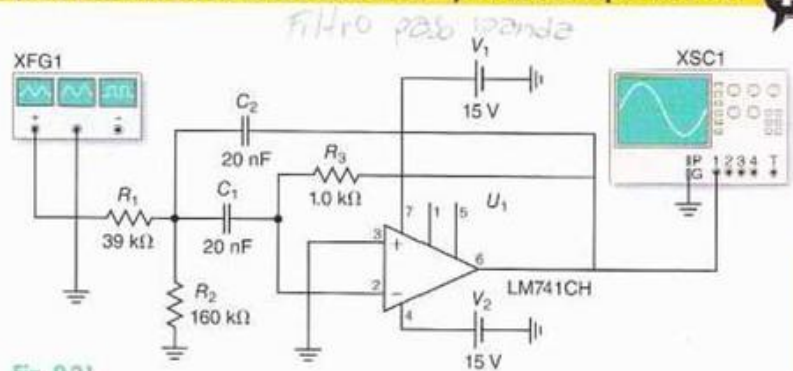


Fig. 9.21.

En la banda de paso la señal tiene mucha mayor amplitud. En la imagen se muestra la amplitud que tienen las señales a partir de 100 Hz hasta el valor de la frecuencia de corte superior del filtro.

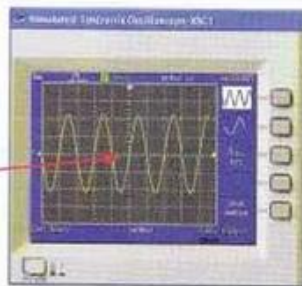


Fig. 9.22.

Señal a 100 kHz. Esta muy atenuada.

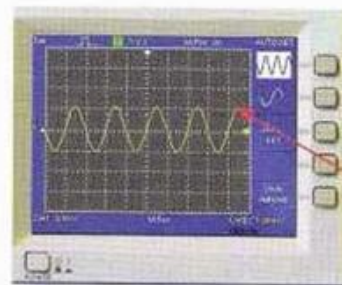


Fig. 9.23.

Actividades

5. Busca el esquema de un circuito restador de dos señales realizado con un amplificador operacional y efectúa su simulación en el ordenador.

Compáralo con el circuito visto para el sumador y explica las diferencias que existen entre ellos.

6. Analiza el funcionamiento del circuito de la Figura 9.24 mediante una simulación. ¿De qué circuito se trata?

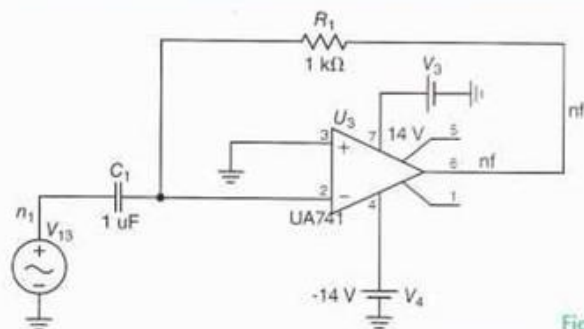


Fig. 9.24.

4. Amplificadores comerciales integrados

En el mercado podemos encontrar circuitos integrados para trabajar como amplificadores. El primero que estudiaremos es el amplificador operacional, por ser uno de los más utilizados. No obstante, comentaremos al final del apartado otros amplificadores para aplicaciones específicas que también podemos encontrar en el mercado.

4.1. Amplificadores operacionales

Muchos son los fabricantes que realizan este tipo de circuitos. Los diferentes encapsulados que podemos encontrar para los amplificadores operacionales son los siguientes:

- Encapsulado metálico (TO-5) (a).
- Encapsulado DIP 8 patillas (b).
- Encapsulado para montaje SMD (SOP) (c).

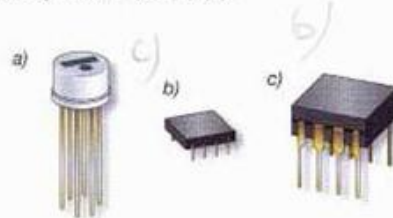


Fig. 9.25. Diferentes encapsulados para los amplificadores operacionales.

La disposición de las conexiones para estos encapsulados (según la hoja de características del fabricante) es la siguiente:

Importante

Los **amplificadores operacionales** que encontramos en el mercado tienen parámetros parecidos a los amplificadores ideales, aunque nunca llegan a ser iguales a los de estos. De esta forma, los parámetros más importantes para un amplificador operacional real, en nuestro caso el 741, serán los siguientes:

- Resistencia de entrada 2 MΩ.
- Resistencia de salida nula.
- Ganancia de tensión en modo diferencial 200.
- Ganancia de tensión en modo común; depende de CMMR, que vale 90 dB.
- Corrientes de entrada entre 20 y 90 nA.
- Ancho de banda 1,5 MHz.
- Margen de temperatura de funcionamiento entre 0 y 70 °C.

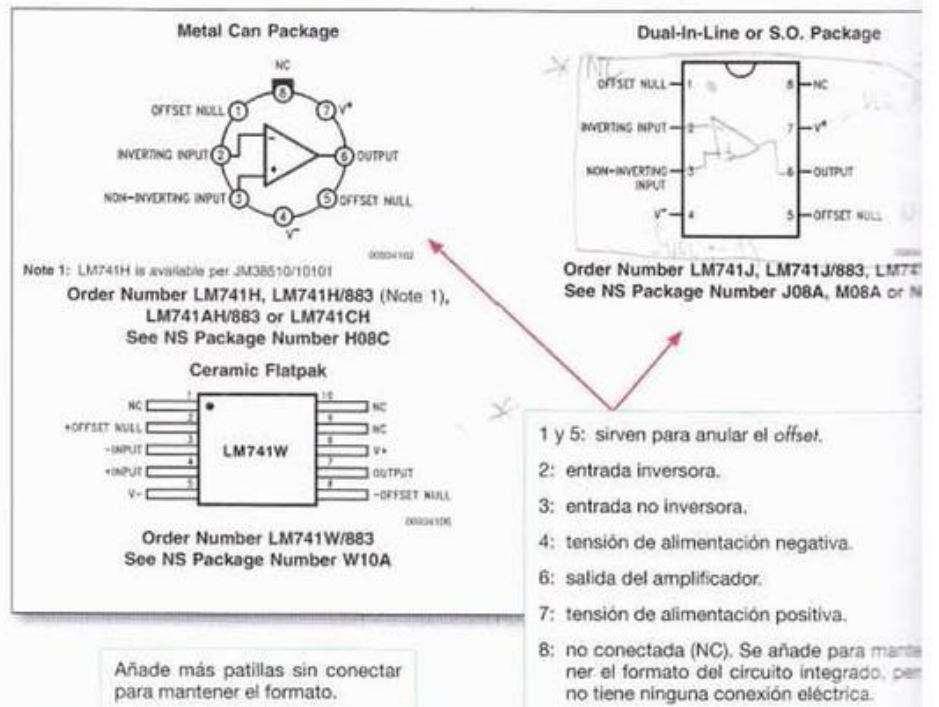


Fig. 9.26. Disposición del patillaje en los diferentes encapsulados de los amplificadores operacionales.

En algunos casos, podemos encontrar circuitos integrados con más de un amplificador operacional en su interior:

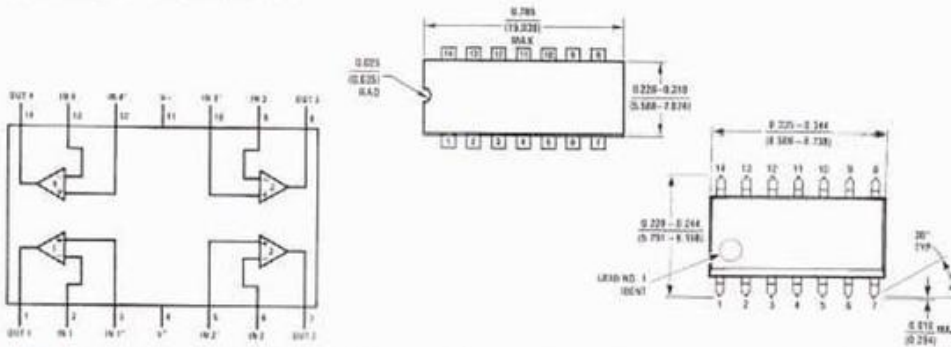


Fig. 9.27. Circuito integrado LM148. Se trata de un c.i. con cuatro amplificadores operacionales en su interior. Se muestra el aspecto del integrado (con sus medidas) y el conexionado interno. Los amplificadores comparten todas las fuentes de alimentación.

Como en cualquier componente electrónico, es fundamental analizar la hoja de características que nos facilita el fabricante, antes de seleccionarlo, para colocarlo en un circuito.

De todos los parámetros dados por el fabricante, uno de los más importantes es el denominado **rechazo al modo común (CMMR)**:

Output Voltage Swing	$V_{O(P-P)}$	$V_{CC} = \pm 20V$, $R_L \geq 10k\Omega$	-	-	-	V
		$V_{CC} = \pm 15V$, $R_L \geq 2k\Omega$	-	-	-	
Common Mode Rejection Ratio	CMRR	$R_S \leq 10k\Omega$, $V_{CM} = \pm 12V$	70	90	-	dB
		$R_S \leq 50\Omega$, $V_{CM} = \pm 12V$	-	-	-	
Power Supply Rejection Ratio	PSRR	$V_{CC} = \pm 15V$ to $V_{CC} = \pm 15V$, $R_S \leq 50\Omega$	-	-	-	dB
		$V_{CC} = \pm 15V$ to $V_{CC} = \pm 15V$, $R_S \leq 10k\Omega$	77	96	-	

Fig. 9.28. Ejemplo de una hoja de características en la que se ve el valor de CMMR.

El rechazo al modo común es un parámetro muy importante en las aplicaciones del amplificador operacional tales como el funcionamiento en amplificadores de instrumentación (como en equipos de electromedicina, etc.). Siempre es un valor positivo, y el fabricante lo suele dar en decibelios, tal y como se puede ver en la hoja de características.

La forma de calcularlo es mediante la siguiente ecuación:

$$CMMR = 20 \log \left(\frac{A_d}{A_c} \right)$$

Donde A_d es la ganancia en modo diferencial y A_c es la ganancia en modo común. La ganancia en modo común es el cociente entre la señal de salida y la señal de entrada (depende de los elementos externos del circuito). El valor de la ganancia en modo diferencial suele venir dado por el fabricante del circuito entre sus especificaciones.

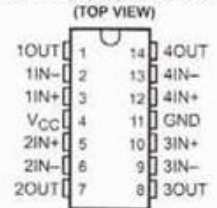
Large Signal Voltage Gain	G_V	$R_L \geq 2k\Omega$	$V_{CC} = \pm 20V$, $V_{O(P-P)} = \pm 15V$	-	-	-	V/mV
			$V_{CC} = \pm 15V$, $V_{O(P-P)} = \pm 10V$	20	200	-	

Fig. 9.29. Valor que da el fabricante sobre el rechazo al modo común.

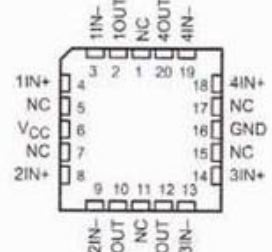
Importante

Otros ejemplos de encapsulados para amplificadores operacionales son los siguientes (cortesía de Teccas Instruments):

- LM124 ... D, J, OR W PACKAGE
- LM124A ... J PACKAGE
- LM224, LM224A ... D OR N PACKAGE
- LM324 ... D, N, NS, OR PW PACKAGE
- LM324A ... D, DB, N, NS, OR PW PACKAGE
- LM2902 ... D, N, NS, OR PW PACKAGE



LM124, LM124A ... FK PACKAGE (TOP VIEW)



Vocabulario

Tensión de offset. En un amplificador operacional, la tensión de salida debería ser nula cuando la tensión de las entradas es cero; esto no ocurre en los operacionales reales. Se define la tensión de *offset* como la tensión que es necesario aplicar entre los terminales de entrada para conseguir que la tensión a la salida sea nula.

Se ajusta en los terminales marcados para tal fin en el circuito integrado.

Ten cuidado

En el caso del CMMR, siempre interesa que sea un valor lo más elevado posible.

4.2. Otros amplificadores integrados

El gran avance de la electrónica ha permitido desarrollar circuitos integrados que realizan las funciones de circuitos que antes había que conformar con numerosos componentes discretos. De esta forma han surgido circuitos amplificadores integrados que se utilizan en numerosos equipos, como equipos de audio, televisores, etc.

Un ejemplo de este tipo de amplificadores es el **TDA-1386**. Se trata de un amplificador de alta calidad que proporciona cuatro salidas en las que se pueden obtener hasta 45 W sobre altavoces de 4 Ω de impedancia en función de su configuración. Es necesario conectarlo a un disipador de calor, puesto que en su funcionamiento puede llegar a alcanzar elevadas temperaturas.

El aspecto externo de este circuito integrado es el siguiente (Fig. 9.30).

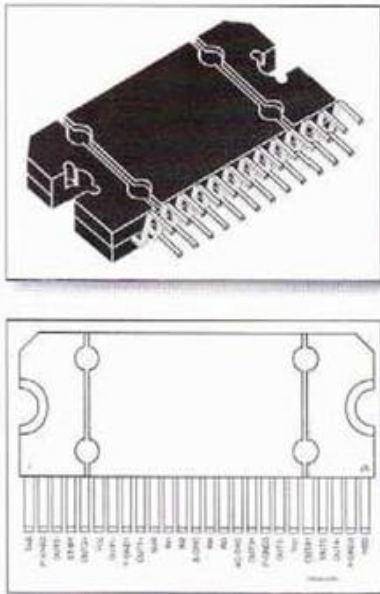


Fig. 9.30. Amplificador TDA-1386.

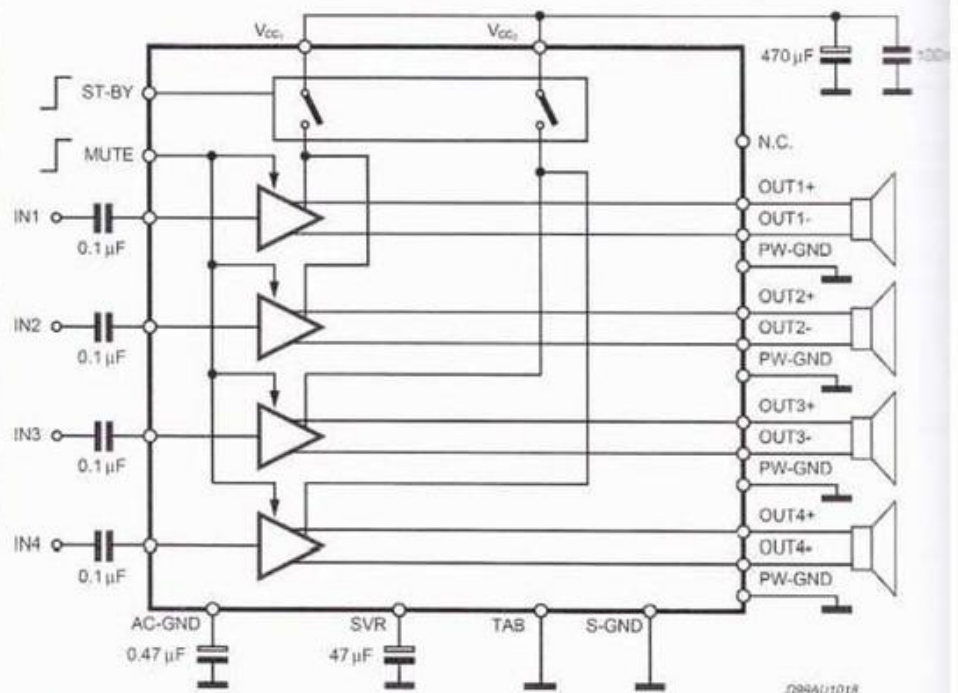


Fig. 9.31. Configuración del amplificador TDA 7386. Diagrama de conexiones en el que se muestran cómo van colocadas las entradas y salidas de este amplificador.

Otros ejemplos destacables son los amplificadores de vídeo, como el TDA 5850, etc.

Actividad

7. Consulta la hoja de características del amplificador integrado TDA 1011 y contesta a las siguientes preguntas sobre este circuito integrado:

- ¿Para qué se utiliza este circuito?
- ¿Qué valores de potencia podemos obtener a su salida?
- ¿En qué tipo de encapsulado lo podemos encontrar?
- ¿Necesita ser conectado a un refrigerador?

- ¿Cuál es la temperatura máxima que se puede alcanzar en los terminales durante el proceso de soldadura? ¿Durante cuánto tiempo? ¿Qué ocurriría si se supera ese tiempo?
- ¿Cuál es la tensión máxima de alimentación para el circuito integrado?
- ¿Funcionaría correctamente el amplificador en el interior de un vehículo, aparcado al sol, que ha alcanzado una temperatura de 55 °C? Justifica tu respuesta.

Práctica final: Obtención de la ganancia de un amplificador

1. Objetivo

Obtener de forma práctica la ganancia de los amplificadores. Medir los principales parámetros en cada uno de ellos. Los esquemas de los circuitos que habrá que montar son los siguientes:

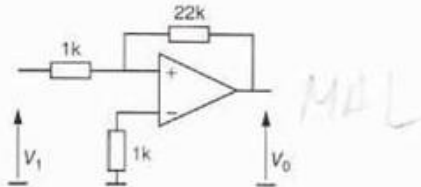


Fig. 9.32. Amplificador inversor con un operacional.

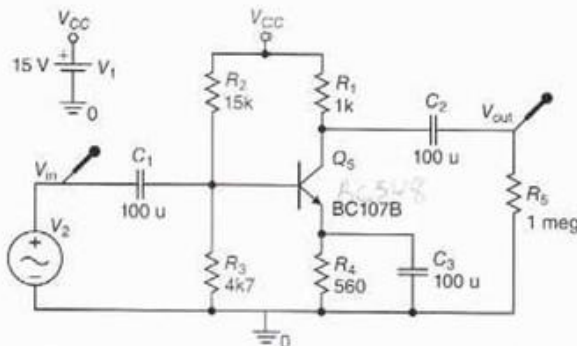


Fig. 9.33. Amplificador en emisor común para micrófono.

2. Materiales

- Generador de señal y dos fuentes de alimentación.
- Circuito integrado LM741.
- Placa BOARD, osciloscopio y polímetro.
- Resistencias y condensadores de los valores indicados en los esquemas.

3. Técnica

Circuito 1

1. Monta sobre la placa BOARD el circuito del amplificador operacional (Fig. 9.32).

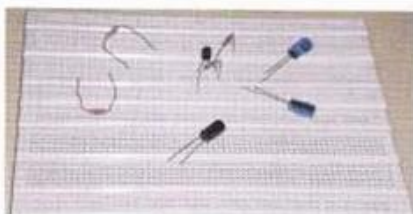


Fig. 9.34.

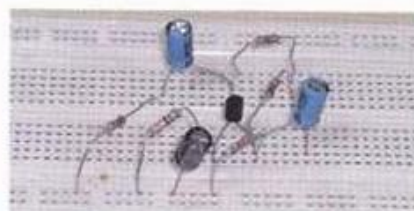


Fig. 9.35.

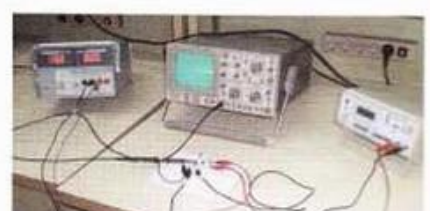


Fig. 9.36.

2. Alimenta el circuito integrado con las dos fuentes de alimentación (V_{CC} a 12 V y V_{EE} a -12 V).
3. Conecta a la entrada el generador de señales e introduce una onda senoidal de frecuencia 1 kHz y amplitud 20 mV. Haz el ajuste con el osciloscopio.
4. Visualiza la señal de salida que obtienes en V_0 y dibuja la señal en tu cuaderno.

Circuito 2

1. Monta sobre la placa BOARD el circuito dado en el esquema.
2. Introduce con el generador de señales la misma señal que has utilizado en el apartado anterior. Conecta el osciloscopio en la salida (R_5), visualiza la señal y mide los parámetros de las Figuras 9.33, 9.34 y 9.35.
3. Con el polímetro mide la tensión entre el colector y el emisor del transistor (Fig. 9.36). Anota el valor.
4. Mide con el polímetro la intensidad que está circulando por R_1 . Anota el resultado.
5. Dibuja las señales de entrada y salida del circuito y compáralas.
6. Cambia la frecuencia del generador de señales a 1 MHz y observa qué pasa con la salida del circuito.

NG

4. Cuestiones

1. ¿Qué valor tiene la ganancia del circuito 1? ¿Se desfasa la señal de salida?
2. ¿Qué valor podrías medir en el circuito 2 para calcular la β del transistor? Justifica la respuesta y obtén dicho valor.
3. ¿Qué ocurre en el circuito 2 si cambiamos la tensión de la fuente a 6 V?
4. En el amplificador operacional del circuito 1, ¿de qué manera podrías comprobar la tensión de offset que tiene? Realiza esta operación y comenta el resultado obtenido.



Test de repaso

- Se denomina ganancia al valor por el cual la seña de entrada:
 - Se multiplica.
 - Se divide.
 - Permanece igual.
 - Disminuye.
- La ganancia de tensión de un amplificador se calcula como:
 - La multiplicación entre las señaes de entrada y salida.
 - La división entre las señaes de salida y entrada.
 - La suma entre las señaes de salida y entrada.
 - La resta entre las señaes de salida y entrada.
- Para que un transistor pueda funcionar como amplificador, debe estar polarizado en:
 - Zona de saturación.
 - Zona de corte.
 - Zona activa.
 - Zona de saturación inversa.
- El punto de trabajo en un transistor corresponde a los valores de:
 - V_{BE} e I_B .
 - V_{BE} e I_C .
 - V_{CE} e I_B .
 - V_{CE} e I_C .
- En un amplificador operacional ideal, la impedancia de entrada vale:
 - 200 M.
 - 100k.
 - ∞ .
 - 1k.
- ¿Cuánto tiene que valer la ganancia de un amplificador?
 - Debe ser menor que 1.

- Debe ser igual a 1.
- Debe ser mayor que 1.
- No importa el valor.

- ¿Qué valor tiene la ganancia en el siguiente circuit $R_1 = 20k$ y $R_2 = 4k$?

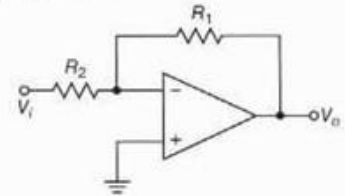


Fig. 9.37.

- 20.
 - 10.
 - 4.
 - 5.
- La ganancia de potencia de un amplificador tiene valor de 1 000. ¿Cuál es su valor en decibelios?
 - 20.
 - 40.
 - 30.
 - 60.
 - En un amplificador no inversor, la seña de salida:
 - Está desfasada 180° con respecto a la de la trada.
 - Está desfasada 60° con respecto a la de la entr
 - No está desfasada con respecto a la de la trada.
 - Está desfasada 90° con respecto a la de la entr
 - La tensión de *offset* de un operacional se produce
 - Cuando no hay seña en las entradas.
 - Cuando la seña de las entradas vale 10 V.
 - Cuando solo hay seña en la entrada inversora
 - No existe ese parámetro.

soluciones: 1a, 2b, 3c, 4d, 5c, 6c, 7d, 8c, 9c, 10a.

Comprueba tu aprendizaje

Identificar los principales parámetros de un amplificador

1. El circuito de la Figura 9.38 representa un amplificador de un equipo de sonido.

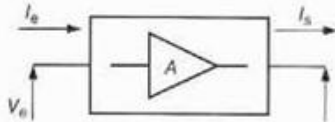


Fig. 9.38.

Si sabemos que a la entrada se introduce una señal de 10 mV de amplitud, que en estas condiciones circula una intensidad de 5 mA, y que a la salida tenemos una tensión de 10 V y una intensidad de 500 mA, contesta a las siguientes preguntas:

- ¿Qué valor tiene la ganancia de tensión?
- ¿Qué valor tiene la ganancia de intensidad?
- ¿Qué potencia tenemos a la salida? ¿Qué valor tiene la ganancia de potencia?
- Expresa todos los valores de las ganancias en decibelios.
- Calcula las impedancias de entrada y salida del amplificador.

Describir el funcionamiento de los amplificadores con transistores

2. Calcula el punto de trabajo del circuito de la figura e indica en qué zona se encuentra trabajando el transistor.

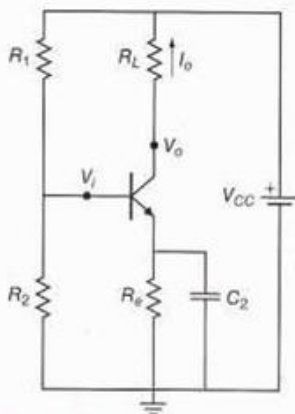


Fig. 9.39.

Datos: $R_1 = 22 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 3,3 \text{ k}\Omega$, $R_c = 2 \text{ k}\Omega$,
 $R_e = 1 \text{ k}\Omega$, $R_L = 3 \text{ k}\Omega$, $V_{CC} = 12 \text{ V}$, $\beta = 100$.

3. Simula en el ordenador el siguiente circuito:

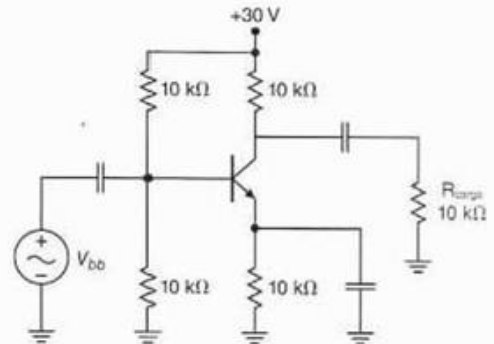


Fig. 9.40.

Elige un transistor NPN, como por ejemplo un BC547 o similar. Los condensadores pueden ser de cualquier valor (solo se utilizan para filtrar la corriente continua).

Realiza las siguientes operaciones:

- Introduce una señal (V_{bb}) senoidal de frecuencia 1 kHz y 10 mV_p de amplitud. Visualiza la señal que hay en la carga con el osciloscopio, y anota sus valores.
 - Calcula la ganancia del amplificador con los datos obtenidos en el apartado anterior.
 - Mide con un multímetro el punto de trabajo del transistor (V_{CE} e I_C).
 - Mide la intensidad que pasa por la base del transistor. ¿En qué zona está trabajando el transistor? Justifica la respuesta.
4. Repite los apartados del ejercicio anterior con el siguiente circuito: ($V_{CC} = 12 \text{ V}$).

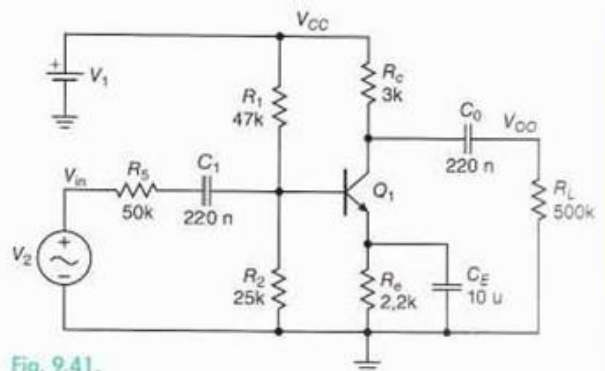


Fig. 9.41.

Cambia los valores de R_1 y R_2 por el doble del valor actual y observa qué ocurre en la salida.

Comprueba tu aprendizaje

Describir el funcionamiento de los amplificadores operacionales

5. Analiza los circuitos de la Figura 9.42:

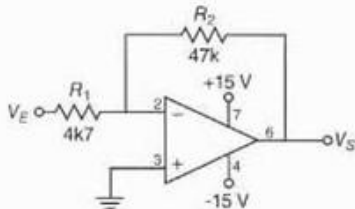


Fig. 9.42.

- Explica de qué tipo de circuitos se trata y justifica la respuesta.
- Calcula la ganancia de cada uno de ellos.
- Si queremos obtener en el circuito anterior una ganancia de 10, ¿cómo habría que modificar el mismo para conseguirlo? Justifica la respuesta.

6. A continuación tienes un fragmento de la hoja de características del amplificador operacional.

Electrical Characteristics						
$(V_{CC} = +15V, V_{EE} = -15V, T_A = 25^\circ C, \text{ unless otherwise specified})$						
Parameter	Symbol	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
Input Offset Voltage	V_{IO}	$R_{F1} = 10k\Omega$ $R_{F2} = 50k\Omega$	-	2.0	8.0	mV
Input Offset Voltage Adjustment Range	$V_{IO(Adj)}$	$V_{CC} = \pm 20V$	-	± 15	-	mV
Input Offset Current	I_{IO}	-	-	20	200	nA
Input Bias Current	I_{B1}	-	-	50	500	nA
Input Resistance (Node 1)	R_i	$V_{CC} = \pm 20V$	0.3	2.0	-	M Ω
Input Voltage Range	$V_{I(R)}$	-	± 12	± 13	-	V
Large Signal Voltage Gain	A_{vL}	$R_L \geq 2k\Omega$ $V_{CC} = \pm 20V, V_{O(peak)} = \pm 15V$ $V_{CC} = \pm 15V, V_{O(peak)} = \pm 10V$	-	-	-	V/mV
Output Short Circuit Current	I_{SC}	-	-	25	-	mA
Output Voltage Swing	$V_{O(peak)}$	$V_{CC} = \pm 20V, R_L = 10k\Omega$ $R_L = 2k\Omega$ $V_{CC} = \pm 15V, R_L = 10k\Omega$ $R_L = 2k\Omega$	± 12	± 14	-	V
Common Mode Rejection Ratio	CMRR	$R_{F1} = 10k\Omega, V_{CC} = \pm 12V$ $R_{F2} = 50k\Omega, V_{CC} = \pm 12V$	70	86	-	dB
Power Supply Rejection Ratio	PSRR	$V_{CC} = \pm 15V \text{ to } \pm 13V, R_{F1} = 10k\Omega$ $V_{CC} = \pm 15V \text{ to } \pm 13V, R_{F2} = 10k\Omega$	77	86	-	dB
Transient	Rise Time	T_r	-	0.3	-	μs
Response	Overshoot	OS	-	10	-	%
Bandwidth	Bandwidth	BW	-	-	-	MHz
Slew Rate	Slew Rate	SR	-	0.5	-	V/ μs
Supply Current	Supply Current	I_{CC}	-	1.5	2.8	mA
Power Consumption	Power Consumption	P_C	-	-	-	mW
Note: 1. Guaranteed by design.						

Fig. 9.43.

Contesta a las siguientes cuestiones:

- ¿Cuál es la tensión de alimentación para la que se han obtenido los parámetros del amplificador?

- ¿Cuál es el consumo de potencia máximo que tiene el amplificador durante su funcionamiento?
- ¿Cómo podrías calcular la ganancia mínima que tiene el amplificador en modo común? ¿A partir de qué parámetro podrías realizar los cálculos?

7. El siguiente circuito corresponde a una aplicación no lineal de los amplificadores operacionales:

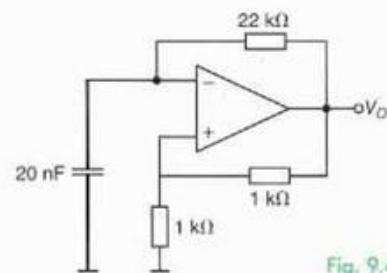


Fig. 9.44.

Realiza la simulación del circuito en el ordenador utilizando un operacional 741. Conecta un osciloscopio a la salida (V_o) y responde a las siguientes preguntas:

- ¿De qué tipo de circuito se trata?
- Dibuja la señal que obtienes e indica sus principales parámetros.

8. Simula el siguiente circuito y analiza su funcionamiento:

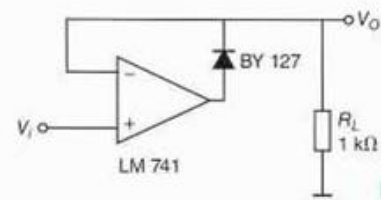


Fig. 9.45.

- Introduce a la entrada una señal senoidal de $5 V_{pp}$ y una frecuencia de 1 kHz. Comprueba la señal de salida que obtienes. ¿De qué tipo de circuito se trata?
- Cambia la frecuencia de la señal y comprueba los resultados que obtienes en la salida para los valores de:

$$F_1 = 10 \text{ kHz}; F_2 = 100 \text{ kHz}; F_3 = 1 \text{ MHz}; F_4 = 10 \text{ MHz}.$$

- ¿Se observa alguna diferencia ante las diferentes entradas? Si es así, ¿a qué puede deberse?
- Introduce una señal cuadrada de amplitud $4 V_{pp}$ y frecuencia 2 kHz, y observa la señal de salida. Anota los resultados obtenidos.

¿Sabías que...?

El estudio del comportamiento de los circuitos en corriente alterna se hace con señales senoidales; de ahí la gran importancia que tienen los osciladores que generan este tipo de señales.

Importante

La **señal de salida** de los circuitos osciladores se genera a partir de la tensión continua de la fuente de alimentación del propio circuito.

1. Circuitos generadores de señales

Muchos de los circuitos electrónicos empleados en telecomunicaciones incorporan circuitos capaces de generar señales. Estos se utilizan en aplicaciones como transmisores y receptores de radio y televisión, telefonía móvil, ordenadores, etc.

La **clasificación** de este tipo de circuitos se realiza atendiendo al tipo de señal que producen:

- **Circuitos osciladores:** son capaces de generar señales periódicas, tanto analógicas como digitales. Los osciladores analógicos proporcionarán señales senoidales, y tras que los osciladores digitales producirán señales cuadradas (Fig. 10.1).

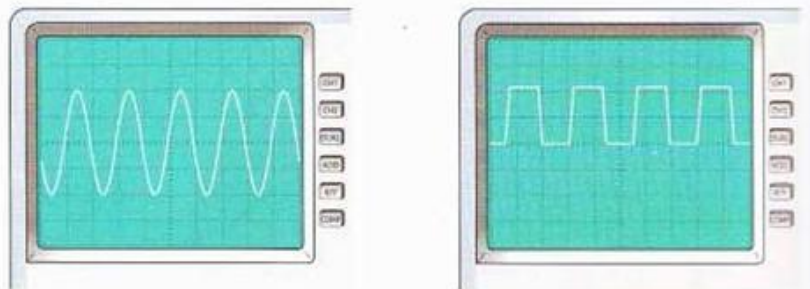


Fig. 10.1. Señales producidas por los osciladores: onda senoidal (izquierda) y onda cuadrada (derecha).

Los osciladores **analógicos** se basan en circuitos amplificadores, a los que se les dan diferentes elementos para que puedan ser capaces de generar la señal correspondiente. Por su parte, los osciladores **digitales** reciben el nombre de multivibradores, y dan lugar a señales que únicamente pueden tomar dos valores (por eso se denominan cuadradas).

Generalmente estos circuitos se realizan con componentes discretos, como los que se han estudiado en las unidades anteriores, aunque dada su amplia utilización han desarrollado circuitos integrados para su implementación, como el circuito integrado 555, muy utilizado en infinidad de aplicaciones (como veremos en el capítulo 2.1).

Uno de los parámetros más importantes en los osciladores es la **frecuencia** de la señal que generan. Normalmente esta frecuencia vendrá determinada por los componentes que se añaden al circuito principal (que será un amplificador) en forma de bobinas y condensadores.

- **Circuitos temporizadores:** son circuitos que generan señales que sirven para activar o desactivar ciertos circuitos durante un determinado tiempo. Producen señales digitales que no son periódicas, y para su funcionamiento es necesario activarlos desde el exterior del propio circuito (Fig. 10.2).

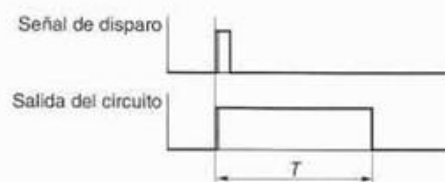


Fig. 10.2. Onda generada en un temporizador.

2. Osciladores

Un **oscilador** es un circuito electrónico capaz de generar una señal alterna partiendo de una corriente continua.

En todas las aplicaciones de transmisión y recepción de señales nos encontramos con este tipo de circuitos. Los osciladores son los encargados de generar la señal mediante la cual podremos enviar o recibir la información que se ha de transmitir (música, imagen, voz, etc.). También son los responsables de marcar el ritmo de funcionamiento de los equipos digitales que utilicen procesadores a través de los denominados **circuitos de reloj**.

Podemos clasificar a los osciladores en función de la señal alterna que generan en:

- **Osciladores senoidales:** generan una onda senoidal.
- **Osciladores no senoidales:** también llamados **multivibradores**, son osciladores que generan una onda cuadrada.

2.1. Osciladores senoidales

Los **osciladores senoidales** son osciladores capaces de generar una señal alterna de onda senoidal a partir de una corriente continua. Suelen emplearse en los moduladores y demoduladores de los equipos receptores y emisores de señales de radio y televisión, telefonía vía radio, etc.

Existen dos tipos de osciladores senoidales dependiendo de los componentes que los forman, así como del valor de la frecuencia que producen:

- Osciladores RC.
- Osciladores LC.

A. Osciladores RC

Están contruidos con **células RC (resistencias y condensadores)**. Son baratos, fáciles de construir y estables para frecuencias medias y bajas. Se construyen partiendo de un amplificador (que hemos estudiado en la Unidad 9) y una red de **realimentación** formada por resistencias y condensadores (Fig. 10.3).

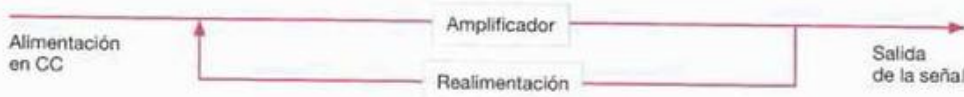


Fig. 10.3. Diagrama de bloques de un oscilador.

Los osciladores RC pueden ser, fundamentalmente, de dos tipos: osciladores por desplazamiento de fase y osciladores en puente de Wien.

Los **osciladores por desplazamiento de fase** basan su funcionamiento en variar la fase de la señal de salida mediante células de resistencias y condensadores, consiguiendo un desfase total de 180° que, unidos a los 180° de desfase que proporciona el amplificador, generan una salida senoidal de bastante calidad.

Importante

Las diferencias entre el valor teórico de frecuencia que nos tiene que dar el oscilador que estamos comprobando y el que obtenemos en la práctica, cuando montamos un circuito real, generalmente se deben a las tolerancias de los componentes con los que realizamos el circuito.

Cabe destacar que en los simuladores electrónicos puede haber problemas en el comienzo de la oscilación: un oscilador real arranca con el ruido eléctrico que capte a su entrada, y en un simulador esa situación es difícil de realizar. Por eso en algunos casos el valor de la frecuencia obtenida se aleja del valor que hemos calculado teóricamente.

Vocabulario

Se denomina **realimentación** a la conexión que lleva la señal de salida a la entrada del circuito nuevamente. Es una técnica muy usada en multitud de equipos electrónicos.

La red de realimentación de un oscilador de este tipo es la siguiente (Fig. 10.4):

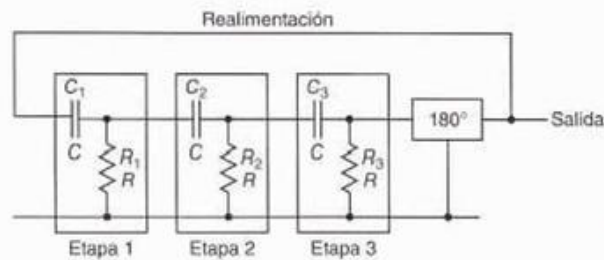


Fig. 10.4. Red de realimentación del oscilador RC.

Cada etapa o célula desplaza la señal 60° , por lo que, al tener tres etapas, el desplazamiento total es de 180° . El elemento amplificador puede ser un transistor o un AO (amplificador operacional).

Por su parte, la frecuencia que proporciona el oscilador se calcula en función del número de células y del valor de los componentes. Así, la fórmula general será:

$$f = \frac{1}{2\pi RC \sqrt{2n}} \quad (\text{donde } n \text{ es el número de células})$$

Caso práctico 1: Análisis del oscilador por desplazamiento de fase

Un equipo para probar aparatos de audiodiferencia genera señales en frecuencias audibles y en forma de onda senoidal. En una de las salidas monta un oscilador RC por desplazamiento de fase, como el que se muestra en la figura inferior. Comprueba la frecuencia que se obtiene a la salida del oscilador y verifica si se aproxima al valor obtenido con la fórmula teórica.

El recuadro azul corresponde al amplificador. La ganancia viene determinada por R_4 y R_5 , y se debe cumplir para que el oscilador funcione, que $R_5/R_4 > 29$.

Señal que obtenemos a la salida del oscilador:

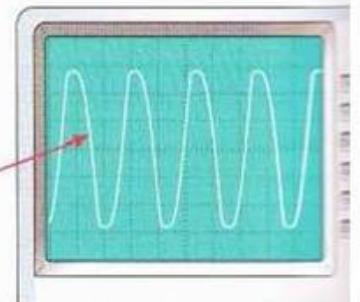


Fig. 10.6.

Solución:

Vamos a simular el circuito y a comprobar la señal que obtenemos a la salida. El esquema del circuito utilizado es el siguiente (sobre el simulador):

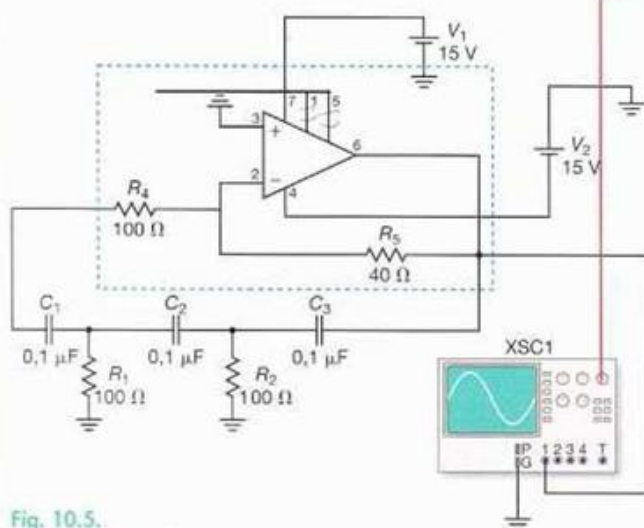


Fig. 10.5.

Si medimos la señal que obtenemos en el osciloscopio, vemos que obtenemos una onda senoidal $2,8 \text{ div} \cdot 5 \text{ V/div} = 14 \text{ Vp}$ de amplitud y un periodo $T = 75 \mu\text{s/div} \cdot 2 \text{ div} = 1,5 \cdot 10^{-4} \text{ s}$, que corresponde a una frecuencia:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{1,5 \cdot 10^{-4}} = 6666,67 \text{ Hz}$$

Para calcular la frecuencia del oscilador aplicamos la fórmula $f = \frac{1}{2\pi RC \sqrt{2n}}$; donde n es el número de células en este caso tres. Sustituyendo los valores nos queda $f = \frac{1}{2\pi \cdot 100 \cdot 0,1 \cdot 10^{-6} \sqrt{2 \cdot 3}} = 6497,43 \text{ Hz}$. Va bastante semejante al que hemos obtenido en la medida.

El **oscilador en puente de Wien** genera una onda senoidal muy estable. Su funcionamiento se basa en utilizar una red de realimentación como la mostrada en la Figura 10.7.



Fig. 10.7. Composición de la red de realimentación del oscilador en puente de Wien.

El valor de la frecuencia (en Hz) de la señal que se obtiene a la salida del oscilador se calcula mediante la siguiente fórmula:

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

Caso práctico 2: Análisis del oscilador en puente de Wien

Una central telefónica está trabajando en la generación de un código de tonos especial que pueda enviarse a través de la línea telefónica y que permita que un dispositivo identifique el número telefónico de quien desea comunicarse con nosotros. Con esto se desea brindar una opción más al usuario en el servicio telefónico, ya que

de este modo tendrá la posibilidad de filtrar sus llamadas. La central va a generar este código especial mediante un oscilador RC en puente de Wien, como el mostrado en la Figura 10.8. Comprueba qué frecuencia tendrá el tono generado y realiza el cálculo teórico de dicho valor.

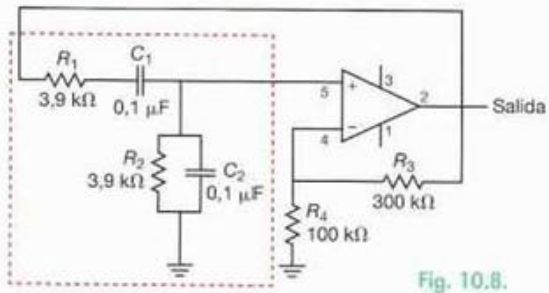


Fig. 10.8.

Red de realimentación:

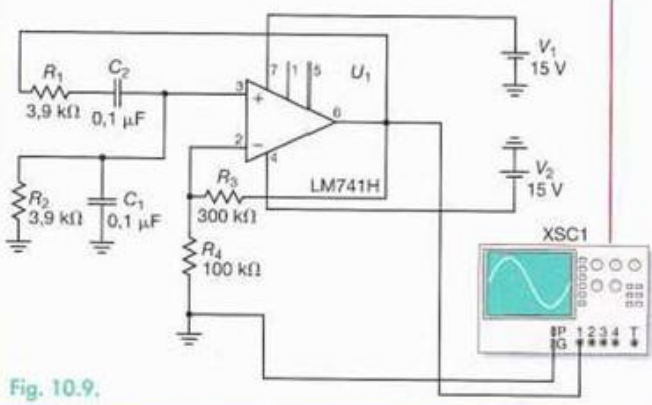


Fig. 10.9.

Solución:

Para comprobar el funcionamiento del circuito procedemos a realizar una simulación del mismo, o realizamos el montaje con los componentes reales sobre una placa BOARD. El amplificador operacional que vamos a utilizar es el LM741.

El circuito, montado sobre el simulador, nos queda de la siguiente manera:

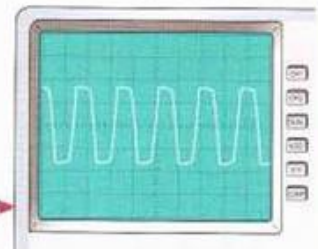


Fig. 10.10.

Esta es la señal que podemos ver a la salida del oscilador. Como la base de tiempos la tenemos en 1 ms/div, y la señal ocupa aproximadamente dos divisiones, el periodo será de 2 ms, que se corresponde con una frecuencia de 500 Hz.

La frecuencia de oscilación teórica la calculamos con los valores de los componentes, $R = 3k9$ y $C = 0,1 \mu F$.

Aplicando la fórmula:

$$f = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 3,9 \cdot 10^3 \cdot 0,1 \cdot 10^{-6}} = 480 \text{ Hz}$$

El valor es prácticamente igual al obtenido en el montaje.

Actividad

1. Identifica, en el circuito que muestra la imagen, el oscilador de desplazamiento de fase y destaca cuáles son los componentes de la red de realimentación y cuáles forman el amplificador.



Fig. 10.11.

¿Sabías que...?

El rango de **frecuencias VHF** está comprendido entre los 30 MHz y los 300 MHz. Como aplicaciones comerciales que utilizan frecuencias dentro de esta banda podemos citar las emisoras de radio en FM, que se encuentran en el ancho de banda comprendido entre los 88 MHz y los 108 MHz.

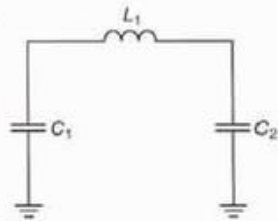


Fig. 10.12. Composición de la red de realimentación del oscilador Colpitts.

B. Osciladores LC

Este tipo de osciladores se usan principalmente para generar señales de frecuencia más elevadas que las que proporcionan los osciladores RC (generalmente superiores a 50 kHz). La red de realimentación está compuesta por **bobinas y condensadores**, cuya frecuencia de oscilación es la frecuencia de salida del circuito oscilador.

Se usan en aplicaciones dentro de las bandas de **HF** (*high frequency* o alta frecuencia) y **VHF** (*very high frequency* o muy alta frecuencia), por lo que pueden encontrarse en equipos como transmisores y receptores de radio en AM y FM, centrales telefónicas, etc. Su funcionamiento se basa en la obtención de la frecuencia de resonancia de la red de realimentación, siendo esta frecuencia la que se obtiene en la señal de salida del circuito.

Dentro de este tipo de osciladores se incluyen los denominados *Colpitts* y *Hartley*.

- El **oscilador Colpitts** se caracteriza porque su red de realimentación está formada por una bobina y dos condensadores (Fig. 10.12).

La frecuencia que obtenemos a la salida del circuito se calcula mediante la fórmula:

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

Donde el valor de C corresponde al equivalente de C₁ y C₂, y se calcula del siguiente modo:

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

Caso práctico 3: Análisis del oscilador de Colpitts

Un transmisor de radiofrecuencia tiene un oscilador de Colpitts como el que se muestra en la figura inferior. Identifica la red de realimentación del circuito, y comprueba su funcionamiento mediante el montaje del mismo en un simulador.

Solución:

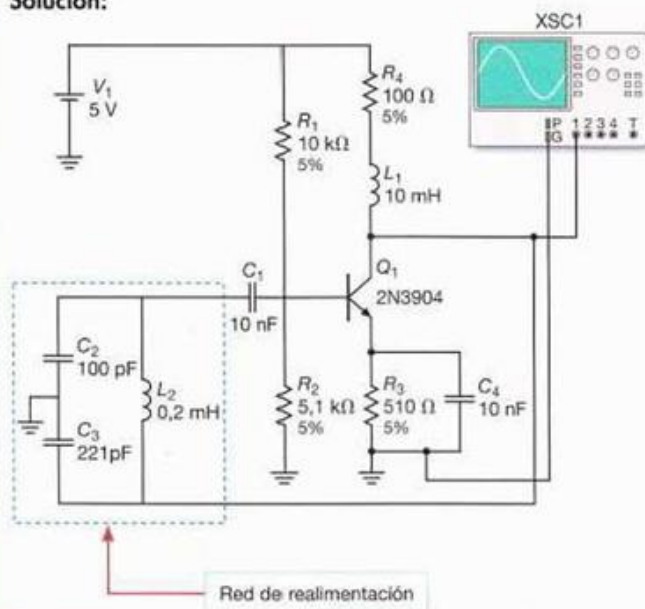


Fig. 10.13.

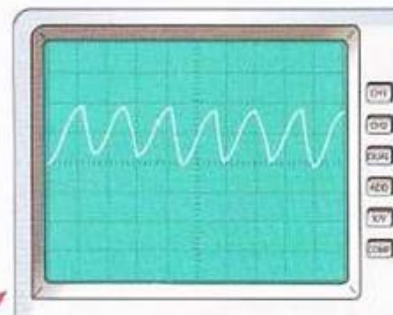


Fig. 10.14.

Visualización de la señal obtenida en la salida del oscilador. Según la lectura obtenida en el osciloscopio, la señal tiene una frecuencia de 1,31 MHz (el periodo se obtiene multiplicando 1,5 divisiones por la base de tiempos situada en 500 ns por división).

Para calcular el valor teórico de la frecuencia aplicamos las fórmulas. El valor de la capacidad equivalente será:

$$C = \frac{100 \cdot 221}{100 + 221} = 68,84 \text{ pF}$$

Para calcular la frecuencia, sustituimos los valores y nos queda:

$$f = \frac{1}{2 \cdot \pi \sqrt{0,2 \cdot 10^{-3} \cdot 68,84 \cdot 10^{-12}}} = 1,35 \text{ MHz}$$

- El **oscilador Hartley** tiene una red de realimentación formada por un condensador y dos bobinas dispuestos tal y como se ve en la Figura 10.15.

La frecuencia que proporciona en la señal de salida se calcula mediante la siguiente fórmula:

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

El funcionamiento del oscilador Hartley es igual que el de Colpitts, con la única diferencia de que en la red de realimentación se sustituyen los condensadores que aparecían en el Colpitts por bobinas.

C. Oscilador de cristal de cuarzo

Los **osciladores de cristal de cuarzo** se utilizan para la generación de altas frecuencias, ya que presentan mayor estabilidad de la frecuencia que tienen a su salida.

Pueden encontrarse en los microprocesadores y microcontroladores para generar impulsos de reloj sobre los cuales se basa toda la sincronización del sistema. También se usan en relojes, emisores y receptores de radio, telefonía móvil, micrófonos inalámbricos, etc.

El cristal (Xtal) actúa como una bobina grande en serie con un pequeño condensador. Por ello, la frecuencia de resonancia casi no se ve afectada por el amplificador ni las capacidades parásitas.

El causante de la vibración de un cristal de cuarzo es el **efecto piezoeléctrico**, por el cual, al aplicar una tensión al cristal, este vibra según la frecuencia de la tensión aplicada. Y, de forma inversa, si se los obliga a que vibren, generan una tensión alterna de la misma frecuencia.

El aspecto real de un cristal de cuarzo es el que se muestra en la Figura 10.16.

El **circuito eléctrico** equivalente de un cristal es el siguiente (Fig. 10.17):

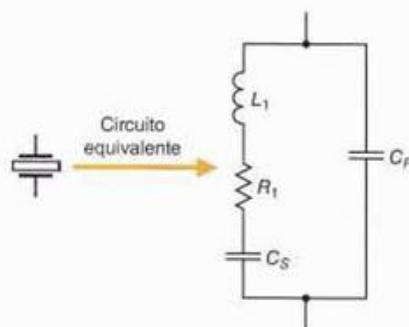


Fig. 10.17. Esquema eléctrico de un oscilador de cuarzo.

Si el cristal no está vibrando, equivale a la capacidad C_p (son dos placas metálicas separadas por un dieléctrico). Cuando vibra, se produce la frecuencia de resonancia para la que está fabricado.

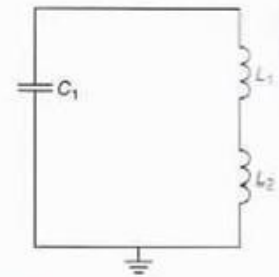


Fig. 10.15. Composición de la red de realimentación del oscilador Hartley.

Importante

El **símbolo** para representar el oscilador de cristal de cuarzo en los esquemas electrónicos es:



Fig. 10.16. Ejemplos de cristales de cuarzo.

¿Sabías que...?

Además del cuarzo, existen otros materiales con **propiedades piezoeléctricas**, como la turmalina, mineral que se encuentra en la naturaleza; la sal de Rochelle; y otros materiales obtenidos a base de compuestos, tales como los materiales cerámicos.

Caso práctico 4: Análisis de un oscilador de cristal de cuarzo

El transmisor de una emisora de radio tiene en su etapa de salida un oscilador con un cristal de cuarzo como muestra la Figura 10.18. Realiza el montaje del mismo en una placa BOARD para comprobar cuál es su funcionamiento.

Solución:

El circuito es una variante de un oscilador de Colpitts, en el que la bobina ha sido reemplazada por un cristal de cuarzo como elemento resonante.

La frecuencia del oscilador viene ahora determinada por la frecuencia de fabricación del cristal. En este caso, como el cristal es de 1,5 MHz, esa será la frecuencia que obtenemos a la salida, una vez que el oscilador se haya estabilizado.

Si comprobamos en un osciloscopio la señal de salida que obtenemos, tendremos:

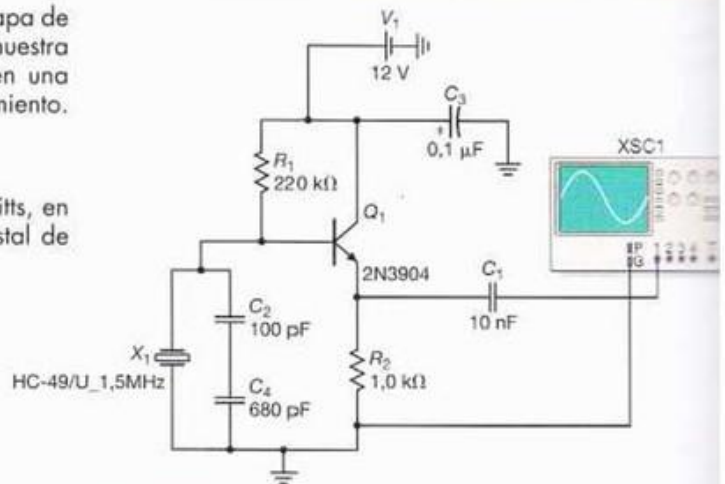


Fig. 10.18.

Nos fijamos en la base de tiempos para comprobar la frecuencia de la señal de salida que obtenemos.

Como está colocada en 500 ns/div, y el periodo de señal ocupa 1,4 divisiones, el resultado que nos da es $7 \cdot 10^{-7}$ s, que se corresponde con una frecuencia de 1,428 MHz.

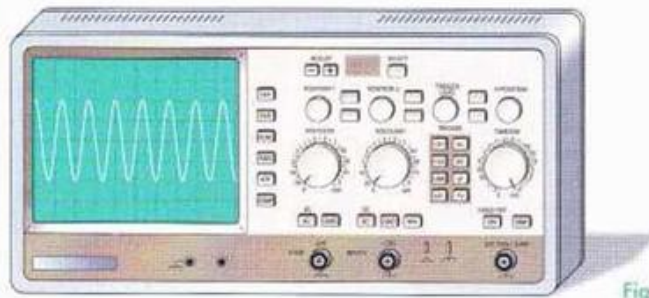


Fig. 10.19.

Actividades

2. En el siguiente esquema eléctrico de radiocontrol, identifica el cristal de cuarzo.

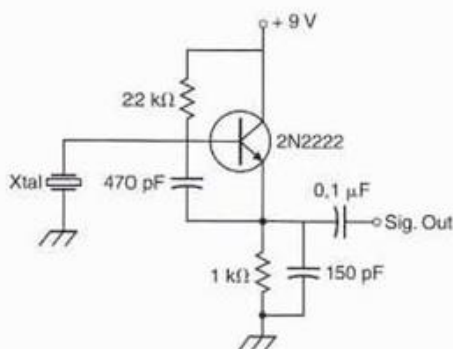


Fig. 10.20.

3. Monta el esquema de la figura anterior con un cristal de cuarzo e indica la frecuencia de salida.

4. Identifica en la siguiente placa de ordenador el cristal de cuarzo:



Fig. 10.21.

5. Busca en la hoja del fabricante las características de este oscilador de cuarzo de un micro:



Fig. 10.22.

2.2. Osciladores no senoidales

Los **osciladores no senoidales** se caracterizan por obtener a la salida una forma de onda no senoidal. Trabajan en conmutación, por lo que generan una forma de onda cuadrada. También reciben el nombre de **multivibradores** u **osciladores de relajación**.

Se utilizan en alarmas electrónicas, circuitos digitales, microprocesadores, etc.

- Dentro de los osciladores que generan señales digitales se pueden encontrar tres tipos:
 - **Multivibradores monoestables:** dan lugar a los circuitos temporizadores.
 - **Multivibradores biestables:** se emplean con mucha frecuencia en los circuitos secuenciales de electrónica digital.
 - **Multivibradores astables:** dan lugar a los circuitos osciladores.
- Los **multivibradores monoestables** se caracterizan por poseer un estado de conducción estable una vez aplicada una señal externa. Transcurrido cierto tiempo, que viene determinado por los componentes del circuito, vuelve al estado inicial.

Este tipo de circuitos pueden ser utilizados como **temporizadores** (lo analizaremos en el apartado 3 de esta unidad).

- Los **multivibradores biestables** se caracterizan por poseer dos estados estables de conducción. Mientras no se aplique un disparo externo, permanece en uno de los dos estados, saliendo de él al aplicar un nuevo impulso.

También se los conoce con el nombre de flip-flop, y tienen gran aplicación en los circuitos que utilizan técnicas digitales. En la Unidad 14 estudiaremos más a fondo este tipo de circuitos.

- Los **multivibradores astables** son los circuitos utilizados para generar oscilaciones. No tienen ningún estado estable, por lo que, una vez puestos en marcha, generan un estado de oscilación ininterrumpida.

A la salida proporcionan una onda cuadrada, con dos tiempos distintos en el periodo, controlados por R_2 y C_1 , y R_3 y C_2 .

En su implementación se pueden utilizar componentes analógicos (transistores) y componentes digitales (como por ejemplo las puertas lógicas, que estudiaremos en la Unidad 12).

Vocabulario

Estado estable. En un circuito, es el estado en el que puede permanecer durante tiempo indefinido si no se producen cambios en las condiciones de funcionamiento.

*Temporizador
estable
circuito
pulsador*

Caso práctico 5: Análisis de un multivibrador astable realizado con transistores

El oscilador local de un aparato de radio está formado por un circuito monoestable, construido con transistores como el de la Figura 10.23.

Monta o simula el circuito y comprueba la señal que se obtiene en la salida del mismo.

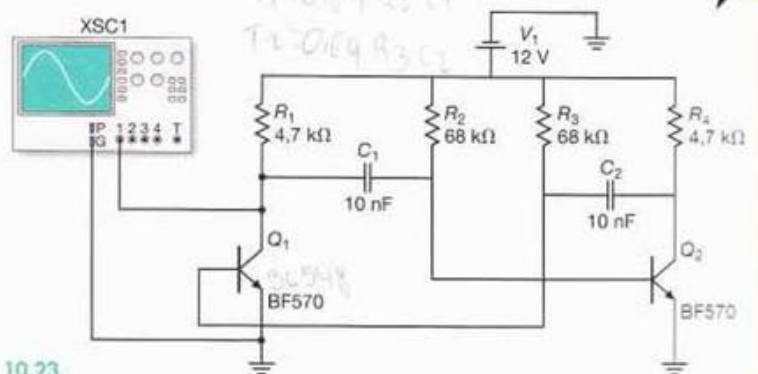


Fig. 10.23.

(Continúa)

Caso práctico 5: Análisis de un multivibrador astable realizado con transistores

(Continuación)

Solución:

Este es el esquema que vamos a utilizar en el simulador. Hemos colocado el osciloscopio en la salida del oscilador, y la señal que obtenemos es la que se muestra en la Figura 10.24.

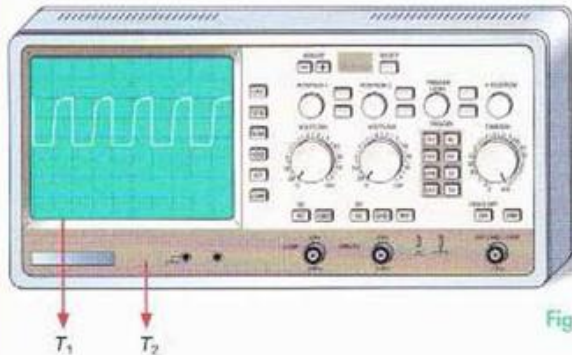


Fig. 10.24.

Si cambiamos los valores de R_4 y C_2 modificamos el tiempo en el que la señal está a nivel alto, y obtenemos una onda como la que vemos en la Figura 10.25.

T_1 es el tiempo que está la señal a nivel alto, y T_2 es el tiempo que está a nivel bajo. En este caso, T_1 y T_2 son iguales, puesto que los valores de R_2 y R_4 , y los de C_1 y C_2 , también lo son.

Si medimos la señal obtenida, el periodo $T = T_1 + T_2$ será:

$$1,8 \text{ div} \cdot 500 \mu\text{s/div} = 900 \mu\text{s}$$

Luego cada intervalo de tiempo será igual a $450 \mu\text{s}$.

Calculando este tiempo, nos queda:

$$T_1 = T_2 = 0,69 \cdot 68 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 10^{-9} = 460 \mu\text{s}$$

Por tanto, los dos tiempos, el calculado y el medido, son prácticamente iguales.

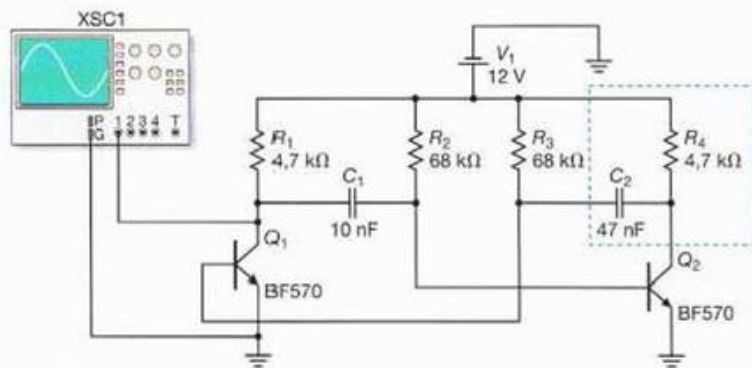


Fig. 10.25.

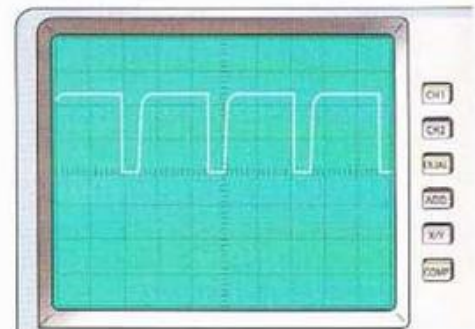


Fig. 10.26.

A. Osciladores no senoidales integrados

Además de poder realizar circuitos multivibradores con los componentes discretos, los podemos encontrar integrados en un único chip.

Uno de los chips de este tipo más utilizado es el **oscilador c. i. 555**, que se usa principalmente como temporizador, aunque combinándolo con otros componentes electrónicos se puede utilizar también como:

- Circuito detector de impulsos.
- Modulador de una señal en amplitud (AM).

El aspecto de un c. i. 555 es el que se muestra en la Figura 10.27.



Fig. 10.27. Chip y patillaje del c. i. 555.

Web

En el siguiente enlace puedes consultar la hoja de características de un circuito integrado 555:

<http://www.national.com/mpf/LM/LM555.html>

El **diagrama de bloques funcionales** implementados por los componentes electrónicos con los que está construido el temporizador c. i. 555 es el siguiente:

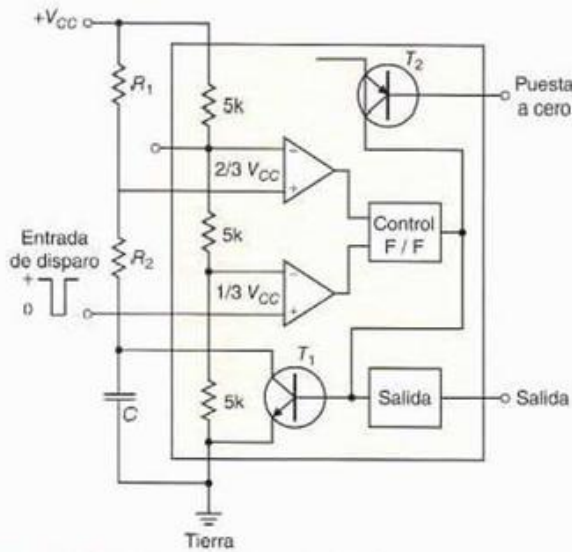


Fig. 10.28. Diagrama interno del c.i. 555.

Las dos aplicaciones fundamentales de este tipo de circuitos integrados son la utilización como **generador de ondas** (configuración astable) y como **temporizador** (configuración monoestable). Los tiempos de las señales que se generan en cada uno de los casos se controlan con las resistencias y condensadores que se añaden en las patillas del circuito (en la Figura 10.28 se corresponden con las resistencias R_A y R_B y el condensador C).

Si la configuración es como astable (generador de señal), el circuito será el siguiente (Fig. 10.29):

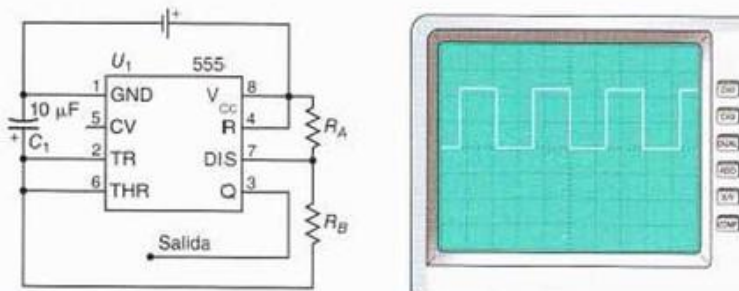


Fig. 10.29. Configuración como astable y señal de salida que origina.

Este circuito genera a su salida, como vemos, una onda cuadrada, cuyos tiempos de nivel alto y nivel bajo se controlan con R_A, R_B y el condensador C₁. Las fórmulas que se utilizan para calcular estos tiempos son las siguientes:

$$T_1 = (R_A + R_B) \cdot C_1 \cdot 0,693$$

$$T_2 = R_B \cdot C_1 \cdot 0,693$$

Donde T₁ es el tiempo que la salida permanece a nivel alto y T₂ el tiempo que la salida permanece a nivel bajo.

Vocabulario

Ciclo de trabajo de una señal cuadrada. Se define como la relación que existe entre la anchura de la señal cuando se encuentra a nivel alto y la anchura de la señal a nivel bajo.

Se suele indicar como porcentaje que establece, en un período de la señal, el tiempo que esta se encuentra a nivel alto.

Así, por ejemplo, si una señal tiene un período de 1 s, y un ciclo de trabajo del 80%, significa que la duración del tiempo a nivel alto será de 0,8 s.

V = 0,8 / 1 = 0,8 = 80%
Ciclo de trabajo = tiempo a nivel alto / tiempo total
= 0,8 / 1 = 0,8 = 80%
f = 1 / T = 1 / 1 = 1 Hz

¿Sabías que...?

El c.i. 555 se puede encontrar en un chip de 14 patillas que contiene dos circuitos de este tipo. Este chip se denomina 556.

Caso práctico 6: Análisis de un oscilador realizado con un circuito integrado 555

El circuito de la Figura 10.30 muestra un oscilador digital. Analiza su funcionamiento.

Solución:

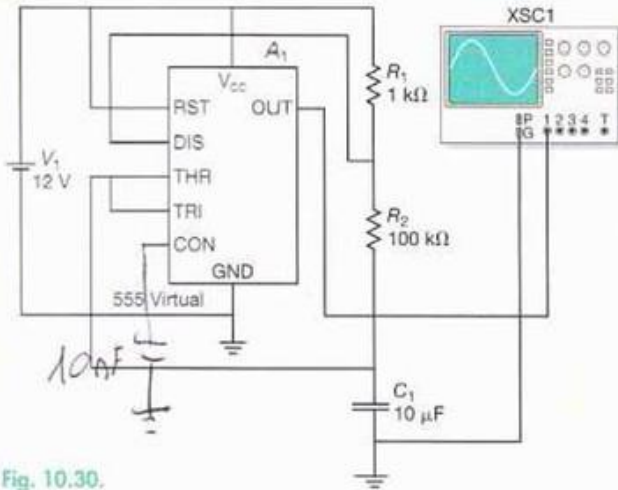


Fig. 10.30.

La señal que obtenemos en el osciloscopio es la que se muestra en la Figura 10.31.

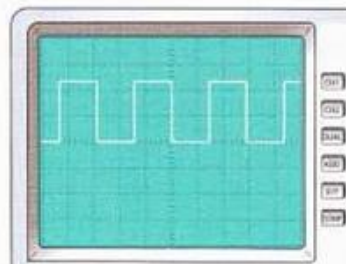


Fig. 10.31.

Según la escala de tiempos, obtenemos la siguiente medida:

$$T_1 = 1,4 \text{ div} \cdot 500 \text{ ms/div} = 0,7 \text{ s}$$

$$T_2 = 1,4 \text{ div} \cdot 500 \text{ ms/div} = 0,7 \text{ s}$$

Los tiempos T_1 y T_2 se calculan con las fórmulas vistas anteriormente. Como lo habitual en el diseño del circuito será que C_1 se elija arbitrariamente, y T_1 y queremos conseguir T_2 , las fórmulas inferiores muestran cómo calcular R_A y R_B a partir de tales premisas:

$$T_1 = (R_A + R_B) \cdot C_1 \cdot 0,693 \quad R_B = \frac{T_2}{C_1 \cdot 0,693}$$

$$T_2 = R_B \cdot C_1 \cdot 0,693 \quad R_A = \frac{T_1}{C_1 \cdot 0,693} - R_B$$

En nuestro circuito estos tiempos serán (aproximando las fórmulas):

$$T_1 = R_B \cdot C_1 \cdot 0,7 = 100 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 10^6 \cdot 0,7 = 0,7 \text{ s}$$

$$T_2 = (R_A + R_B) \cdot C_1 \cdot 0,7 = 0,707$$

Como vemos, coinciden con las medidas del osciloscopio.

Actividad

6. El circuito que muestra la Figura 10.32 corresponde a un montaje con un circuito integrado 555. Simúlalo en el ordenador, conecta a su salida un osciloscopio y responde a las siguientes preguntas:

- A la vista de la señal obtenida, ¿de qué tipo de circuito se trata?
- Captura la pantalla de la señal en el osciloscopio y detalla los valores de las medidas que obtienes en dicha señal de salida.
- Explica la función del transistor R_1 , R_2 , C_1 , de los diodos 1N4148 y de los condensadores C_1 y C_2 en el circuito.
- ¿En qué patilla del c.i. 555 van conectados los elementos del apartado c)?

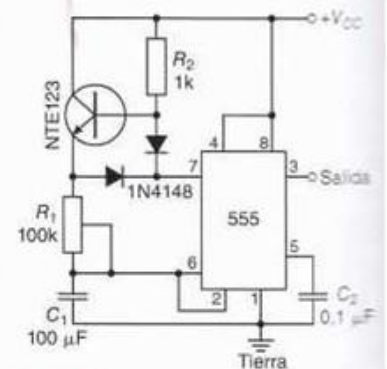


Fig. 10.32.

Caso práctico 7: Análisis de la hoja de características del circuito integrado 555

Solución:

Sobre la hoja de características de un circuito integrado 555 vamos a analizar los principales parámetros que debemos considerar cuando vayamos a utilizar este componente en un circuito.

Connection Diagram

Ordering Information

Package	Part Number	Package Marking	Media Transport	NSC Drawing
8-Pin SOIC	LM555CM	LM555CM	Reels	M05A
	LM555CMX	LM555CM	2.5k Units Tape and Reel	
8-Pin MSOP	LM555CMM	Z55	1k Units Tape and Reel	M1A06A
	LM555CMMX	Z55	3.5k Units Tape and Reel	
8-Pin MDP	LM555CN	LM555CN	Reels	NO0E

Nos muestra la disposición de las patillas del integrado y el diagrama interno del mismo.

Diferentes posibilidades a la hora de comprar el integrado (cómo viene marcado, etc.).

Características eléctricas.

Electrical Characteristics (Notes 1, 2)
($T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_{CC} = +5\text{V}$ to $+15\text{V}$, unless otherwise specified)

Parameter	Conditions	Limits LM555C			Units	
		Min	Typ	Max		
Supply Voltage		4.5		16	V	
Supply Current	$V_{CC} = 5\text{V}$, $I_O = 0$ $V_{CC} = 15\text{V}$, $I_O = 0$ (Low State) (Note 4)		3 10	6 15	mA	
Timing Error, Monostable			1		%	
Initial Accuracy	$R_A = 1\text{k}$ to $100\text{k}\Omega$ $C = 0.1\mu\text{F}$, (Note 5)		50		ppm/°C	
Accuracy over Temperature			1.5		%	
Drift with Supply			0.1		%/V	
Timing Error, Astable			2.25		%	
Initial Accuracy	$R_A, R_B = 1\text{k}$ to $100\text{k}\Omega$ $C = 0.1\mu\text{F}$, (Note 5)		150		ppm/°C	
Accuracy over Temperature			3.0		%	
Drift with Supply			0.30		%/V	
Threshold Voltage			0.667		$\times V_{CC}$	
Trigger Voltage	$V_{CC} = 15\text{V}$ $V_{CC} = 5\text{V}$		5 1.67		V	
Trigger Current			0.5	0.9	μA	
Reset Voltage			0.5	1	V	
Reset Current			0.4	0.5	μA	
Threshold Current	(Note 6)		0.1	0.4	mA	
Control Voltage Level	$V_{CC} = 15\text{V}$ $V_{CC} = 5\text{V}$		9 2.6	10 3.33	11 4	V
Pin 7 Leakage Output High			1	100	nA	

Tensión de alimentación mínima y máxima que soporta el circuito.

Corriente de alimentación con las condiciones de funcionamiento especificadas.

Errores de tiempos cuando funciona como monoestable y como astable.

Tensión umbral.

Tensión de disparo del circuito.

Electrical Characteristics (Notes 1, 2) (Continued)
($T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_{CC} = +5\text{V}$ to $+15\text{V}$, unless otherwise specified)

Parameter	Conditions	Limits LM555C			Units
		Min	Typ	Max	
Output Voltage Drop (Low)	$V_{CC} = 15\text{V}$ $I_{OHL} = 10\text{mA}$		0.1	0.25	V
	$I_{OHL} = 50\text{mA}$		0.4	0.75	V
	$I_{OHL} = 100\text{mA}$		2	2.5	V
	$I_{OHL} = 200\text{mA}$		2.5		V
	$V_{CC} = 5\text{V}$ $I_{OHL} = 5\text{mA}$ $I_{OHL} = 5\text{mA}$		0.25	0.35	V
Output Voltage Drop (High)	$I_{OHL} = 200\text{mA}$, $V_{CC} = 15\text{V}$		12.3		V
	$I_{OHL} = 100\text{mA}$, $V_{CC} = 15\text{V}$		13.75		V
	$V_{CC} = 5\text{V}$		2.75	3.3	V
Rise Time of Output			100		ns

Voltajes de salida a nivel alto y bajo.

3. Circuitos temporizadores

Importante
 Todos los temporizadores necesitan una **señal de disparo** que los ponga en marcha.

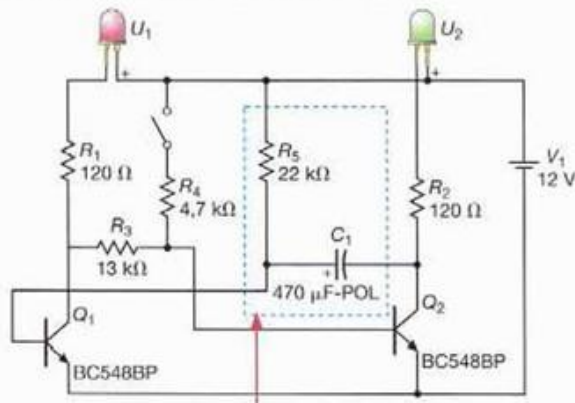
Como ya hemos comentado, un temporizador es un sistema de control de tiempo que se utiliza para activar o desactivar un circuito o un equipo en uno o más momentos determinados. Son los circuitos denominados **monoestables**, de los que contamos con dos tipos: los realizados con componentes discretos y los realizados a partir del c. i. 555.

3.1. Temporizadores con componentes discretos

Son circuitos monoestables, caracterizados por poseer un estado de conducción estable una vez aplicada una señal externa (señal de disparo). Transcurrido cierto tiempo, que viene determinado por los componentes del circuito, vuelven al estado inicial.

Caso práctico 8: Análisis de un multivibrador monoestable

El circuito de la Figura 10.33 es el equivalente de un circuito de temporización. Realiza la simulación en el ordenador y comprueba su funcionamiento.



Fijan el tiempo del estado metaestable.

Fig. 10.33.

Solución:

Hemos puesto los diodos LED para comprobar el funcionamiento. Si no accionamos el interruptor, permanecerá encendido indefinidamente el diodo rojo. Esto representa el estado estable del multivibrador. Si cerramos el interruptor, y lo volvemos a abrir, se apagará el diodo rojo y se encenderá el verde, lo que indica que hemos pasado al estado metaestable (no estable) del circuito. Permanecerá así durante un tiempo que viene determinado por la resistencia R_5 y el condensador, según la fórmula:

$$T = 0,69 \cdot R_5 \cdot C_1 = 0,69 \cdot 22 \cdot 10^3 \cdot 470 \cdot 10^{-6} = 7,13 \text{ s}$$

Si en el lugar en el que está colocado el diodo ponemos cualquier otro receptor (un motor eléctrico, por ejemplo) permanecerá funcionando durante 7,13 segundos, y después dejará de funcionar hasta que se produzca un nuevo disparo del circuito mediante el interruptor que está en serie con R_4 .

3.2. Temporizador con el c.i. 555

En la configuración como temporizador de este integrado, el esquema del circuito básico es el siguiente (Fig. 10.34):

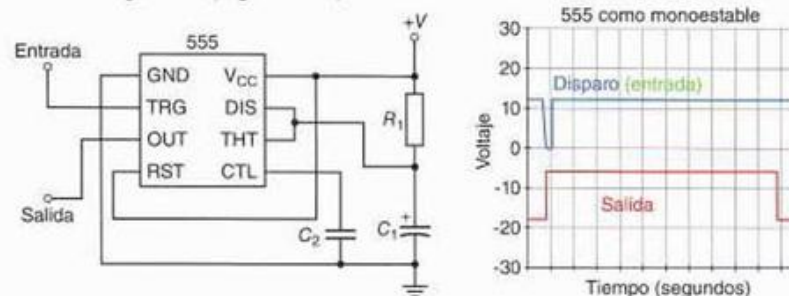


Fig. 10.34. Esquema de un c. i. 555 como monoestable. Señal de salida que origina.

Se origina un solo pulso, cuya duración depende del resistor R_1 y del condensador C_1 . Esta duración se calcula a través de la siguiente fórmula:

$$T = 1,1 \cdot R_1 \cdot C_1 \text{ (en segundos)}$$

Práctica final: Generación de una onda cuadrada con el circuito integrado 555

1. Objetivo

Comprobar que, con un c. i. 555 funcionando como multivibrador astable, podemos obtener una onda cuadrada en la que se puede controlar la duración del ciclo de trabajo. El circuito es el siguiente:

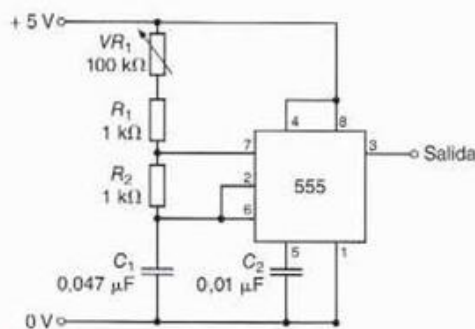


Fig. 10.35.

2. Materiales

- Fuente de alimentación de 5 V.
- Placa BOARD para el montaje del circuito.
- 2 resistencias de 1 kΩ y un potenciómetro de 100 kΩ.
- Un condensador de 0,01 μF.
- Un condensador de 0,047 μF.
- Un c. i. 555 y su hoja de características.
- Osciloscopio.
- Cables.

3. Técnica

1. Realizar el montaje del esquema anterior con esos valores de resistencias y condensadores ajustando el potenciómetro. Conectar el osciloscopio y observar la señal de salida (Fig. 10.37).

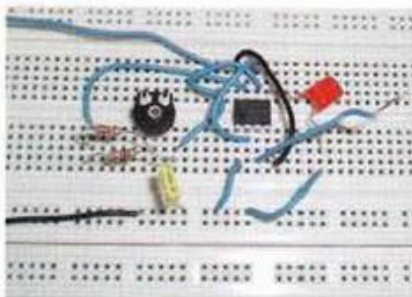


Fig. 10.37.

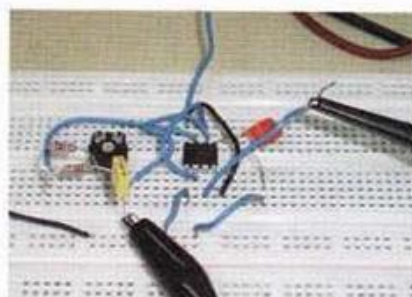


Fig. 10.38.



Fig. 10.39.

2. Dibujar la señal obtenida en el punto anterior en el cuaderno y poner los parámetros de la misma.
3. Realizar la misma operación que en el punto 1 con un valor de resistencias de 3 kΩ, ajustar el potenciómetro y observar la señal obtenida en la salida con el osciloscopio (Fig. 10.39).
4. Dibujar la señal obtenida en el punto 3 en el cuaderno, y compararla con la señal obtenida en el punto 2 (Fig. 10.38).
5. Cambiar los valores, a partir de los indicados en la tabla inferior, y observar que se aproxima al valor de la frecuencia de la señal de salida (Fig. 10.39):

Tabla orientativa			
C_1	$R_2 = 10\text{ k}$ $R_1 = 1\text{ k}$	$R_2 = 100\text{ k}$ $R_1 = 10\text{ k}$	$R_2 = 1\text{ M}$ $R_1 = 100\text{ k}$
0,001 μF	68 kHz	6,8 kHz	680 Hz
0,01 μF	6,8 kHz	680 Hz	68 Hz
0,1 μF	680 Hz	68 Hz	6,8 Hz
1 μF	68 Hz	6,8 Hz	0,68 Hz
10 μF	6,8 Hz	0,68 Hz	0,068 Hz



T_m = Marca; T_s = Espacio; T = Tiempo

Fig. 10.36.

4. Cuestiones

- a) ¿Por qué varía la frecuencia al cambiar el valor del potenciómetro?
- b) Analiza la tabla anterior y explica por qué varía la frecuencia al cambiar el valor de las resistencias y el condensador.



Test de repaso

1. Un oscilador RC está formado por:
 - a) Resistencias y bobinas.
 - b) Resistencias y condensadores.
 - c) Bobinas y condensadores.
 - d) Ninguna es correcta.
2. Un oscilador LC está formado por:
 - a) Resistencias y bobinas.
 - b) Resistencias y condensadores.
 - c) Bobinas y condensadores.
 - d) Ninguna es correcta.
3. Un tipo de oscilador RC es:
 - a) Un oscilador de Hartley.
 - b) Un oscilador de Colpitts.
 - c) Un oscilador de desplazamiento de fase.
 - d) Ninguna es correcta.
4. Un oscilador RC genera a su salida una:
 - a) Onda triangular.
 - b) Onda cuadrada.
 - c) Onda rectangular.
 - d) Onda senoidal.
5. Un oscilador se utiliza en:
 - a) Transmisión y recepción de señales de televisión.
 - b) Generación de onda senoidal.
 - c) Generación de onda cuadrada.
 - d) Todas son correctas.
6. Un multivibrador monoestable es un circuito que:
 - a) Mantiene un estado de conducción una vez aplicada una señal externa.
 - b) Posee dos estados estables.
 - c) No posee dos estados estables.
 - d) Ninguna es correcta.
7. Un multivibrador biestable es un circuito que:
 - a) Mantiene un estado de conducción una vez aplicada una señal externa.
 - b) Posee dos estados estables.
 - c) No posee dos estados estables.
 - d) Ninguna es correcta.
8. Un multivibrador astable es un circuito que:
 - a) Mantiene un estado de conducción una vez aplicada una señal externa.
 - b) Posee dos estados estables.
 - c) No posee dos estados estables.
 - d) Ninguna es correcta.
9. Un temporizador c. i. 555 funciona como:
 - a) Multivibrador astable.
 - b) Multivibrador monoestable.
 - c) Multivibrador biestable.
 - d) Ninguna es correcta.
10. Un oscilador c. i. 555 funciona como:
 - a) Multivibrador astable.
 - b) Multivibrador monoestable.
 - c) Multivibrador biestable.
 - d) Ninguna es correcta.
11. Los circuitos que generan señales que sirven para activar y desactivar circuitos durante un determinado tiempo son los:
 - a) Osciladores.
 - b) Temporizadores.
 - c) Memorizadores.
 - d) Ninguna es correcta.
12. El circuito integrado o chip 555 es un:
 - a) Oscilador no senoidal integrado.
 - b) Temporizador.
 - c) Generador de onda cuadrada.
 - d) Todas son correctas.

Soluciones: 1b, 2c, 3c, 4d, 5d, 6a, 7b, 8c, 9b, 10a, 11b, 12d.

Comprueba tu aprendizaje

Describir los parámetros y características fundamentales de los circuitos osciladores y temporizadores

Identificar los componentes, asociándolos con su símbolo, de los circuitos osciladores y temporizadores

1. Explica el funcionamiento de un oscilador Hartley y un oscilador de cristal de cuarzo.
2. Identifica, en los siguientes circuitos, de qué tipo de oscilador se trata.

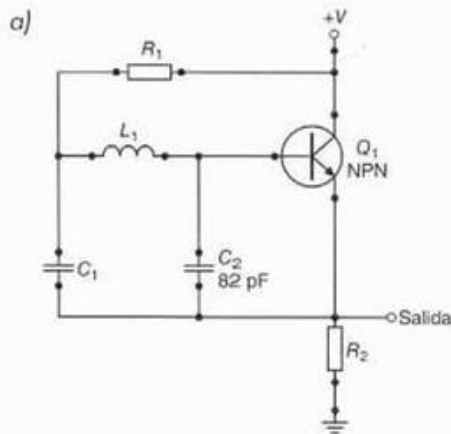


Fig. 10.40.

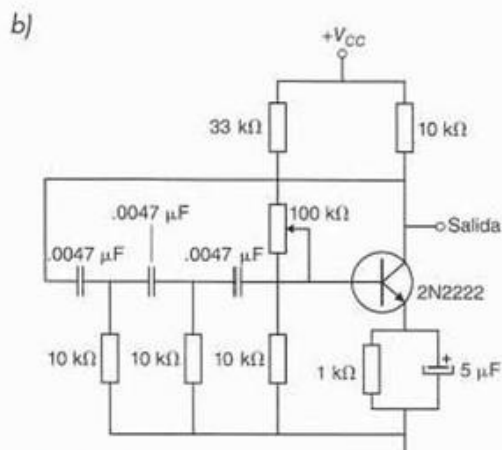


Fig. 10.41.

c)

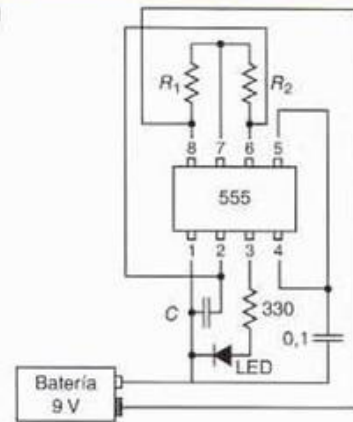


Fig. 10.42.

3. Identifica, de los circuitos anteriores, cuál es la realimentación y cuál el amplificador.
4. Identifica el tipo de circuito oscilador en la siguiente placa, dibuja el esquema, e indica la fórmula de la frecuencia de resonancia.

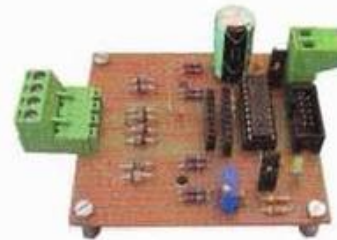


Fig. 10.43.

5. Identifica, en la siguiente placa, el chip 555:

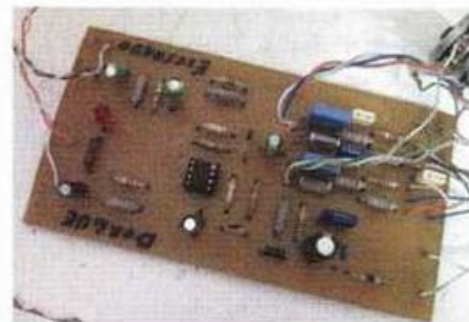


Fig. 10.44.

Dibuja un posible esquema para el circuito que tienes en la placa de la Figura 10.44, según los componentes que puedes ver, indicando:

- El tipo de funcionamiento del circuito.
- Suponiendo que es un astable, explica qué resistores podrían ser los que fijan los tiempos del ciclo de trabajo.

Comprueba tu aprendizaje

6. El circuito de la Figura 10.45 es un temporizador:

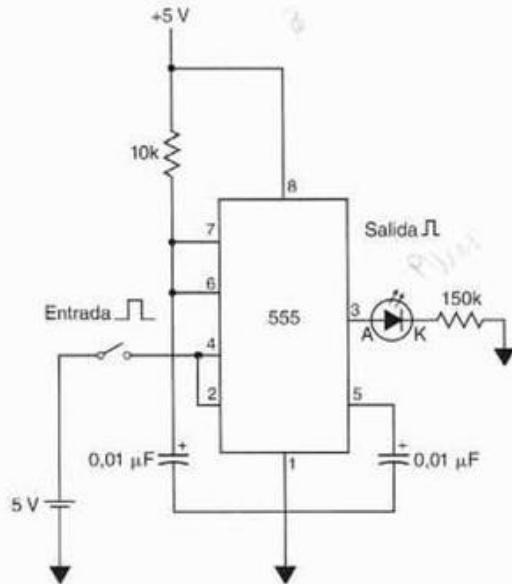


Fig. 10.45.

Calcula el tiempo que dura el estado no estable del circuito.

Según los componentes que tiene conectados, ¿para qué nos puede servir el diodo LED que aparece en la patilla 3 del c. i. 555?

Montar o simular circuitos analógicos osciladores y temporizadores

Verificar y realizar medidas de los circuitos osciladores y temporizadores

7. Monta o simula los circuitos b) y c) del ejercicio 2 y averigua la forma de onda obtenida a la salida calculando la frecuencia de resonancia en la práctica y aplicando la fórmula teórica (consulta para ello la hoja de características de los componentes).
8. Calcula del ejercicio 2 a) la frecuencia de resonancia con un valor de $C_1 = 0,01 \text{ mF}$ y un valor de $L_1 = 0,1 \text{ mH}$.
9. Del ejercicio 2 a), halla la frecuencia de resonancia con un valor de $C_1 = 2 \text{ } \mu\text{F}$ y un valor de $L_1 = 33 \text{ mH}$.
10. ¿Qué diferencias observas entre los ejercicios 8 y 9? ¿Qué valor de la frecuencia de resonancia es mayor? ¿Por qué?

11. Monta o simula el siguiente circuito y comprueba su funcionamiento:

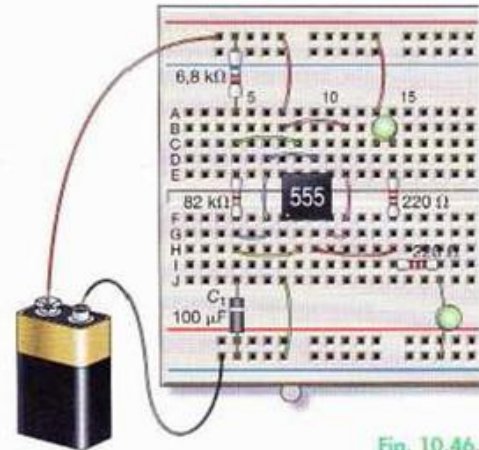


Fig. 10.46.

12. Monta o simula el siguiente circuito y explica su funcionamiento:

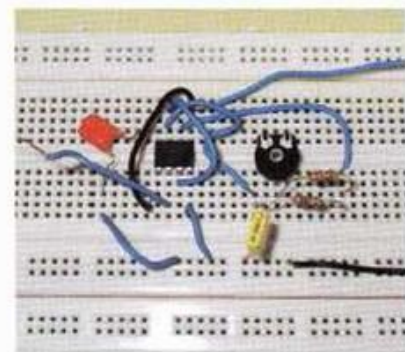


Fig. 10.47.

Describir aplicaciones reales de los circuitos analógicos osciladores y temporizadores

13. Busca en Internet aplicaciones para telecomunicaciones de los circuitos temporizadores con el c. i. 555.
14. Busca en Internet aplicaciones para telecomunicaciones del c. i. 555 utilizado como oscilador.
15. Enumera varias aplicaciones del oscilador de cristal de cuarzo.
16. Busca en Internet aplicaciones para telecomunicaciones de los circuitos osciladores RC y anótalas en tu cuaderno.
17. Busca aplicaciones para telecomunicaciones de los circuitos osciladores LC y anótalas en tu cuaderno.

Importante

En el interior de la denominada CPU de un ordenador encontrarás su fuente de alimentación:



1. Fuentes de alimentación

La **fente de alimentación** se encarga, básicamente, de transformar la corriente alterna de la línea eléctrica en corriente continua.

Además, la fuente de alimentación también suministra la cantidad de corriente y voltaje que los dispositivos requieren, y los protege de posibles subidas de voltaje en el suministro eléctrico.

Entre las **aplicaciones** de las fuentes de alimentación en telecomunicaciones, destacar las empleadas en los ordenadores y en los reproductores de DVD, es decir, en aquellos aparatos que funcionan con corriente continua.

Una fuente de alimentación está constituida por los siguientes **bloques**:



Para que la **tensión de salida** sea estable, basta con **agregar** un **cuarto bloque** constituido por los circuitos de regulación y estabilización. Así obtenemos una fuente de alimentación regulada y estabilizada como la que se muestra a continuación:

Recuerda

Los transformadores pueden ser elevadores, reductores o de aislamiento.

Por su parte, la **misión** de cada uno de los **bloques** de las fuentes de alimentación es:

- **Transformador:** tiene como misión, por un lado, adaptar la tensión de la red a un nivel próximo a la tensión de salida de la fuente y, por otro, proporcionar aislamiento eléctrico entre la entrada y la salida.
- **Rectificador:** transforma la corriente alterna en otra de carácter pulsatorio. Este tipo de circuitos, tal como estudiamos en la Unidad 8, están compuestos por diodos semiconductores.
- **Filtro paso bajo:** se ocupa de convertir la tensión pulsante obtenida del rectificador en una tensión lo más continua posible. Normalmente, este tipo de filtro —incluido dentro de una fuente de alimentación— está constituido por un condensador con una capacidad determinada, en función de las características de la fuente de alimentación, o por un conjunto de condensadores o inductancias (bobinas).
- **Estabilizador o regulador:** la tarea de este circuito opcional dentro de la fuente de alimentación será la de mantener lo más estable posible la tensión a la salida, cuando sea necesario. De este modo, tendremos una fuente de alimentación regulada y estabilizada.

Los componentes de una fuente de alimentación mostrados anteriormente en los esquemas poseen el siguiente aspecto (Fig. 11.1):



Fig. 11.1. Componentes de una fuente de alimentación.

2. Fuente de alimentación lineal

Tras el estudio de los transformadores y rectificadores en la Unidad 8, nos centraremos ahora en el análisis exhaustivo de los demás componentes.

2.1. Filtro paso bajo

El filtro paso bajo se encuentra a la salida del rectificador y proporciona una señal menos ondulada que con el rectificador, de ahí que el filtro se utilice para disminuir el rizado de la señal.

Podemos conseguir un filtro paso bajo poniendo un **condensador en paralelo** a la salida del filtro tal como se muestra en la Figura 11.4:

Web

En el siguiente enlace te puedes descargar un tutorial sobre fuentes de alimentación:

<http://www.abcdatos.com/tutoriales/tutorial/z1230.html>

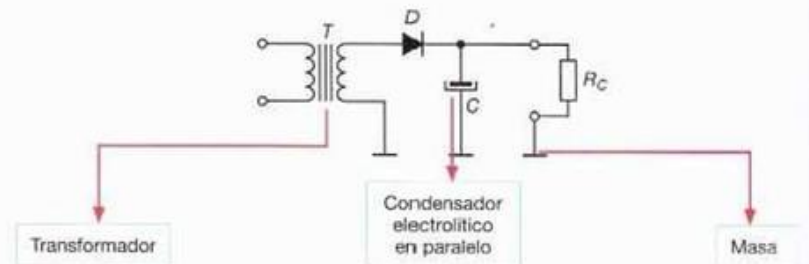


Fig. 11.4. Fuente de alimentación con filtro paso bajo de un condensador en paralelo.

También podemos realizar un filtro paso bajo con **dos condensadores** y **una resistencia** en cuyo caso este filtro es denominado filtro en pi (π), y quedaría tal como se refleja en la Figura 11.5:

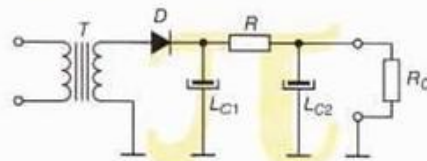


Fig. 11.5. Fuente de alimentación con filtro en π .

Por otra parte, en las fuentes de alimentación es fundamental el parámetro **factor de rizado**. El factor de rizado sirve para medir la ondulación que tiene la tensión a su salida, y se calcula como el valor eficaz del voltaje de rizado sobre el voltaje medio continuo, por 100. Se representa con la letra **r** y **no tiene unidad**. Se expresa con la siguiente fórmula:

$$r = \frac{V_{riz} \text{ (eficaz)}}{V_{med}} \cdot 100$$

Donde V_{riz} (eficaz) es la tensión de rizado eficaz; V_{med} es el valor medio de la tensión; y su unidad de medida es el voltio.

La tensión de rizado a la salida de la fuente de alimentación queda representada como se muestra en la Figura 11.6:

Recuerdo

La tensión de rizado es una pequeña ondulación que hace la señal continua que queremos obtener.

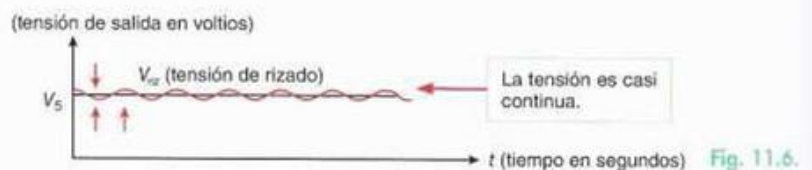


Fig. 11.6.

Existen **dos tipos** de fuentes de alimentación en función del **tipo de regulación**:

- **Fuentes de alimentación lineales.** Este tipo de fuentes siguen este esquema: transformador, rectificador, filtro, regulación y salida. En primer lugar, el transformador adapta los niveles de tensión (en este caso, reduce la tensión procedente de la red); el rectificador, por su parte, es el circuito que convierte la corriente alterna en continua; a continuación, suelen llevar un circuito que disminuye el rizado, como el filtro de condensador; finalmente, la regulación se consigue con un componente adicional que puede ser un diodo zener o un regulador integrado.
- **Fuentes de alimentación conmutadas.** Este tipo de fuentes tienen el siguiente esquema: rectificador, conmutador, transformador, otro rectificador y salida. La regulación se obtiene con el conmutador. En estas fuentes, las funciones del transformador son las mismas que en las fuentes lineales, pero su posición es diferente. A su vez, el segundo rectificador convierte la señal alterna que llega del transformador en un valor continuo. Finalmente, la salida puede ser también un filtro de condensador o uno del tipo LC (bobina-condensador).

Aunque trataremos más **extensamente** ambos tipos de fuente a lo largo de la unidad, señalaremos aquí que cada tipo de fuentes de alimentación posee distintas **ventajas**. En el caso de las fuentes lineales, poseen una mejor regulación y mayor velocidad. Por su parte, con las fuentes conmutadas se obtiene un mejor rendimiento, y su coste y tamaño son menores.

¿Sabías que...?

Las fuentes utilizadas en los ordenadores son todas conmutadas. Ofrecen salidas de distintos valores de tensión para alimentar a cada uno de los circuitos del equipo.

Actividades

1. Identifica los componentes de una fuente de alimentación estudiados hasta ahora en la Figura 11.1 y explica la misión de cada uno de ellos.
2. Identifica los componentes estudiados hasta ahora en la fuente de alimentación del siguiente esquema:

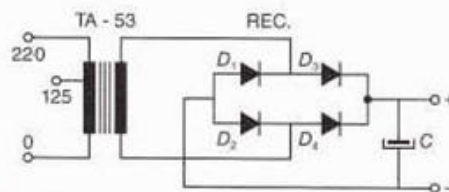


Fig. 11.2.

3. Identifica los componentes estudiados hasta ahora en la fuente de alimentación de la Figura 11.3:



Fig. 11.3.

2.2. Reguladores o estabilizadores

En la fuente de alimentación, con el objetivo de proporcionar una alimentación de mayor calidad, se hace necesario **el bloque regulador de tensión**, el cual va a proveer una tensión constante, además de disminuir el pequeño rizado que queda en la tensión tras pasar por el filtro.

El estabilizador más sencillo y utilizado con mayor frecuencia es el **diodo zener**, estudiado en la Unidad 7, acompañado por una resistencia que tiene como misión proteger al diodo.

Existen dos tipos de estabilizadores con diodo zener:

- **Estabilizador paralelo** (Fig. 11.7). Es el regulador de tensión más sencillo. Consta de una resistencia en serie con la entrada, y de un diodo zener en paralelo con la carga. El diodo zener está inversamente polarizado para fijar la tensión en carga, aprovechando la característica del zener. Si elegimos la resistencia R y las características del diodo, podemos lograr que la tensión permanezca prácticamente constante dentro del margen de la tensión de entrada.
- **Estabilizador serie** (Fig. 11.8). Consta de una resistencia en serie con la carga, y de un diodo zener en serie con la carga. Este tipo de estabilizadores también suelen emplear un transistor en serie con la carga, que se utilizará en aquellos circuitos que requieran mayores potencias.

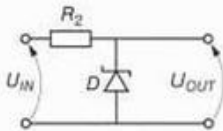


Fig. 11.7. Estabilizador paralelo.



Fig. 11.8. Estabilizador serie.

¿Sabías que...?

Existen otros tipos de reguladores en los que intervienen otros componentes, como por ejemplo los **transistores**.

En este caso, su misión es la misma que la de los reguladores estudiados.

Caso práctico 1: Identificación de los componentes de una fuente de alimentación

La fuente de alimentación de un ordenador tiene un esquema como el que se muestra en la Figura 11.9. La salida de tensión de la fuente de alimentación de la figura debe ser

de 12 V de tensión estable. Identifica los componentes, analiza la hoja de características y elige el diodo que resulte más adecuado.

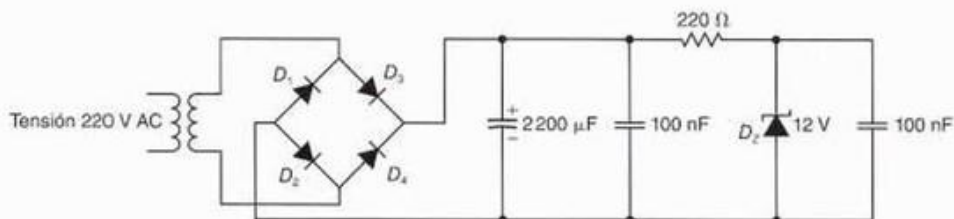


Fig. 11.9. Fuente de alimentación estabilizada con diodo zener.

Solución:

Como podemos observar, tenemos un transformador en el que el bobinado primario está conectado a la red de tensión de 220 V; a continuación hay un puente de diodos para rectificar la corriente; después un condensador electrolítico de 2200 μF para filtrar la señal proveniente

del puente; y finalmente un zener con una resistencia de 220 Ω para estabilizar la tensión.

A su vez, la hoja de características que tenemos en este caso es la siguiente:

[Continúa]

Caso práctico 1: Identificación de los componentes de una fuente de alimentación

(Continuación)

Electrical Characteristics <small>T_A = 25°C unless otherwise noted</small>									
Device	V _Z (V) @ I _Z (Note 1)			Test Current I _Z (mA)	Zener Impedance		leakage Current		I _{ZM} (mA) (Note 2)
	Min.	Typ.	Max.		Z _Z @ I _Z (Ω)	Z _{ZK} @ I _{ZK} = 250μA (Ω)	I _R (mA)	V _R (V)	
1N5085B	2.58	2.4	2.52	5	100	1800	100	1	208
1N5088B	2.565	2.7	2.835	5	100	1800	75	1	185
1N5087B	2.85	3	3.15	5	95	2000	50	1	167
1N5088B	3.135	3.3	3.465	5	95	2200	25	1	152
1N5089B	3.42	3.6	3.78	5	90	2300	15	1	139
1N5090B	3.705	3.9	4.095	5	90	2400	10	1	128
1N5091B	4.085	4.3	4.515	5	88	2500	5	1	116
1N5092B	4.465	4.7	4.935	5	70	2200	3	1.5	106
1N5093B	4.845	5.1	5.355	5	50	2050	2	2	98
1N5094B	5.32	5.6	5.88	5	25	1800	2	3	89
1N5095B	5.89	6.2	6.51	5	10	1300	1	4	81
1N5096B	6.46	6.8	7.14	5	8	750	1	5.2	74
1N5097B	7.125	7.5	7.875	5	7	600	0.5	8	67
1N5098B	7.79	8.2	8.61	5	7	600	0.5	6.5	61
1N5099B	8.645	9.1	9.555	5	10	800	0.1	7	55
1N6000B	9.5	10	10.5	5	15	600	0.1	8	50
1N6001B	10.45	11	11.55	5	18	600	0.1	8.4	45
1N6002B	11.4	12	12.6	5	22	600	0.1	9.1	42
1N6003B	12.35	13	13.65	5	25	600	0.1	9.9	38
1N6004B	14.25	15	15.75	5	32	600	0.1	11	33
1N6005B	15.2	16	16.8	5	36	600	0.1	12	31
1N6006B	17.1	18	18.9	5	42	600	0.1	14	28
1N6007B	19	20	21	5	48	600	0.1	15	25
1N6008B	20.9	22	23.1	5	55	600	0.1	17	23
1N6009B	22.8	24	25.2	5	62	600	0.1	18	21
1N6010B	25.65	27	28.35	5	70	600	0.1	21	19
1N6011B	28.5	30	31.5	5	78	600	0.1	23	17
1N6012B	31.35	33	34.65	5	88	700	0.1	25	15
1N6013B	34.2	36	37.8	5	95	700	0.1	27	14
1N6014B	37.05	39	40.95	2	130	800	0.1	30	13

Fig. 11.10. Hoja de características de los diodos zener.

En la hoja de características necesitamos localizar un diodo zener cuya tensión nominal sea de 12 V. Para ello, nos fijamos en la columna marcada como Typ. Así, el diodo a utilizar en la fuente de alimentación sería el **1N6002B**.

Actividades

4. La siguiente figura es una fuente de alimentación para un ordenador. Está estabilizada con un diodo zener. Sabiendo que su tensión de salida debe ser de 6 V, elige el diodo adecuado. Para realizarlo analiza los datos de la hoja de características del Caso práctico 1.

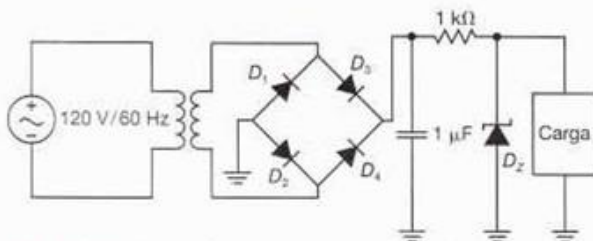


Fig. 11.11. Fuente de alimentación estabilizada con diodo zener.

5. Elige el diodo para una fuente de alimentación estabilizada como la de la Figura 11.11, que logre una tensión de 12 V a la salida de la fuente. Haz uso, para ello, de la hoja de características, y explica todos los parámetros que tiene este diodo.
6. Dibuja el esquema de una fuente de alimentación con los siguientes elementos:
- Diodos de doble onda con toma intermedia.
 - Un condensador electrolítico de 20 mF.
 - Un diodo zener del tipo 1N6008B.
 - Una carga.

Analiza la hoja de características de este diodo y señala qué tensión nominal, tensión máxima, tensión mínima e intensidad posee.

A. Reguladores integrados

Hoy en día los tipos de reguladores más frecuentes en las fuentes de alimentación son los reguladores integrados. Se caracterizan porque suelen tener **tres terminales**, uno de entrada, otro común o masa, y otro de salida. Además, tienen una capacidad de reducción del rizado muy elevada, y habitualmente solo es necesario conectarles un par de condensadores.

En el mercado existen circuitos reguladores integrados con una gran variedad de tensiones y corrientes de funcionamiento. Entre ellos, la serie más conocida de reguladores integrados es la **78xx** para **tensiones positivas**, y la serie **79xx** para **tensiones negativas**. Estos reguladores integrados (tanto los de la serie 78xx como los de la 79xx) estabilizan y limitan la corriente, disponen de protección contra cortocircuitos y permiten la obtención de salidas positivas o negativas, además de proporcionar tensiones de salida fija según el modelo.

En la Figura 11.12 se muestran varios modelos de reguladores integrados del tipo 78xx que se utilizan en las fuentes de alimentación:

78xx es la denominación de una familia de reguladores de **tensión positiva**, de tres terminales: V_i (voltaje de entrada), V_o (voltaje de salida) y la patilla central (masa o común), con especificaciones similares entre ellos y que solo difieren de un modelo a otro en la tensión de salida (V_o) suministrada y en la corriente que es capaz de proporcionar. El **valor de la corriente** que es capaz de proporcionar viene señalado por las letras que se colocan detrás de los dos primeros dígitos. Así, por ejemplo, **78xx** (sin letra) significa que la corriente de salida es de 1 amperio; en el caso de **78Lxx**, es 0,1 A. A su vez, la tensión de salida oscila entre los 5 y los 24 V, dependiendo del modelo, y está especificada por los dos últimos dígitos.

Tal como se indicaba anteriormente, la serie de reguladores de tensión positiva 78xx se complementa con la 79xx, que entrega tensiones negativas en sistemas en los que se necesiten tanto tensiones positivas como negativas, ya que la serie 78xx no puede usarse para regular tensiones negativas, sirve exclusivamente para las tensiones positivas.

Los reguladores integrados de la serie 78xx pueden ser: 7805, 7806, 7808, 7810, 7812, 7815, 7818, 7822 y 7824, y su voltaje de alimentación variará en cada regulador. En la Tabla 11.1 se muestra el voltaje de entrada y las tensiones mínima y máxima a tener en cuenta en cada caso:

Ejemplos de reguladores de la serie 78xx	Tensión mínima (V)	Tensión máxima (V)
7805	7	25
7806	8	25
7808	11	25
7810	13	28
7812	15	30
7815	18	30
7818	21	33
7822	25	36
7824	27	38

Tabla 11.1. Voltaje de los reguladores integrados de la serie 78xx.

Web @

En la siguiente página web puedes ver las hojas de características de los reguladores:

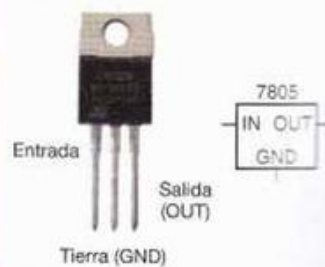
www.datasheetcatalog.net



Fig. 11.12. Reguladores integrados tipo 78xx.

Importante !

Aspecto de un regulador 7805 con los tres terminales:



Truco ?

El número **78** indica que es un regulador para tensiones positivas; el **79** es para tensiones negativas; y **xx** señala a qué voltaje regulará.

Caso práctico 2: Análisis de la hoja de características de un regulador 7809

En un ordenador tenemos una fuente de alimentación que utiliza un regulador del tipo 7809 para estabilizar la tensión de salida, tal como se muestra en la Figura 11.13. Analiza las características de este regulador.

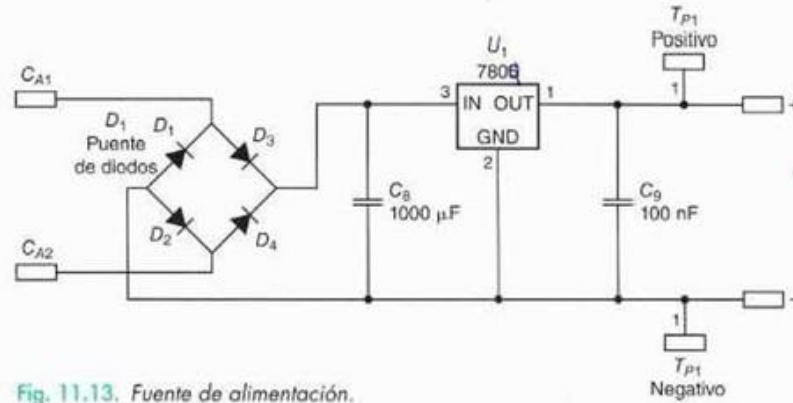


Fig. 11.13. Fuente de alimentación.

Solución:

La hoja de características es la siguiente, y sus principales caracteres los que se indican en los recuadros del margen:

UTC LM7809 ELECTRICAL CHARACTERISTICS						
(Vi=15V, Io=0.5A, Tj= 0°C - 125°C, C1=0.33µF, Co=0.1µF, unless otherwise specified)(Note 1)						
PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
Output Voltage	Vo	Tj=25°C, Io=5mA - 1.0A	8.64	9.0	9.36	V
		Vi = 11.5V to 24V, Io=5mA - 1.0A, PD<15W	8.55		9.45	V
Load Regulation	ΔVo	Tj=25°C, Io=5mA - 1.5A			90	mV
		Tj=25°C, Io=0.25A - 0.75A			45	mV
Line regulation	ΔVo	Vi = 11.5V to 25 V, Tj=25°C, PD<15W			90	mV
		Vi = 11.5V to 24V, Tj=25°C, Io<=1A			90	mV
Quiescent Current	Iq	Tj=25°C, Io<=1A			8.0	mA
Quiescent Current Change	ΔIq	Vi = 11.5V to 24V			1.0	mA
		Io=5mA - 1.0A			0.5	mA
Output Noise Voltage	VN	10Hz<=f<=100kHz		58		µV
Temperature coefficient of Vo	ΔVo/ΔT	Io=5mA		-1.1		mV/°C
Ripple Rejection	RR	Vi = 12.5V to 22.5V, f=120Hz, Tj=25°C	56	72		dB
Peak Output Current	Ipk	Tj=25°C		1.8		A
Short-Circuit Current	Isc	Vi=35V, Tj=25°C		250		mA
Dropout Voltage	Vd	Tj=25°C		2.0		V

Fig. 11.14. Hoja de características del regulador integrado 7809.

Como puedes observar, las hojas de características suelen estar redactadas en inglés, por lo que resulta necesario acostumbrarse a manejar las expresiones de los valores característicos del componente.

Actividades

7. En un ordenador portátil tenemos la fuente de alimentación que muestra la Figura 11.15. Se trata de una fuente con una salida de 12 V.

Se ha utilizado un regulador 7808. Analiza su hoja de características e indica si este regulador es válido para el ordenador portátil argumentando tu respuesta.

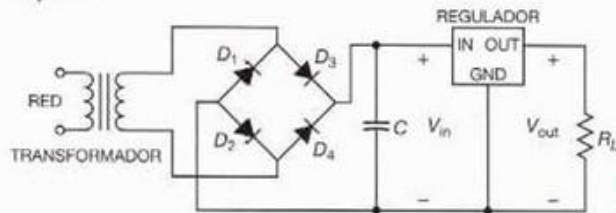


Fig. 11.15. Fuente de alimentación.

8. Realiza las siguientes tareas:

- Identifica cada uno de los elementos de la Figura 11.15.
- Cambia el regulador 7808 por un regulador 7818 y analiza su hoja de características.
- Haz lo mismo utilizando un regulador 7809.
- Señala qué diferencias observas entre estos tres reguladores en cuanto a características eléctricas. Para ello, analiza la hoja de características del fabricante.

9. Indica cuál es la misión de cada elemento del esquema de la fuente de alimentación de la Figura 11.15.

Además de los reguladores ya estudiados, hay otra serie de reguladores con los que se puede obtener una **salida variable de tensión**: el tipo LM317T (Fig. 11.16). Se emplea en aplicaciones en las que se requiere diseñar una fuente regulable de amplio margen de salida. Sus características son similares a las del tipo 78xx, es decir, para tensiones positivas, sin embargo, posee una diferencia fundamental que lo hace ideal para fuentes regulables: su **tensión de referencia** (la xx de la expresión anterior) es de sólo **1,25 V**, con lo que ofrece la posibilidad de un amplio rango de tensiones de salida.

LM317T puede proporcionar tensiones a su salida de entre 1,5 y 15 V, con una capacidad de entrega de corriente continua de hasta 1,5 A. Con el LM317 solo se obtienen 500 mA a la salida, que es suficiente para muchas aplicaciones; en caso de necesitar más intensidad, utilizaríamos el **LM317T**, que es capaz de entregar más corriente. Este dispositivo incluye **protección contra sobrecorrientes**, que evita que el circuito integrado se quemara accidentalmente debido a un cortocircuito.

El voltaje de salida depende de la posición que tenga la patilla variable del potenciómetro de 5 k Ω (kilohmios), patilla que se conecta a la patilla de ajuste del integrado (COM). Este integrado tiene el patillaje de la Fig. 11.17:

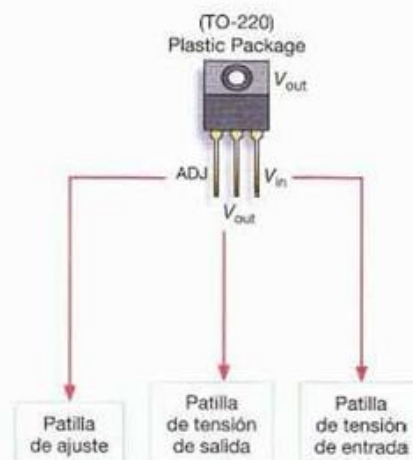


Fig. 11.17. Patillaje del regulador LM317.

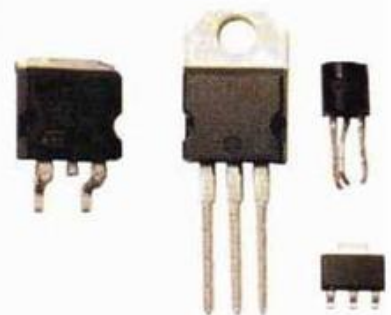


Fig. 11.16. Reguladores LM317.

Recuerda

En el esquema de una fuente de alimentación, los reguladores se encuentran después del filtro (condensador en paralelo).

Caso práctico 3: Análisis de una fuente con regulador LM317T

Identifica los componentes en la siguiente fuente de alimentación y explica cuál es la misión de cada uno de ellos.

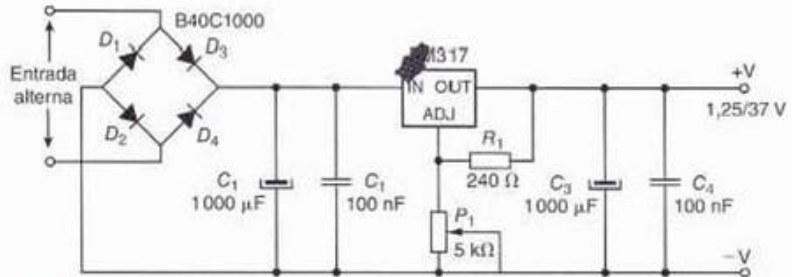


Fig. 11.18. Fuente de alimentación regulada con un regulador LM317T.

Solución:

En este montaje tenemos:

- Un transformador para reducir la tensión de 220 V a una tensión no superior a los 25 V, ya que, una vez rectificadada y filtrada la señal, obtendremos aproximadamente casi 35 V en continua, **estando cerca del límite del LM317**, que es de 40 V.
- Mediante P_1 (el **potenciómetro**) podemos ajustar la tensión de salida entre los 1,25 V (fijados por el integrado) y los 37 V de máximo.
- El rectificador es un **punto de diodos** que sigue dentro de los pasos anteriores, tiene una tensión máxima de 40 V y una intensidad máxima de 1 A.
- Otros componentes del circuito **son los condensadores C_1 y C_2 como parte del filtrado de la señal, que eliminan la señal de rizado producida por la rectificación.**
- Por su parte, los **condensadores C_3 y C_4 tienen como misión evitar posibles oscilaciones y mejorar el rizado de la señal de continua.**
- Finalmente, el **regulador de tensión ajustable**, el LM317, es capaz de regular la tensión de salida entre los 1,2 V y 30 V y una intensidad máxima de 1 A.

Consultando la **hoja de características** proporcionada por el fabricante, indica que su **intensidad máxima es superior a los 900 mA** (no indica cuánto más), siempre que se cumpla que la diferencia de tensión entre la entrada del integrado y la salida no supere los 16 V.

La información recogida en este caso práctico es comprobable analizando la hoja de características del regulador LM317 que se muestra en la página siguiente.

El LM317, y sus integrados homólogos, el LM117 y el LM217, se presentan en diferentes encapsulados, tal como se muestra en la siguiente figura:



Fig. 11.19. Reguladores en diferentes encapsulados.

The LM317 is an adjustable 3-terminal positive voltage regulator capable of supplying in excess of 1.5 A over an output voltage range of 1.2 V to 37 V. This voltage regulator is exceptionally easy to use and requires only two external resistors to set the output voltage. Further, it employs internal current limiting, thermal shutdown and safe area compensation, making it essentially blow-out proof.

The LM317 serves a wide variety of applications including local, on card regulation. This device can also be used to make a programmable output regulator, or by connecting a fixed resistor between the adjustment and output, the LM317 can be used as a precision current regulator.

Features

- Output Current in Excess of 1.5 A
- Output Adjustable between 1.2 V and 37 V
- Internal Thermal Overload Protection
- Internal Short Circuit Current Limiting Constant with Temperature
- Output Transistor Safe-Area Compensation
- Floating Operation for High Voltage Applications
- Available in Surface Mount D²PAK-3, and Standard 3-Lead Transistor Package
- Eliminates Stocking many Fixed Voltages
- Pb-Free Packages are Available

ON Semiconductor®
http://onsemi.com

D²PAK-3
D2T SUFFIX
CASE 936

Heatsink surface (shown as terminal 4 in case outline drawing) is connected to Pin 2.

TO-220
T SUFFIX
CASE 221AB

No. 1. Adj.
2. V_{out}
3. V_{in}

Heatsink surface connected to Pin 2.

ORDERING INFORMATION
See related ordering and shipping information in the package dimensions section on page 10 of this data sheet.

DEVICE MARKING INFORMATION
See general marking information in the device marking section on page 10 of this data sheet.

Parámetros típicos del regulador y principales características.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (V_I-V_O = 5.0 V, I_O = 0.5 A for D²T and T packages; T_J = T_{amb} to T_{reg} (Note 1); I_{reg} and P_{reg} (Note 2), unless otherwise noted)

Characteristics	Figure	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Line Regulation (Note 2), T _A = +25°C, 3.0 V ≤ V _I -V _O ≤ 40 V	1	Reg _{line}	-	0.01	0.04	%/V
Load Regulation (Note 3), T _A = +25°C, 10 mA ≤ I _O ≤ I _{max}	2	Reg _{load}	-	5.0	25	mV
			-	0.1	0.5	% V _O
Thermal Regulation, T _A = +25°C (Note 4), 20 ms Pulse	-	Reg _{temp}	-	0.03	0.07	% V _O /W
Adjustment Pin Current	3	I _{adj}	-	50	100	μA
Adjustment Pin Current Change, 2.5 V ≤ V _I -V _O ≤ 40 V, 10 mA ≤ I _O ≤ I _{max} , P _O ≤ P _{max}	1, 2	ΔI _{adj}	-	0.2	5.0	μA
Reference Voltage, 3.0 V ≤ V _I -V _O ≤ 40 V, 10 mA ≤ I _O ≤ I _{max} , P _O ≤ P _{max}	3	V _{ref}	1.2	1.25	1.3	V
Line Regulation (Note 3), 3.0 V ≤ V _I -V _O ≤ 40 V	1	Reg _{line}	-	0.02	0.07	%/V
Load Regulation (Note 3), 10 mA ≤ I _O ≤ I _{max}	2	Reg _{load}	-	20	70	mV
			-	0.3	1.5	% V _O
Temperature Stability (T _{amb} ≤ T _J ≤ T _{reg})	3	T _A	-	0.7	-	% V _O
Minimum Load Current to Maintain Regulation (V _I -V _O = 40 V)	3	I _{min}	-	3.5	10	mA
Maximum Output Current V _I -V _O = 15 V, P _O ≤ P _{reg} , T Package V _I -V _O = 40 V, P _O ≤ P _{reg} , T Package	3	I _{max}	1.5 0.15	2.2 0.4	-	A
RMS Noise, % of V _O , T _A = +25°C, 10 Hz ≤ f ≤ 10 kHz	-	N	-	0.003	-	% V _O
Ripple Rejection, V _O = 10 V, f = 120 Hz (Note 5) Without C _{adj} C _{adj} = 10 μF	4	RR	-	85 80	-	dB
Thermal Shutdown (Note 6)	-	-	-	180	-	°C
Long-Term Stability, T _J = T _{reg} (Note 7), T _A = +25°C for Endpoint Measurements	3	S	-	0.3	1.0	%/1,000 hrs.
Thermal Resistance Junction-to-Case, T Package	-	R _{θJC}	-	5.0	-	°C/W

Intensidad mínima de la carga para mantener la regulación.

Corriente máxima de salida.

Rechazo al rizado.

Fig. 11.20. Hoja de características del regulador LM317. (Cortesía de ON Semiconductor.)

Actividad

10. Explica, respecto al circuito de la Figura 11.21:

- La función de cada uno de los componentes de la fuente de alimentación.
- La tensión de salida del transformador.
- La tensión de salida de la fuente con este regulador.

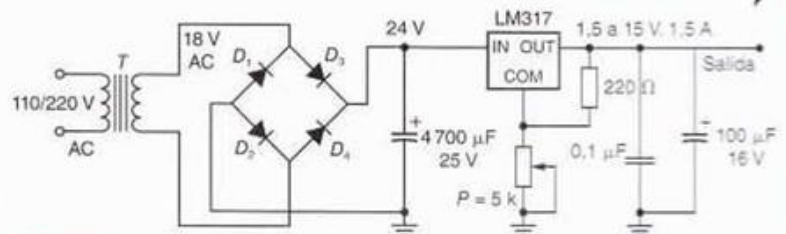


Fig. 11.21.

3. Fuentes de alimentación conmutadas

Recuerda
 V_{ac} = voltaje de corriente alterna; V_{dc} = voltaje de corriente directa; V_{cc} : tensión de corriente continua.

Tal como explicábamos al inicio de la unidad, entre los tipos de fuentes de alimentación se encuentran las conmutadas. Su empleo en la actualidad se ha multiplicado y estandarizado debido al **alto rendimiento de energía** que poseen respecto a las fuentes de alimentación lineales, no conmutadas, que incluyen un pesado transformador. Ahora el diseño se resuelve en un circuito integrado, un pequeño transformador de núcleo de ferrita y varios componentes accesorios. Además, se añaden como **ventajas** la baja disipación del calor, unos rendimientos elevados, el ahorro de energía y otras muchas que han hecho que se incluyan en monitores de ordenadores, Notebooks, DVD, TV, etc.

Sin embargo, el avance de la tecnología también ha implicado que estos equipos electrónicos (monitores de ordenadores, Notebooks, DVD, TV...) cuenten con un elevado grado de sofisticación y por lo tanto sean muy sensibles a las sobretensiones, los cambios bruscos o el ruido en las tensiones de alimentación.

Con el fin de minimizar ese grado de sensibilidad, contamos con las fuentes de alimentación reguladas, que garantizan la **estabilidad de la tensión** que llega al equipo. Por otra parte, para poder lograr potencias de salida del orden de los 100 W con las bajas tensiones requeridas por los transistores actuales (12 V), se necesitan altas corrientes de alimentación (de 20 A o más).

En las Figuras 11.22 y 11.23 podemos ver, respectivamente, el diagrama de bloques de una fuente conmutada y una fuente conmutada del monitor de un ordenador:

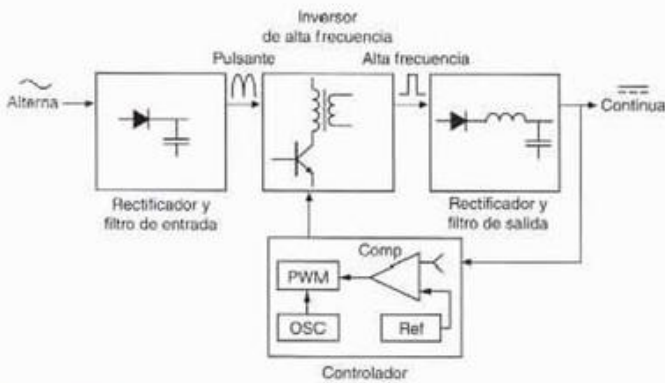


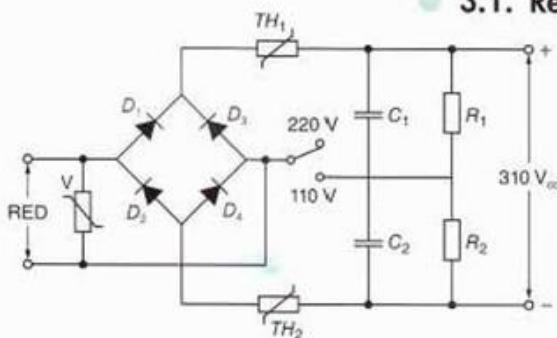
Fig. 11.22. Diagrama de bloques de una fuente conmutada.



Fig. 11.23. Fuente de alimentación conmutada del monitor de un ordenador.

Las fuentes de alimentación conmutadas cumplen las **funciones** de rectificación y filtro de entrada, así como de protección contra el pico de arranque y contra transitorios. A continuación analizamos una a una dichas funciones.

3.1. Rectificación y filtro de entrada



Las fuentes conmutadas convierten la corriente continua-corriente continua, por lo que la red debe ser previamente rectificada y filtrada con una amplitud de rizado aceptable.

La mayoría de las fuentes utilizan el circuito de la Figura 11.20 para operar desde 90 a 132 V_{ac} (tensión de corriente alterna) o de 180 a 260 V_{ac} , según sea la **posición del conmutador**.

Fig. 11.24. Circuito rectificador y filtro.

Es decir, en la posición de **abierto** se configura como rectificador de onda completa obteniéndose, aproximadamente, $310 V_{cc}$ (tensión corriente continua) desde la red de $230 V_{ac}$. En la posición de **cerrado**, el circuito funciona como rectificador doblador de tensión, obteniéndose también $310 V_{cc}$ a partir de $110 V_{ac}$.

Para **evitar sobrecalentamientos**, los condensadores electrolíticos de filtro (C_1 y C_2) deben ser de baja resistencia interna y de la tensión adecuada. A su vez, los rectificadores deben soportar una tensión inversa de 600 V.

3.2. Protección contra pico de arranque

Cuando conectamos una fuente conmutada, la impedancia vista desde la red hacia la fuente es muy baja, ya que los condensadores están en ese momento descargados sin una resistencia en serie adicional, por lo que la corriente inicial es alta. En la Figura 11.20, TH_1 y TH_2 son resistencias NTC (coeficiente negativo de temperatura), que limitan la corriente a un valor aceptable. En general, las fuentes de mediana y gran potencia disponen de circuitos activos con resistencia limitadora que se cortocircuita por medio de conmutadores estáticos cuando ya están cargados los condensadores.

3.3. Protección contra transitorios

Además del filtrado de ruidos que se inyecta en la red y que viene incorporado en las fuentes conmutadas, es aconsejable la utilización de un **varistor** (resistencia dependiente de la tensión), conectado a la entrada, para garantizar la protección contra picos de tensión generados por la conmutación en circuitos inductivos de las proximidades o por tormentas eléctricas.

3.4. Configuraciones básicas

Las fuentes de alimentación conmutadas poseen circuitos relativamente complejos, pero en general podemos diferenciar **cuatro bloques básicos**:

1. En el primer bloque rectificamos y filtramos la tensión alterna de entrada convirtiéndola en una continua pulsante (corriente continua).
2. El segundo bloque se encarga de convertir esa continua en una onda cuadrada de alta frecuencia (10 a 200 kHz), la cual se aplica a una bobina o al primario de un transformador.
3. El tercer bloque rectifica y filtra la salida de alta frecuencia del bloque anterior, entregando así una corriente continua pura.
4. El cuarto bloque se encarga de dirigir la oscilación del segundo bloque. Este bloque consiste en un oscilador de frecuencia fija, una tensión de referencia, un comparador de tensión y un modulador de ancho de pulso (PWM). El modulador recibe el pulso del oscilador y modifica su **ciclo de trabajo** según la señal del comparador, el cual coteja la tensión continua de salida del tercer bloque con la tensión de referencia.

Ten cuidado



Cuando vayas a reparar una fuente de alimentación asegúrate de que los **condensadores electrolíticos** estén **descargados**, sobre todo si la tensión de salida de la fuente es elevada. Podrías sufrir una descarga eléctrica.

Vocabulario



Ciclo de trabajo. Es la relación entre el estado de encendido y el estado de apagado de una onda cuadrada.



Caso práctico 4: Cómo identificar averías en una fuente de alimentación de un ordenador

Tenemos un ordenador que no funciona, ya que no se enciende, y creemos que se trata de una avería en la fuente de alimentación. ¿Qué es lo que tenemos que hacer?

Solución:

Vamos a comprobar, uno a uno, las componentes de la fuente de alimentación:

1. Desconectamos la fuente de la red (todas las comprobaciones que hagamos, las tenemos que hacer con la fuente desconectada).
2. Comprobamos si el fusible está o no fundido; en caso afirmativo, lo cambiamos por otro con las mismas características. En caso negativo, continuamos el chequeo.
3. Revisamos el transformador. Para ello, comprobamos, con un polímetro, si tenemos tensión en el secundario; en caso afirmativo, seguimos con el siguiente paso; en caso negativo, lo sustituimos por otro con las mismas características.
4. Comprobamos el rectificador. Para ello, si se trata de un rectificador de puente de diodos, comprobamos que ninguno de los diodos esté en corto, con ayuda de un polímetro; si hubiera diferencias de medida entre ellos, los sustituimos, pero si están en perfecto estado, continuamos con el siguiente paso.
5. Ahora observaremos si los condensadores electrolíticos y las resistencias están quemados. Estos condensadores y resistencias, que van de dos en dos en las fuentes, al medirlos con un polímetro tienen que dar la misma medida; si no es así, se desueldan, se extraen de la placa y se sustituyen por otros.
6. Por último, comprobaremos el regulador, ya que es muy importante que una fuente tenga la tensión estable, pues solo así proporcionará la energía que necesita el ordenador y evitará que haya problemas.
7. Finalmente, resulta fundamental comprobar, respecto a la tensión denominada «tensión de control» y que se encuentra ubicada en el cable que sobra a la salida de la fuente, que dé 5 V estando cargada con una lámpara de 40 W de potencia y 12 V de tensión, ya que si no da 5 V habrá que revisar conexión por conexión. En la Figura 11.25 podemos observar una fuente de alimentación en la que se identifica el cable en el que se localiza la tensión de control:

Tensión de control
(cable naranja).



Fig. 11.25. Fuente de alimentación.

Hay que tener mucho cuidado con los condensadores electrolíticos, ya que aunque la fuente de alimentación esté desconectada, se mantienen cargados durante mucho tiempo.



Actividades

11. En el taller, coge una televisión para arreglar y comprueba la fuente de alimentación conmutada.
12. Enumera los elementos de la fuente de alimentación de la actividad 11.
13. Haz lo mismo que se indica en las actividades 11 y 12 pero respecto a un monitor de un ordenador de tu taller.

Práctica final: Realización de una fuente de alimentación lineal

1. Objetivo

Montaje de la fuente de alimentación lineal de la Figura 11.26:

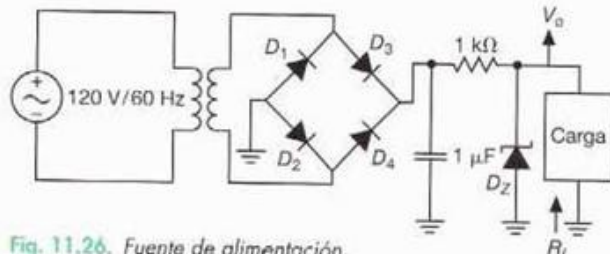


Fig. 11.26. Fuente de alimentación.

2. Materiales

- Placa BOARD para el montaje del circuito.
- Una resistencia R_l de $1 \text{ k}\Omega$.
- Un condensador de $1 \mu\text{F}$ y otro condensador de $100 \mu\text{F}$.
- Un diodo zener BZX55C5V6.
- Un transformador reductor de 220 V.
- Un puente rectificador o cuatro diodos 1N4001.
- Osciloscopio.
- Cables.
- Polímetro.
- Hoja de características del zener BZX55C5V6.

3. Técnica

1. Realiza el montaje de la Figura 11.26, sin incluir el condensador (Fig. 11.27).

Para la carga, introduce una resistencia $R_l = 100 \text{ k}$. Mide sucesivamente (**no simultáneamente**), con el polímetro, la tensión a la salida del transformador

y en los bornes de la resistencia. Dibuja las señales por separado y superpuestas.

2. Realiza el montaje de la figura, pero esta vez con el condensador incluido. El condensador electrolítico será de 100μ y 35 V. Mide sucesivamente (**no simultáneamente**) la tensión a la salida del transformador y en los bornes de la resistencia. Dibuja las señales por separado y superpuestas y analiza los resultados (Fig. 11.28).
3. Calcula el factor de rizado que presenta el circuito a su salida.
4. Utiliza el zener BZX55C5V6 que se nos ha proporcionado. Averigua qué valor mínimo debe tener la resistencia R_l para que ninguna parte del circuito resulte dañada. Para ello, busca en las hojas de especificaciones cuál es la potencia máxima que puede disipar. Esta potencia debe ser utilizada de manera que cuando el circuito no esté cargado (y entonces no hay resistencia de carga R_l) la corriente que atraviesa el diodo no lo quemé. Además, añade como condición que la resistencia R solo debe disipar $1/4 \text{ W}$ (Fig. 11.29).
5. A continuación, calcula el rango de resistencias de carga en el que la tensión V_0 va a venir dada por la tensión zener del diodo.

4. Cuestiones

- a) ¿Cómo se consigue que esta fuente de alimentación sea más estable que la simple? Para responder correctamente, puede ser útil analizar la salida de la fuente eliminando el condensador electrolítico del montaje.
- b) En el apartado 4 de la técnica, ¿qué condición fijará el límite mínimo?
- c) En el apartado 1 de la técnica, ¿coincide el resultado con lo esperado a la salida de un puente de diodos?

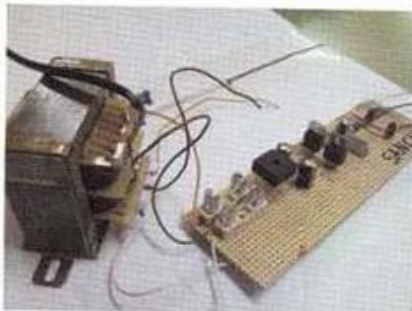


Fig. 11.27.

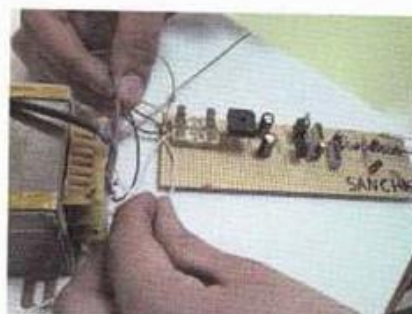


Fig. 11.28.



Fig. 11.29.



Test de repaso

1. Una fuente de alimentación lineal tiene como bloques:
 - a) Transformador, rectificador, filtros, estabilizador o regulador y carga.
 - b) Transformador y rectificador.
 - c) Transformador, rectificador y filtro.
 - d) Ninguna es correcta.
2. El transformador de la fuente tiene como misión:
 - a) Filtrar la señal alterna.
 - b) Rectificar la señal alterna.
 - c) Reducir la corriente alterna proveniente de la red.
 - d) Ninguna es correcta.
3. Un elemento estabilizador es:
 - a) El diodo zener.
 - b) El diodo LED.
 - c) El diodo varicap.
 - d) El diodo semiconductor.
4. Un regulador puede ser del tipo:
 - a) 7808.
 - b) 7809.
 - c) LM317.
 - d) Todas son correctas.
5. Tenemos fuentes de alimentación:
 - a) Lineales y conmutadas.
 - b) Lineales y no conmutadas.
 - c) Conmutadas y no lineales.
 - d) Ninguna es correcta.
6. Una de las aplicaciones de una fuente de alimentación es:
 - a) Los televisores.
 - b) Los ordenadores.
 - c) Los electrodomésticos.
 - d) Todas son correctas.
7. Las fuentes de alimentación conmutadas:
 - a) Tienen tres bloques.
 - b) Tienen dos bloques.
 - c) Tienen cuatro bloques.
 - d) Tienen un solo bloque.
8. Las fuentes de alimentación conmutadas son convertidores de:
 - a) Corriente continua-corriente continua.
 - b) No convierten la corriente.
 - c) Convierten la tensión alterna a continua.
 - d) Ninguna es correcta.
9. Una fuente de alimentación tiene como misión:
 - a) Proporcionar corriente alterna al circuito.
 - b) Aportar corriente continua al circuito.
 - c) Aportar corriente alterna y continua.
 - d) Ninguna es correcta.
10. Una fuente de alimentación conmutada tiene un cuarto bloque que:
 - a) Se encarga de comandar la oscilación del segundo bloque.
 - b) Se encarga de comandar la tensión del segundo bloque.
 - c) No se encarga de comandar la oscilación.
 - d) Ninguna es correcta.
11. En una fuente de alimentación lineal, el filtro pasa bajo se encuentra:
 - a) A la salida del transformador.
 - b) A la salida del rectificador.
 - c) A la salida del regulador.
 - d) Ninguna es correcta.

Soluciones: 1a, 2c, 3a, 4d, 5b, 6a, 7d, 8c, 9a, 10a, 11b.

Comprueba tu aprendizaje

Reconocer los diferentes componentes de la fuente de alimentación relacionándolos con su símbolo

De los esquemas

1. Dados los esquemas de las siguientes fuentes de alimentación, indica cuál es cada componente y explica la misión de cada uno de ellos.

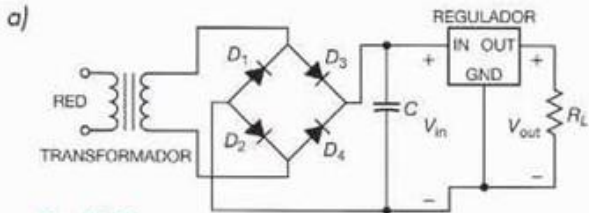


Fig. 11.30.

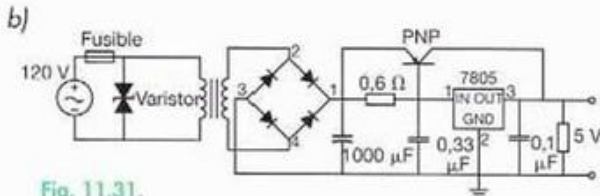


Fig. 11.31.

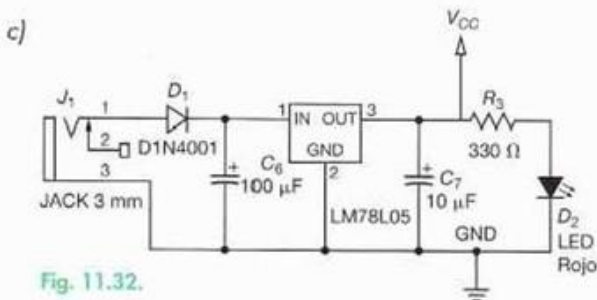


Fig. 11.32.

De los circuitos

2. Dada la siguiente fuente de alimentación, identifica cada uno de los componentes y realiza el esquema a partir de ella:

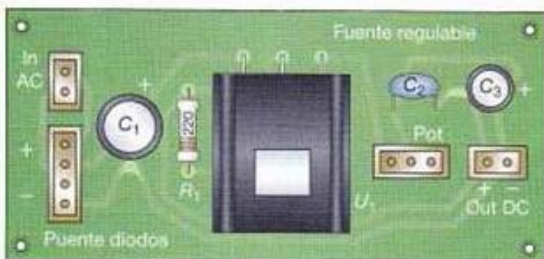


Fig. 11.33.

3. Identifica en las siguientes fuentes de alimentación, cada uno de los componentes:

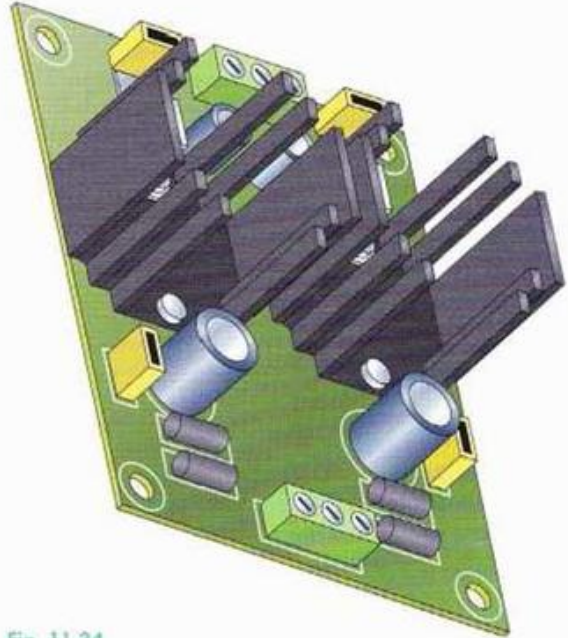


Fig. 11.34.

Describir el funcionamiento de los siguientes bloques

4. Dados los bloques siguientes de una fuente de alimentación, describe su funcionamiento e indica de qué circuito se trata en cada caso.

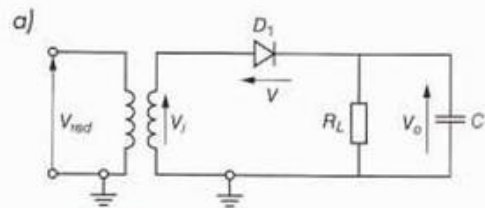


Fig. 11.35.

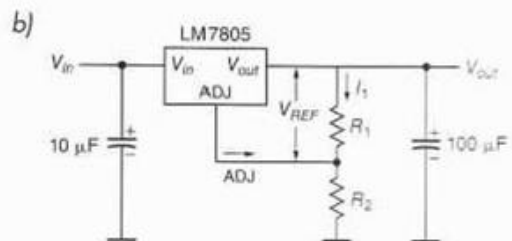


Fig. 11.36.

Comprueba tu aprendizaje

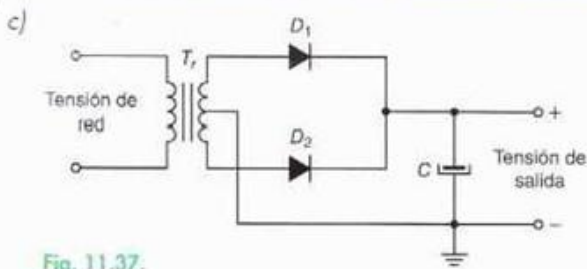


Fig. 11.37.

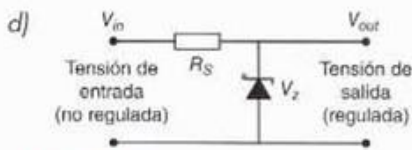


Fig. 11.38.

5. El circuito del apartado b) del ejercicio 4 tiene un regulador del tipo LM7805. Explica cuál es su función y busca en la hoja del fabricante las características eléctricas que posee.

Describir las diferencias entre fuentes lineales y conmutadas

6. Indica las principales diferencias que hay entre una fuente lineal y una fuente conmutada.
7. De los siguientes circuitos, señala cuál corresponde a una fuente lineal y cuál a una fuente conmutada, y explica el porqué analizando los bloques:

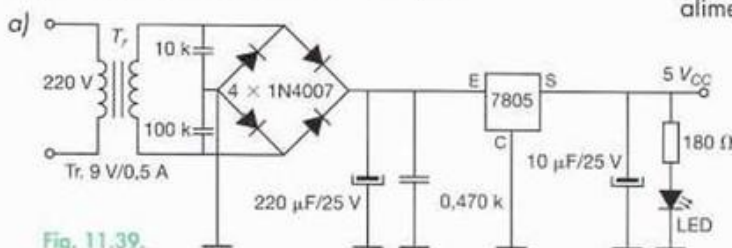


Fig. 11.39.

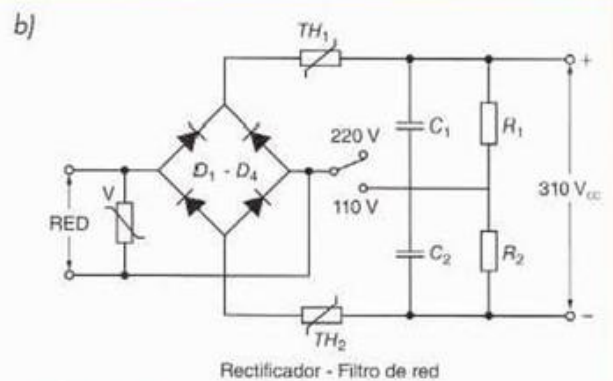


Fig. 11.40.

Describir las aplicaciones reales de cada tipo de fuente de alimentación

8. Busca en Internet aplicaciones reales para telecomunicaciones de fuentes de alimentación lineales y de fuentes conmutadas, y enuméralas.

Realizar las medidas fundamentales de las fuentes de alimentación

9. Monta el circuito del ejercicio 7.a) y comprueba, mediante un osciloscopio, a la salida del filtrado, la señal de onda y calcula su factor de rizado.
10. Pon un polímero a la salida del regulador y en los bornes del diodo LED (carga del circuito) del ejercicio anterior, y calcula la tensión de salida de la fuente de alimentación.

Solucionar disfunciones

11. Coge del taller una televisión averiada y comprueba su fuente de alimentación.
12. Comprueba la fuente de alimentación de un ordenador en el taller.

1. Introducción a la electrónica digital

El gran desarrollo experimentado por la electrónica en los últimos años ha propiciado que la mayoría de los equipos actuales funcionen con sistemas digitales. Un sistema digital se caracteriza por utilizar **señales discretas**, es decir, señales que toman un número finito de valores en cierto intervalo de tiempo.

La **comparación gráfica** entre una **señal analógica** y una **digital** es la siguiente:

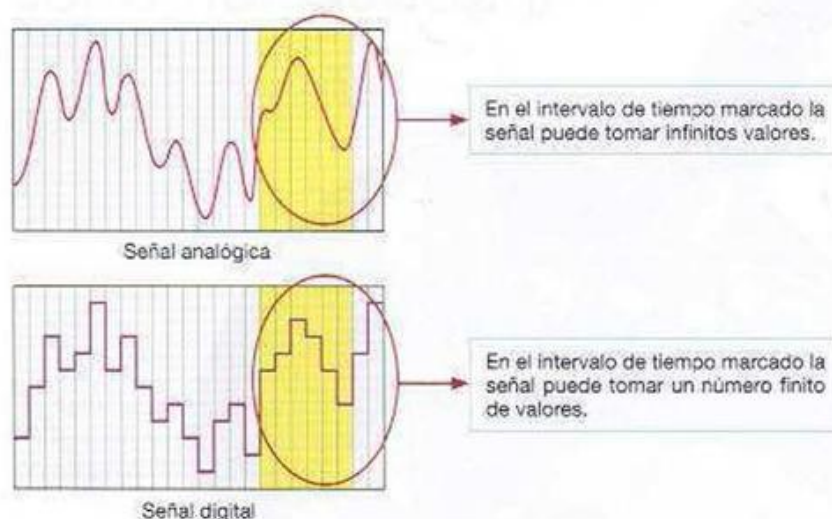


Fig. 12.1. Comparativa gráfica de una señal analógica frente a una señal digital.

En la Figura 12.1, la señal inferior corresponde a la digitalización de la señal analógica, y contiene información suficiente para poder reconstruir la señal digital.

Todas las telecomunicaciones modernas (Internet, telefonía móvil, etc.) están basadas en el uso de este tipo de sistemas, por lo que el estudio de las mismas resulta de gran importancia para cualquier técnico que trabaje en este ámbito.

Son muchas las **razones** que han favorecido el **uso extensivo de los sistemas digitales** entre ellas:

- Mayor fiabilidad en el procesamiento y transmisión de la información frente a los sistemas analógicos, ya que una pequeña degradación de la señal no influirá —en un sistema digital— en su valor (o en su influencia como entrada en un circuito digital). Sin embargo, en un circuito analógico, cualquier pequeño cambio que se pueda producir en la señal propiciará la pérdida de información en la misma.
- Disposición de un soporte matemático adecuado para su desarrollo, en concreto, álgebra de Boole.
- Dominio de las tecnologías de fabricación adecuadas.
- Contar con una amplia distribución comercial gracias a sus diversas aplicaciones en múltiples campos.

Podemos **clasificar** los **circuitos digitales** en dos grandes grupos:

- **Circuitos combinacionales:** se caracterizan porque las salidas únicamente dependen de la combinación de las entradas y no de la historia anterior del circuito; por lo tanto, no tienen memoria y el orden de la secuencia de entradas no es significativo.
- **Circuitos secuenciales:** se caracterizan porque las salidas dependen de la historia anterior del circuito, además de la combinación de entradas, por lo que estos circuitos disponen de memoria y el orden de la secuencia de entradas sí es significativo.



¿Sabías que...?

El álgebra de Boole son las matemáticas de la electrónica digital. A lo largo de la unidad profundizaremos en su estudio.



2. Sistemas de numeración

La información que se va a manejar en cualquier sistema digital tiene que estar representada numéricamente. Para ello, necesitaremos un sistema de numeración acorde con las características intrínsecas de este tipo de señales.

Un **sistema de numeración** se define como un conjunto de símbolos capaces de representar cantidades numéricas. A su vez, se define la **base del sistema** de numeración como la cantidad de símbolos distintos que se utilizan para representar las cantidades. Cada símbolo del sistema de numeración recibe el nombre de **dígito**.

¿Sabías que...?

En informática, suelen usarse el sistema octal y el hexadecimal. Este último fue introducido por IBM en los ordenadores en el año 1963.

Así, los **sistemas de numeración** más utilizados son:

Sistema decimal o de base 10	Consta de diez dígitos: {0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9}.
Sistema binario o de base 2	Consta de dos dígitos: {0, 1}.
Sistema octal o de base 8	Consta de ocho dígitos: {0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7}.
Sistema hexadecimal o de base 16	Consta de dieciséis dígitos: {0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, A, B, C, D, E, F}.

Tabla 12.1. Sistemas de numeración más utilizados.

El sistema que utilizamos **habitualmente** es el sistema **decimal**, sin embargo, el sistema empleado en los **equipos digitales** es el sistema **binario**. Por tanto, es necesario conocer cómo podemos relacionar ambos sistemas.

2.1. Sistema binario

Como ya hemos estudiado, el sistema binario o de base 2 solo utiliza dos símbolos para representar la información: 0 y 1. Cada uno de ellos recibe el nombre de **bit**, que es la unidad mínima de información que se va a manejar en un sistema digital. A partir de esta información, vamos a analizar cómo podemos convertir un número dado en el sistema decimal en un número representado en el sistema binario.

Caso práctico 1: Conversión de un número decimal al sistema binario

Convertir el número 34 dado en decimal a su equivalente en binario.

Solución:

Los pasos que debemos dar son los siguientes:

1. Realizamos sucesivas divisiones del número decimal, por la base del sistema binario, 2, hasta llegar a un número no divisible:

$$\begin{array}{r}
 34 \quad | \quad 2 \\
 \hline
 0 \quad 17 \quad | \quad 2 \\
 \hline
 \quad 1 \quad 8 \quad | \quad 2 \\
 \hline
 \quad \quad 0 \quad 4 \quad | \quad 2 \\
 \hline
 \quad \quad \quad 0 \quad 2 \quad | \quad 2 \\
 \hline
 \quad \quad \quad \quad 0 \quad 1
 \end{array}$$

← Flecha roja que apunta al último cociente (1).

En la operación, está marcado en rojo el último cociente que obtenemos (ya no se puede dividir entre 2) y en amarillo los restos de cada una de las divisiones parciales.

2. El número binario pedido se forma cogiendo el último cociente obtenido, y todos los restos, en el orden que está marcado por la flecha en la figura. De esta forma, el resultado será: 100010_2 .



Caso práctico 2: Conversión de un número binario al sistema decimal

Convertir el siguiente binario: 1011 en su equivalente número decimal.

Solución:

En este caso, lo que debemos hacer es multiplicar cada bit, empezando por la izquierda en dirección hacia la derecha, por las potencias de 2 y a continuación sumamos tal como se muestra en el siguiente ejemplo:

$1011_2 = 1 \cdot 2^0 + 1 \cdot 2^1 + 0 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^3 = 1 + 2 + 0 + 8 = 11_{10}$, como podemos ver, el número binario 1011 se corresponde con el número 11 decimal. **Luego el binario será $1011_2 = 11_{10}$.**



Unidades de medida

Un byte (u octeto) es una secuencia de 8 bits.

El byte se representa con la letra B y es la unidad básica de almacenamiento de la información. Es la unidad que define el tamaño de la palabra de un ordenador. Suele ponerse al lado del número binario, decimal y hexadecimal la base en subíndice para diferenciarla.

Ej.: 100_{10} sería el número cien decimales por la base 10 en subíndice; 100_2 es el uno, cero, cero, binario, por la base 2; 100_{16} es el 1, 0, 0 hexadecimal por la base 16.

Su uso actual está muy vinculado a la informática y a los sistemas computacionales pues los ordenadores suelen utilizar el byte u octeto como unidad básica de memoria. En principio, y dado que el sistema usual de numeración es de base decimal y, por tanto, solo se dispone de diez dígitos, se adoptó la convención de usar las seis primeras letras del alfabeto latino para suplir los dígitos que nos faltan. Así, el conjunto de símbolos hexadecimales es: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, A, B, C, D, E, F.

Donde la letra A es el 10 decimal, la letra B es el 11 decimal, etc. La Tabla 12.2 recoge la conversión de los números decimales a binarios y a hexadecimales:

N.º decimal	N.º binario	N.º hexadecimal	N.º decimal	N.º binario	N.º hexadecimal
0	0	0	8	1000	8
1	1	1	9	1001	9
2	10	2	10	1010	A
3	11	3	11	1011	B
4	100	4	12	1100	C
5	101	5	13	1101	D
6	110	6	14	1110	E
7	111	7	15	1111	F

Tabla 12.2. Conversión de los números decimales a binarios y hexadecimales.

Al igual que un número binario tiene su equivalente decimal, un número hexadecimal también se puede convertir a decimal, y a su vez un número decimal se puede convertir a hexadecimal.

Es importante tener en cuenta que el sistema octal utiliza la base 8. El conjunto de símbolos octales sería: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7.

Por otra parte, la conversión de binario a octal se realiza igual que la conversión de binario a hexadecimal pero con grupos de tres bits; y en el caso de hexadecimal a binario, igual pero con grupos de cuatro bits para la conversión de octal a binario.

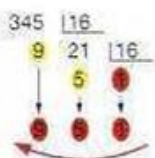


Caso práctico 3: Conversión de un número dado en decimal al sistema hexadecimal

Convertir el decimal 345 en hexadecimal.

Solución:

- Se divide el número entre 16 tantas veces como sea necesario hasta que el último cociente sea inferior a 16.
- El número hexadecimal será el formado por el último cociente y los demás restos de las divisiones. Así: **El número decimal $345_{10} = 159_{16}$ hexadecimal.**





Caso práctico 4: Conversión de un número hexadecimal a decimal

Convertir el número 78_{16} hexadecimal a decimal.

Solución:

Se multiplica el número hexadecimal por las potencias de 16 empezando por la derecha hacia la izquierda y a continuación se suma.

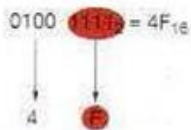
$$78_{16} = 8 \cdot 16^0 + 7 \cdot 16^1 = 8 + 112 = 120_{10}$$

Luego el número 78_{16} hexadecimal = 120_{10} decimal.

también podemos hacer conversiones de binario a hexadecimal y de hexadecimal a binario, tal como mostramos en los siguientes casos prácticos.

Caso práctico 5: Conversión de un número binario a hexadecimal

Dado el número 01001111_2 binario, vamos a convertirlo en un número hexadecimal:



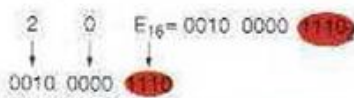
Solución:

Dado un número binario, debemos agrupar de cuatro en cuatro empezando por el lado derecho; si al llegar al final no hay un grupo de cuatro bits, se añaden ceros a la izquierda hasta completar el grupo y se sustituye por su correspondiente hexadecimal; en este caso el número 1111_2 es el F hexadecimal, y el 0100_2 es el 4 hexadecimal.

Luego el número binario $01001111_2 = 4F_{16}$ hexadecimal.

Caso práctico 6: Convertir un número hexadecimal a binario

Dado el número hexadecimal $20E_{16}$, convertir en binario.



Solución:

Dado el número hexadecimal, de derecha a izquierda sustituimos el número hexadecimal por el correspondiente binario de cuatro bits.

El número hexadecimal $20E_{16} = 001000001110_2$ binario.

Actividades

- Pasa los siguientes números decimales a binarios:
a) 678. b) 12. c) 18. d) 19. e) 15.
- Pasa los siguientes números binarios a decimales:
a) 1000111. c) 10000.
b) 1001. d) 10101.
- Pasa los siguientes números decimales a hexadecimales:
a) 456. b) 89. c) 90. d) 100.
- Pasa los siguientes números hexadecimales a decimales:
a) 23A. b) 234D. c) 56FF. d) EF.
- Pasa los siguientes números binarios a hexadecimales:
a) 1001111. c) 1110101.
b) 11110000. d) 110101.
- Pasa los siguientes números hexadecimales a binarios:
a) 23C. b) 456E. c) 234. d) 445. e) 78D.
- Pasa los siguientes números hexadecimales a decimales pasando por binarios:
a) 546. c) 78D. e) 123B.
b) 666. d) 66BC.

¿Sabías que...?

George Boole (1815-1864) fue un matemático y filósofo británico que inventó una serie de reglas para expresar y resolver problemas lógicos que solo podían tomar dos valores. Estas reglas conforman lo que conocemos como el álgebra de Boole.

3. Función lógica. Álgebra de Boole

El álgebra de Boole y los sistemas de numeración binarios vistos hasta ahora constituyen la base matemática para construir los sistemas digitales.

El **álgebra de Boole** es una estructura algebraica que relaciona las operaciones lógicas O, Y, NO.

A partir de estas operaciones lógicas sencillas, se pueden obtener otras más complejas que dan lugar a las funciones lógicas. Por otra parte, hay que tener en cuenta que los valores que se trabajan en el álgebra de Boole son de tipo **binario**.

3.1. Álgebra de Boole

En el álgebra de Boole existen tres operaciones lógicas: **suma**, **multiplicación** y **complementación o inversión**. Sus postulados son los siguientes:

Operación	Forma de representarla	Postulados básicos
Suma O	$F = a + b$	$0 + 0 = 0$ $a + 0 = a$ $0 + 1 = 1$ $a + 1 = 1$ $1 + 1 = 1$ $a + \bar{a} = 1$ $a + a = a$
Multiplicación Y	$F = a \cdot b$	$0 \cdot 0 = 0$ $a \cdot 0 = 0$ $0 \cdot 1 = 0$ $a \cdot 1 = a$ $1 \cdot 1 = 1$ $a \cdot a = a$ $a \cdot \bar{a} = 0$
Complementación o inversión NO	$F = \bar{a}$ $F = \overline{a \cdot b}$	$\bar{\bar{0}} = 1$ $\bar{\bar{1}} = 0$ $\overline{\bar{a}} = a$

Tabla 12.3. Postulados del álgebra de Boole.

Además de los postulados, se definen una serie de **propiedades** para sus operaciones que son las siguientes:

- Propiedad conmutativa: $a + b = b + a$
 $a \cdot b = b \cdot a$
- Propiedad asociativa: $a \cdot (b \cdot c) = (a \cdot b) \cdot c$
 $a + (b + c) = (a + b) + c$
- Propiedad distributiva: $a \cdot (b + c) = a \cdot b + a \cdot c$
 $a + (b \cdot c) = (a + b) \cdot (a + c)$

Por último, para la simplificación de circuitos digitales, además de estas propiedades resultan fundamentales las **leyes de De Morgan**:

- Primera ley de De Morgan: $\overline{a + b} = \bar{a} \cdot \bar{b}$
- Segunda ley de De Morgan: $\overline{a \cdot b} = \bar{a} + \bar{b}$

¿Sabías que...?

Las **leyes de De Morgan** deben su nombre a su creador, **Augustus De Morgan** (1806-1871), matemático de origen inglés nacido en la India que fue el primer presidente de la Sociedad de Matemáticas de Londres.

3.2. Función lógica

Se denomina **función lógica** a toda expresión algebraica formada por variables binarias que se relacionan mediante las operaciones básicas del álgebra de Boole.

Una función lógica podría ser por ejemplo la siguiente:

$$F = a + b \text{ (función lógica); esta función sería } a \text{ o } b$$

Variable dependiente

a, b: variables independientes

Suma lógica: a o b

$$2(4+3) = 2(7) = 14$$

$$(8+6)$$

Caso práctico 7: Aplicación de los postulados de Boole

Simplifica esta función aplicando los postulados de Boole: $F = (a \cdot 1) \cdot (b \cdot b) \cdot (a \cdot 1) + (a \cdot 0) \cdot (a \cdot a) \cdot (b \cdot 1)$

Solución:

Aplicamos a cada paréntesis de esta función los postulados de Boole:

$$F = a \cdot b \cdot a + 0 \cdot a \cdot b$$

$$F = a \cdot a \cdot b + 0$$

$$F = a \cdot b + 0$$

Aplicamos la propiedad conmutativa

Aplicando el postulado: $a \cdot 0 = 0$

Aplicando el postulado: $a \cdot a = a$

Aplicando el postulado: $a + 0 = a$

Solución: $F = a \cdot b$

Caso práctico 8: Aplicación de la primera ley de De Morgan

Simplifica, aplicando los postulados de Boole y las leyes de De Morgan: $F = \overline{a + b} \cdot (a + b)$

Solución:

Aplicamos la primera ley de De Morgan: $\overline{a + b} = \overline{a} \cdot \overline{b}$ a la función, y queda: $F = \overline{a} \cdot \overline{b} \cdot (a + b)$; aplicando la propiedad distributiva: $F = \overline{a} \cdot b \cdot a + \overline{a} \cdot \overline{b} \cdot b$; aplicamos los postulados de Boole y la propiedad conmutativa, y tenemos:

El postulado que aplicamos sería: $a \cdot \overline{a} = 0$; luego $F = 0 \cdot \overline{b} + \overline{a} \cdot 0$

Aplicamos de nuevo el postulado: $a \cdot \overline{a} = 0$

Solución: $F = 0$

Actividad

8. Simplifica estas funciones aplicando los postulados, las propiedades de Boole y las leyes de De Morgan:

a) $F = a \cdot b + a \cdot (b + 0) \cdot (b \cdot 0)$

b) $F = \overline{a} \cdot \overline{a} + b$ $F = (a \cdot \overline{a}) + a \cdot b$

c) $F = \overline{(a + b)} \cdot (a + b)$

d) $F = \overline{(a + b)} \cdot (a + b)$

e) $F = \overline{(a + b)} \cdot (c + d)$

f) $F = a \cdot b \cdot (a + c)$

g) $F = a \cdot b \cdot c$

h) $F = c \cdot b \cdot a + \overline{c} \cdot \overline{b} \cdot a + \overline{c} \cdot b \cdot a$

i) $F = d \cdot \overline{c} \cdot b \cdot a + d \cdot c \cdot (b + a)$

j) $F = c \cdot b \cdot a \cdot (c + b + a)$

Importante

Los valores que pueden tomar las variables binarias son siempre dos: 0 y 1, que se representan como verdadero o falso.

En electrónica digital, los símbolos representan valores de tensión eléctrica.

Tendremos lógica positiva cuando el nivel de tensión para el 1 es mayor que para el estado 0; para la lógica negativa, al contrario. Así, para la lógica positiva el estado 1 es el nivel alto (High) H, y el nivel lógico 0 es el nivel bajo (Low) L, y para la lógica negativa al contrario.

4. Tabla de verdad de una función lógica. Puertas lógicas y circuitos integrados

En el álgebra convencional es habitual ayudarse de representaciones gráficas para formular y resolver expresiones. El tipo de representación que se utiliza para el mismo fin en el álgebra de Boole son las tablas de verdad.

4.1. Tabla de verdad

La **tabla de verdad** es una representación gráfica de todos los valores que puede tomar la función lógica para cada una de las posibles combinaciones de las variables de entrada. Es un cuadro formado por tantas columnas como variables tenga la función más la de la propia función, y tantas filas como combinaciones binarias sea posible construir.

El número de combinaciones posibles es 2^n , siendo n el número de variables. Así, si tenemos dos variables (a, b) tendremos: $2^2 = 4$ combinaciones binarias (00, 01, 10, 11), etc

Caso práctico 9: Construcción de una tabla de verdad a partir de una función lógica

Dada la función lógica: $F = a + b$, hemos de construir la tabla de verdad:

Solución:

1. Tenemos dos variables, a y b , luego necesitamos dos columnas y la de la función.
2. Al tener dos variables, las combinaciones que podemos hacer son $2^2 = 4$ combinaciones.

Luego la **tabla de verdad** será:

4 combinaciones,
4 filas

3 columnas

a	b	$F = a + b$
0	0	$0 + 0 = 0$
0	1	$0 + 1 = 1$
1	0	$1 + 0 = 1$
1	1	$1 + 1 = 1$

Fig. 12.2. Tabla de verdad.

Actividades

9. Dibuja la tabla de verdad para las siguientes funciones, indicando el número de variables y las combinaciones posibles:
10. Dada la siguiente tabla de verdad incompleta, rellena las variables que tiene y sus combinaciones:

a) $F = a \cdot b \cdot c$

b) $F = a + b + c$

c) $F = a \cdot (b \cdot c) + d$

d) $F = (a + b) \cdot (a + b)$ $(a \cdot b) \cdot (a + b)$

e) $F = (a + b) \cdot (a + b)$ $0 + b = a + 0 = a$

f) $F = \overline{a \cdot b \cdot c}$

g) $F = c \cdot b \cdot a + \bar{c} \cdot \bar{b} \cdot a + \bar{c} \cdot b \cdot a$

11. Termina la siguiente tabla de verdad de la función $F = a \cdot b$:

a	b	$F = a \cdot b$
0	0	
0	1	
1	0	



4.2. Puertas lógicas

Las **puertas lógicas** son pequeños circuitos digitales integrados cuyo funcionamiento se adapta a las operaciones y postulados del álgebra de Boole.

Las más importantes se muestran en la siguiente tabla:

Nombre de la puerta	Equivalencia eléctrica y símbolo lógico: a) Equivalente eléctrico b) Símbolo ANSI c) Símbolo lógico tradicional			Tabla de verdad y función lógica															
Puerta NOT	a)	b)	c)	<p>NOT</p> <p>$s = \bar{a}$</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>a</th> <th>s</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>X</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	a	s	A	X	0	1	1	0							
a	s																		
A	X																		
0	1																		
1	0																		
Puerta OR (O)	a)	b)	c)	<p>$s = a + b$</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>a</th> <th>b</th> <th>s</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	a	b	s	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1
a	b	s																	
0	0	0																	
0	1	1																	
1	0	1																	
1	1	1																	
Puerta AND (Y)	a)	b)	c)	<p>$s = a \cdot b$</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>a</th> <th>b</th> <th>s</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	a	b	s	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1
a	b	s																	
0	0	0																	
0	1	0																	
1	0	0																	
1	1	1																	
Puerta X-OR (OR exclusiva)	a)	b)	c)	<p>$s = a \cdot \bar{b} + \bar{a} \cdot b$</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>a</th> <th>b</th> <th>s</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	a	b	s	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0
a	b	s																	
0	0	0																	
0	1	1																	
1	0	1																	
1	1	0																	
Puerta NOR (No O)	a)	b)	c)	<p>$s = \overline{a + b}$</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>a</th> <th>b</th> <th>s</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	a	b	s	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0
a	b	s																	
0	0	1																	
0	1	0																	
1	0	0																	
1	1	0																	
Puerta NAND (No Y)	a)	b)	c)	<p>$s = \overline{a \cdot b}$</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>a</th> <th>b</th> <th>s</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	a	b	s	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0
a	b	s																	
0	0	1																	
0	1	1																	
1	0	1																	
1	1	0																	
Puerta X-NOR (NOR exclusiva)	a)	b)	c)	<p>$s = \overline{a \cdot \bar{b} + \bar{a} \cdot b}$</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>a</th> <th>b</th> <th>s</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	a	b	s	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	1
a	b	s																	
0	0	1																	
0	1	0																	
1	0	0																	
1	1	1																	

Tabla 12.4. Principales puertas lógicas.

Importante

Existen chips con puertas lógicas con más de dos entradas, así:

Puertas NOR:

- 7427: 3 NOR de dos entradas.
- 74260: 2 NOR de cinco entradas.

Puertas NAND:

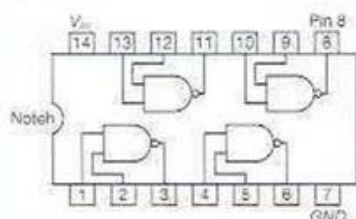
- 7410: 3 NAND de tres entradas.
- 7420: 2 NAND de cuatro entradas.
- 7430: 1 NAND de ocho entradas.
- 74133: 1 NAND de trece entradas.

¿Sabías que...?

También tenemos las **puertas triestadas**, que además de poseer los estados lógicos de nivel alto y nivel bajo, poseen un tercer estado llamado de **alta impedancia (Z)**. En este estado la salida no está conectada ni a masa ni a la tensión, sino que está como flotante.

Importante

Los circuitos integrados con puertas lógicas tienen 14 patillas, siendo la numeración como sigue (empezando por la patilla 1 con el semicírculo a nuestra izquierda):



4.3. Circuitos integrados digitales comerciales

Una de las metas de los fabricantes de componentes electrónicos es la superación de número de componentes básicos que pueden integrarse en una sola pastilla, ya que permite la reducción del tamaño de los circuitos, del volumen y del peso.

Los **componente básicos** de los integrados son las **puertas** (Tabla 12.4), las cuales se encuentran dentro de un chip o en circuitos digitales integrados con una tecnología de fabricación que trataremos en el siguiente apartado: TTL y CMOS.

Cada chip o circuito integrado (Fig. 12.2) tiene una hoja de características que facilita el fabricante.

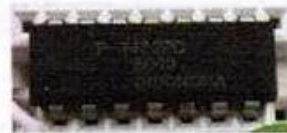


Fig. 12.3. Chip de puertas lógicas.

A su vez, cada tipo de puerta tiene su integrado del tipo 74xx, donde 74 (tecnología TTL) es la serie con las características más importantes:

- Tensión de alimentación: 5 voltios.
- Temperatura de trabajo: de 0 a 70 °C.

Y xx es un número que nos indica de qué tipo de puerta se trata. Así lo recoge la siguiente tabla:

Tipo de puerta (y nombre del circuito integrado)	Chip integrado	N.º de puertas
La puerta lógica NOT (7404)		Tiene seis puertas NOT de una entrada cada una.
La puerta lógica OR (7432)		Tiene cuatro puertas OR de dos entradas cada una.
La puerta lógica AND (7408)		Tiene cuatro puertas AND con dos entradas cada una.
La puerta lógica X-OR (7486)		Tiene cuatro puertas X-OR con dos entradas cada una.
La puerta lógica NOR (7402)		Tiene cuatro puertas NOR con dos entradas cada una.
La puerta lógica NAND (7400)		Tiene cuatro puertas NAND con dos entradas cada una.

Tabla 12.5. Chips integrados y n.º de puertas según el tipo de puerta lógica.

Estos chips tienen unos parámetros generales que vienen dados por el fabricante, como se puede ver en las hojas de características.

Caso práctico 10: Comprobación de la tabla de verdad de las puertas lógicas

Dado el siguiente esquema eléctrico, monta y simula el circuito y comprueba la tabla de verdad. Para ello utiliza un circuito 7432, que contiene cuatro puertas lógicas OR de dos entradas.

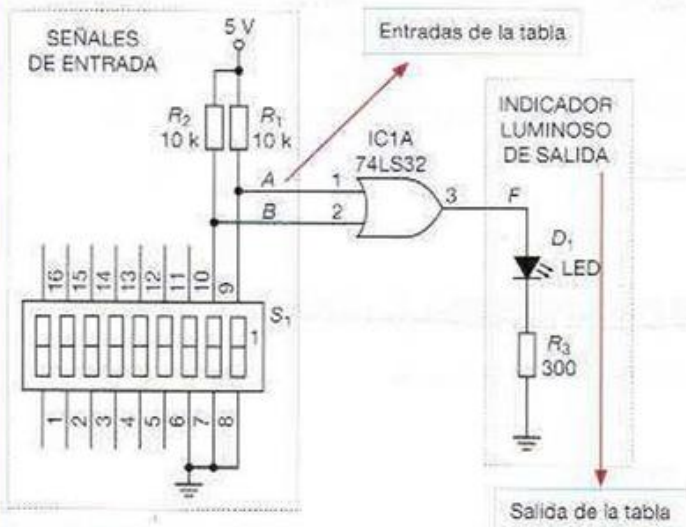


Fig. 12.4. Esquema eléctrico.

Tal como indica el enunciado, el circuito integrado que necesitamos es el 7432:

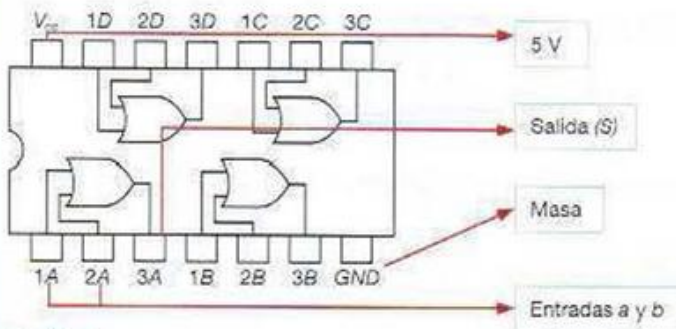


Fig. 12.6.

Por su parte, el montaje en el entrenador para la simulación es:

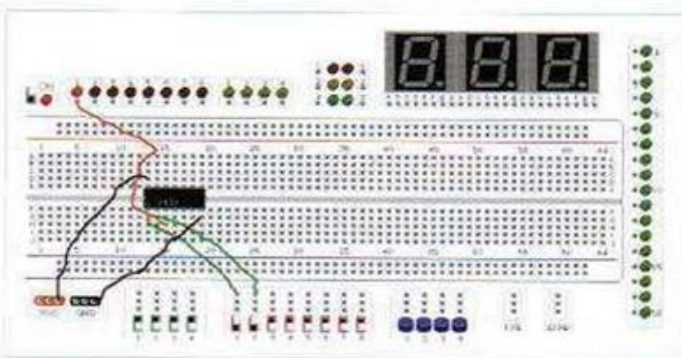


Fig. 12.9.

Para todos los integrados de puertas lógicas:

- En la patilla 14 (V_{cc}) hay que colocar el positivo de la fuente de alimentación del entrenador (5 V).
- En la patilla 7 (GND) hay que colocar el negativo de la fuente de alimentación del entrenador digital.

Solución:

Si simulamos en el entrenador, los elementos mediante los cuales vamos a aplicar los niveles digitales a nuestro montaje (0 y 1 lógicos) son los interruptores (que a su vez son las variables de entrada):



Fig. 12.5. Estados de un interruptor.

Estos estados permiten a estos dispositivos introducir un nivel lógico 0 o 1, según la posición en que se encuentren, cerrado o abierto, tal como se muestra en la Figura 12.6 (a la izquierda):

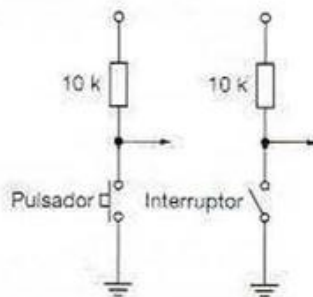


Fig. 12.7. Interruptores.

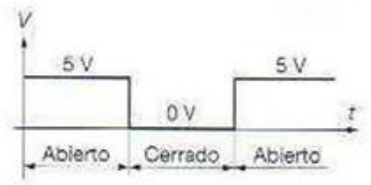


Fig. 12.8. Cronogramas.

Los niveles lógicos se representan en cronogramas como el de la Figura 12.8. La salida de la tabla de verdad iría al LED, y si el LED se enciende es un 1, y si no se enciende un 0. Con estos datos podemos construir la tabla de verdad:

A	B	Salida
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

Fig. 12.10. Tabla de verdad.

Salida a 0 LED apagado

Salidas a 1 LED encendido

● 5. Familias lógicas

Como consecuencia de las diferentes técnicas de fabricación de los circuitos integrados podemos encontrarnos con diversas familias lógicas, que se clasifican en función de los transistores con los que están construidas.

Así, cuando se utilizan **transistores bipolares** se obtiene la familia denominada **TTL**, y si se utilizan **transistores unipolares**, se obtiene la familia **CMOS**. Cada una de estas familias tiene sus ventajas e inconvenientes, por eso, para el diseño de equipos digitales se utilizará la más adecuada en cada caso.

Las **características** de todas las familias lógicas integradas son las siguientes:

- Alta velocidad de propagación.
- Mínimo consumo.
- Bajo coste.
- Máxima inmunidad al ruido y a las variaciones de temperatura.

A continuación estudiaremos ambos tipos de familias: TTL y CMOS.

● 5.1. Familia lógica TTL

Las siglas TTL significan Lógica Transistor-Transistor (del inglés, *Transistor-Transistor Logic*). En este caso, las puertas están constituidas por resistencias, diodos y transistores. Esta familia comprende varias series, una de las cuales es la **74**, y cuyas **características** son:

- Tensión comprendida entre 4,5 y 5,5 V.
- Temperatura entre 0 y 70 °C.
- $V_{iH \text{ min.}} = 2,0 \text{ V.}$
- $V_{iL \text{ máx.}} = 0,8 \text{ V.}$
- $V_{OH \text{ min.}} = 2,4 \text{ V.}$
- $V_{OL \text{ máx.}} = 0,4 \text{ V.}$
- Tiempo de propagación medio, 10 ns.
- Disipación de potencia, 10 mW por función.

Otra serie es la **54**, que presenta las mismas características que la serie 74, con la diferencia de que la temperatura de trabajo está comprendida entre -55 °C y 125 °C. Esta serie se utiliza en **aplicaciones espaciales**.

Las puertas más utilizadas son las de la serie 74, que son más comerciales. En concreto, las más empleadas son las que tienen como referencia **74Lxx**, donde la L significa *Low-power*, y cuyas características son:

- Potencia disipada por puertas: 1 mW.
- Tiempo de propagación: 33 ns.

A su vez, la S (**74Sxx**) significa *Schottky*, y sus características son:

- Potencia disipada por puertas: 19 mW.
- Tiempo de propagación: 3 ns.

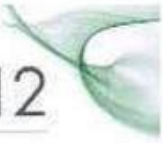
Finalmente, LS (**74LSxx**) significa *Low-power Schottky*, y sus características son:

- Potencia disipada por puertas: 2 mW.
- Tiempo de propagación: 10 ns.



¿Sabías que...?

El **diodo Schottky** está constituido por una unión metal-semiconductor (barrera Schottky), en lugar de la unión convencional semiconductor N- semiconductor P- utilizada por los diodos normales.



5.2. Familia lógica CMOS

En esta familia el componente básico es el transistor MOS (Metal-Óxido-Semiconductor).

Los circuitos integrados CMOS son una mezcla entre la NMOS, constituida por transistores de canal N, y la PMOS, cuyo elemento fundamental es el transistor MOS de canal P.

La familia CMOS básica que aparece en los catálogos de los fabricantes es la serie **4000**. Sus **características** más importantes son:

- La tensión de alimentación varía entre 3 y 18 V.
- El rango de temperaturas oscila entre -40 y 85 °C.
- Los niveles de tensión son: $V_{IL\ min.} = 3,5$ V; $V_{IL\ máx.} = 1,5$ V; $V_{OH\ min.} = 4,95$ V; $V_{OL\ máx.} = 0,05$ V.
- Los tiempos de propagación varían inversamente con la tensión de alimentación, siendo de 60 ns para 5 V y de 30 ns para 10 V.
- La potencia disipada por puerta es de 10 nW.

Inicialmente, se fabricaron circuitos CMOS con la misma disposición de las puertas en los circuitos integrados que en las familias TTL. Así, se generó la familia **74C**, compatible con la familia TTL, cuyas características son muy parecidas a las de la familia **4000**. Debido a las mejoras en la fabricación, se desarrollaron las series **74HC** (alta velocidad) y la **74HCT** (alta velocidad compatible con los niveles TTL). Estas series poseen características muy parecidas a las **LS** de la familia TTL, pero con consumos inferiores.

Las series más utilizadas son las **74HCxx**, donde HC significa **High speed CMOS**. El tiempo de propagación de estas series ofrece valores del orden de 8 ns y se alimentan con tensiones de entre 2 y 6 V.

5.3. Compatibilidad entre las familias lógicas TTL y CMOS

Si queremos conectar las distintas familias lógicas entre sí, tenemos que tener en cuenta su compatibilidad, tanto de corriente como de tensión.

• Compatibilidad de corriente

Para conectar la salida de un circuito con la entrada de otro, el circuito de la salida debe suministrar suficiente corriente en su salida, tanta como necesite la entrada del otro circuito. Por tanto se tiene que cumplir que:

- $I_{OH\ máx.} \geq I_{IH\ máx.}$ nivel alto
- $I_{OL\ máx.} \geq I_{IL\ máx.}$ nivel bajo

• Compatibilidad de tensión

Si queremos conectar la salida de un circuito con la entrada de otro circuito, se tiene que verificar que:

- $V_{OL\ máx.} \leq V_{IL\ máx.}$ nivel bajo
- $V_{OH\ mín.} \geq V_{IH\ mín.}$ nivel alto

Dado que la primera condición se cumple casi siempre, lo que tenemos es que verificar que se cumple la última (de nivel alto).

Recuerda

El componente básico de cualquier circuito integrado perteneciente a una familia lógica es el transistor, que ha sido estudiado en la Unidad 7.

Caso práctico 11: Análisis de la hoja de características de un circuito integrado con puertas

A continuación tenemos las características del circuito integrado 74LS00 (puerta NAND). Vamos a analizar sus **parámetros más importantes**, aprovechando que son iguales para todos los integrados de las demás puertas vistos hasta ahora (características generales).

Tiempo de propagación medio: es el retraso o el periodo que transcurre desde que se produce el cambio lógico a la entrada, hasta que lo hace a la salida: t_{PLH} tiempo de propagación de nivel bajo a nivel alto; t_{PHL} tiempo de propagación de nivel alto a nivel bajo.

SN74LS00						
DC CHARACTERISTICS OVER OPERATING TEMPERATURE RANGE (unless otherwise specified)						
Symbol	Parameter	Limits			Unit	Test Conditions
		Min	Typ	Max		
V_{IH}	Input HIGH Voltage	2.0			V	Guaranteed Input HIGH Voltage for All Inputs
V_{IL}	Input LOW Voltage			0.8	V	Guaranteed Input LOW Voltage for All Inputs
V_{IK}	Input Clamp Diode Voltage		-0.65	-1.5	V	$V_{CC} = \text{MIN}$, $I_{IN} = -18 \text{ mA}$
V_{OH}	Output HIGH Voltage	2.7	3.5		V	$V_{CC} = \text{MIN}$, $I_{OH} = \text{MAX}$, $V_{IN} = V_{IH}$ or V_{IL} per Truth Table
V_{OL}	Output LOW Voltage		0.25	0.4	V	$I_{OL} = 4.0 \text{ mA}$
			0.35	0.5	V	$I_{OL} = 8.0 \text{ mA}$
I_{IH}	Input HIGH Current			20	μA	$V_{CC} = \text{MAX}$, $V_{IN} = 2.7 \text{ V}$
				0.1	mA	$V_{CC} = \text{MAX}$, $V_{IN} = 7.0 \text{ V}$
I_{IL}	Input LOW Current			-0.4	mA	$V_{CC} = \text{MAX}$, $V_{IN} = 0.4 \text{ V}$
I_{OS}	Short Circuit Current (Note 2)	-20		-100	mA	$V_{CC} = \text{MAX}$
I_{CC}	Power Supply Current Total, Output HIGH Total, Output LOW			1.6	mA	$V_{CC} = \text{MAX}$
				4.4		

AC CHARACTERISTICS ($T_A = 25^\circ\text{C}$)						
Symbol	Parameter	Limits			Unit	Test Conditions
		Min	Typ	Max		
t_{PLH}	Turn-Off Delay, Input to Output		9.0	15	ns	$V_{CC} = 5.0 \text{ V}$ $C_L = 15 \text{ pF}$
t_{PHL}	Turn-On Delay, Input to Output		10	15	ns	

2. Not more than one output should be shorted at a time, nor for more than 1 second

(Cortesía de ON Semiconductor.)

Actividades

12. Consulta la hoja de características de los siguientes circuitos integrados:

a) 74LS02 b) 74HC02 c) 74LS86 d) 74HC86

Y responde a las siguientes preguntas:

- ¿Cuánto vale la tensión de entrada cuando hay un 0 lógico?
- ¿Cuánto vale la tensión de entrada cuando hay un 1 lógico?
- ¿Cuál es la tensión de alimentación para cada circuito integrado?
- ¿Cuánto vale la corriente de entrada a nivel bajo?
- ¿Cuál es el tiempo de propagación de los circuitos integrados?
- ¿Cuál es el valor de la corriente de cortocircuito de los circuitos integrados?

13. Busca en Internet la hoja de características de los siguientes integrados y explica los parámetros principales de:

a) 74HC02 b) 74HC32 c) 74LS00

Señala, además, a qué tecnología lógica pertenecen.

14. Coge del taller un inyector lógico y detecta las señales lógicas de los chips 74LS00 y 74HC00 una vez montados en el entrenador lógico.

15. Explica qué significan las letras de los chips de la Actividad 12 e indica qué puertas lógicas son. Una vez hecho esto, realiza la tabla de verdad.

16. Detalla las diferencias que observas entre los circuitos integrados de las familias lógicas TTL y las familias lógicas CMOS.

6. Instrumentos de medida

En este apartado vamos a conocer los diferentes instrumentos de medida que se usan con mayor frecuencia para el estudio de los circuitos integrados aprendidos.

6.1. Sonda lógica

La **sonda lógica** es un instrumento de medida que se utiliza con mucha frecuencia en electrónica digital y que sirve para comprobar el nivel lógico existente en la entrada o de un circuito digital.

La sonda tiene **tres LED**: rojo para el nivel de lógica alto; verde para el nivel de lógica bajo; y **amarillo** para pulsos. Cuando tocamos la patilla de un circuito integrado con la punta de prueba de una sonda lógica, se encenderá uno de los LED, dependiendo del nivel. Además, la sonda cuenta con **dos cables con pinzas**: una de color rojo y otra negra. Al usarse, la pinza roja debe conectarse al positivo del circuito y la negra al negativo. Al efectuar la conexión, el LED amarillo puede pestañear una o dos veces, pero si parpadea continuamente significa que el suministro de alimentación tiene excesiva ondulación. La sonda lógica nos puede ayudar a encontrar averías en los circuitos digitales, ya que aunque se podría utilizar un polímetro, este no puede detectar los cambios rápidos de los niveles lógicos que tiene la patilla de un circuito integrado, por eso resulta más adecuado utilizar la sonda lógica.

En la figura 12.11 se muestra una **sonda lógica y sus elementos**:



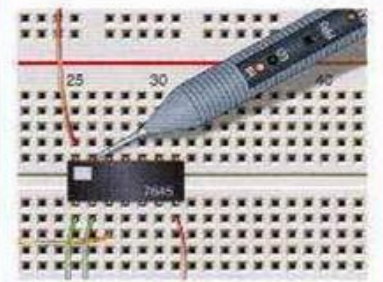
Fig. 12.11. Sonda lógica.

6.2. Pinza lógica

Cuando utilizamos una sonda lógica puede que se produzcan cortocircuitos involuntarios entre los pines del circuito integrado, y entonces solo se pueda visualizar un punto simultáneamente. Sin embargo, dado que en ocasiones tendremos que visualizar simultáneamente el estado de varias o todas las patillas de un circuito integrado, y en este caso la sonda lógica resulta insuficiente, emplearemos otro instrumento de medida: la pinza lógica.

Importante

En esta imagen puedes ver una sonda lógica comprobando el nivel en un circuito integrado.



Para cada circuito integrado existe una pinza concreta, que depende del número de patillas. Así, por ejemplo, una pinza de 16 patillas permite comprobar el funcionamiento de un circuito integrado de 16 patillas, así como el estado lógico de todas las patillas del circuito integrado, ya que para cada patilla contamos con un diodo LED.

6.3. Inyector lógico

El inyector lógico (Fig. 12.12) es otro instrumento de medida muy utilizado para comprobar el funcionamiento de los circuitos integrados. Conectado a una de las patillas de entrada del circuito integrado, introduce un tren de pulsos en el mismo que, junto con la sonda lógica a la salida, nos permite verificar si el circuito funciona correctamente.



Fig. 12.12. Inyector lógico.

6.4. Analizador lógico

El analizador lógico es un aparato de medida que recoge los datos de un circuito digital y los muestra en una pantalla. Se parece al osciloscopio, pero este instrumento es capaz de mostrar no solo dos o tres señales (muestran los cronogramas) como lo hace el osciloscopio, sino que puede mostrar las señales de múltiples canales.



Fig. 12.13. Analizador lógico.

Se emplea con mucha frecuencia para detectar errores en los circuitos digitales.

Caso práctico 12: Comprobación con una sonda lógica del nivel lógico de un circuito integrado

En la siguiente figura se muestra un chip 74LS32. Hemos de comprobar, con una sonda lógica, el nivel lógico a la salida del circuito integrado, y realizar su tabla de verdad.

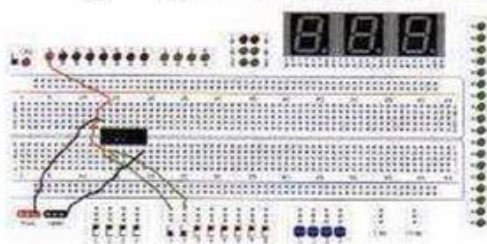


Fig. 12.14.

Solución:

Se conecta la sonda lógica a la salida del chip, o sea a la patilla número 3, y se puede comprobar que cuando la salida es un 1, se enciende el LED rojo, y cuando da un 0 a la salida, se enciende el verde. Luego la tabla de verdad es:

A	B	Salida
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

Actividad

17. Dado el siguiente montaje de un circuito integrado 74LS86, conecta una sonda lógica a la salida del chip y comprueba la tabla de verdad.

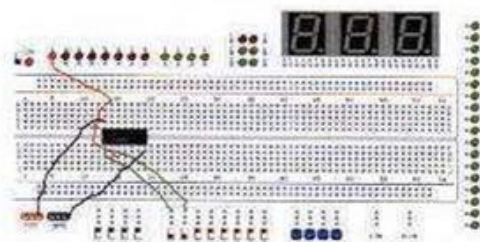


Fig. 12.15.

Práctica final: Comprobación de la tabla de verdad de las puertas NAND y NOR

1. Objetivo

Realizar el montaje en un entrenador digital y simular los siguientes esquemas eléctricos, utilizando para ello los chips con tecnología TTL necesarios.

Nota: el diodo LED está integrado en el entrenador, por lo que ya lleva la resistencia correspondiente.

Los esquemas eléctricos a montar son los siguientes:

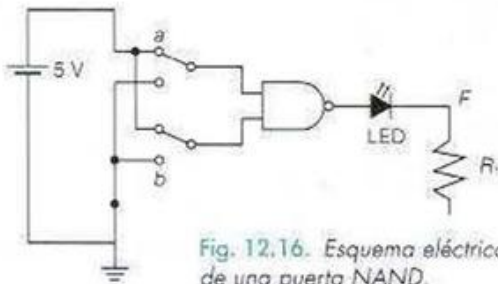


Fig. 12.16. Esquema eléctrico de una puerta NAND.

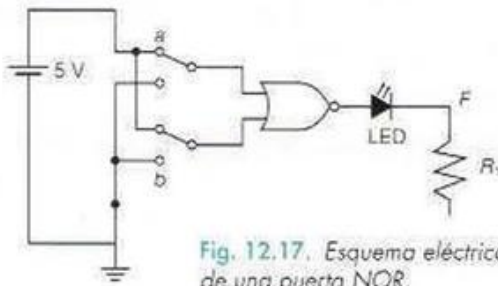


Fig. 12.17. Esquema eléctrico de una puerta NOR.

2. Materiales

- Entrenador digital con placa BOARD para el montaje de los circuitos.
- Circuitos integrados: 74LS00 para la puerta NAND y el 74LS02 para la puerta NOR.
- Un diodo LED.
- Una fuente de alimentación de 5 V del entrenador.
- Cables.
- Hoja de características del fabricante.



Fig. 12.18.



Fig. 12.19.

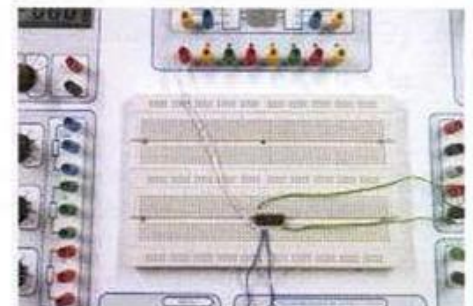


Fig. 12.20.

3. Técnica

1. Coloca los dos circuitos integrados sobre la placa BOARD. Realiza las conexiones de alimentación para ambos: V_{cc} al positivo de la fuente de alimentación y GND al negativo (Fig. 12.18).
2. Conecta a cada entrada del 74LS00 y 74LS02 un interruptor para simular la combinación binaria de entrada (Fig. 12.19).
3. Conecta a cada salida del 74LS00 y 74LS02 un diodo LED (Fig. 12.20).
4. Trabaja primero con un integrado y luego con otro, pero aplica a los dos el mismo procedimiento.
5. Introduce las combinaciones binarias en los interruptores, que son las variables de entrada (a y b).
6. Realiza las tablas de verdad de los dos integrados, siendo la salida 1 cuando el LED se encienda y la salida 0 cuando el LED esté apagado, y rellénala.

a	b	F (diodo LED) para el chip 74LS02	F (diodo LED) para el chip 74LS00
0	0		
0	1		
1	0		
1	1		

4. Cuestiones

1. ¿Qué tipo de tecnología hemos utilizado?
2. Analiza la hoja de características del fabricante y explica los parámetros fundamentales de cada uno.
3. ¿Cuál es su equivalente eléctrico? ¿Y la función lógica de cada puerta?



Test de repaso

- Si aplicamos las leyes de De Morgan a la siguiente función: $F = a + b$, obtenemos:
 - $F = a \cdot b$.
 - $F = a + b$.
 - $F = \overline{a} \cdot \overline{b}$.
 - $F = \overline{a \cdot b}$.
- Si aplicamos las leyes de De Morgan a la siguiente función: $F = \overline{a \cdot b}$, obtenemos:
 - $F = a \cdot b$.
 - $F = a + b$.
 - $F = \overline{a \cdot b}$.
 - $F = \overline{a} + \overline{b}$.
- Si tenemos tres variables de entrada para construir la tabla de verdad, ¿cuántas combinaciones necesita?
 - 4.
 - 16.
 - 8.
 - 6.
- La función de una puerta OR es:
 - $F = a \cdot b$.
 - $F = \overline{a \cdot b}$.
 - $F = a + b$.
 - $F = \overline{a \cdot b}$.
- La función de una puerta NAND es:
 - $F = a \cdot b$.
 - $F = \overline{a \cdot b}$.
 - $F = a + b$.
 - Ninguna es correcta.
- ¿Cuál de estos chips tiene tecnología TTL?
 - 74LS00.
 - 74LS32.
 - 74LS02.
 - Todos los chips anteriores.
- El chip 74LS86 es un chip con puertas:
 - NOR.
 - X-OR.
 - NAND.
 - NOT.
- La puerta que hace la función de inversor es la:
 - NOT.
 - NOR.
 - NAND.
 - Ninguna es correcta.
- Las características ideales de los circuitos integrados son:
 - Alta velocidad de propagación.
 - Mínimo consumo.
 - Bajo coste.
 - Todas las anteriores son correctas.
- Un integrado con tecnología CMOS es:
 - 74LS00.
 - 74LS08.
 - 74HC02.
 - Ninguna es correcta.
- t_{PHL} es el tiempo de propagación de:
 - Nivel bajo a nivel alto.
 - Nivel alto a nivel bajo.
 - Nivel medio a nivel alto.
 - Nivel bajo a nivel medio.
- t_{PLH} es el tiempo de propagación de:
 - Nivel bajo a nivel alto.
 - Nivel alto a nivel bajo.
 - Nivel medio a nivel alto.
 - Nivel bajo a nivel medio.

Soluciones: 1c, 2d, 3c, 4c, 5b, 6d, 7b, 8a, 9d, 10c, 11b, 12a.

Comprueba tu aprendizaje

Manejar los diferentes sistemas de numeración y los postulados de Boole

- Pasa los siguientes números decimales a binarios:
 - 789.
 - 657.
 - 312.
 - 24.
 - 16.
- Pasa los siguientes números binarios a decimales:
 - 100101.
 - 11100.
 - 1110.
 - 0011.
 - 0101.
- Pasa los siguientes números binarios a hexadecimales:
 - 10001111.
 - 111000.
 - 110101.
 - 11010101.
 - 111111.
- Pasa los siguientes números hexadecimales a binarios:
 - 87D.
 - 8B.
 - 34A.
 - 55CB.
- Pasa los siguientes números decimales a hexadecimales:
 - 675.
 - 45.
 - 9.
 - 89.
 - 16.
 - 14.

- Pasa los siguientes números hexadecimales a decimales:
 - 78B.
 - 678.
 - 10.
 - 07.
 - 9B.
- Aplica los postulados de Boole en las siguientes funciones:
 - $F = a + b \cdot (a + b)$.
 - $F = a \cdot (a \cdot \bar{a}) + b \cdot (a + b) \cdot a + b$.
 - $F = a \cdot 0 + b \cdot b + 0 \cdot a$.
 - $F = \overline{a + b} \cdot (a + b)$.
 - $F = \overline{a \cdot b} \cdot (a \oplus b) \cdot c$.
 - $F = \overline{a + b + c} \cdot (a + b) \cdot (a \oplus b)$.

Identificar las funciones lógicas básicas

- Obtén la función lógica y la tabla de verdad de las siguientes puertas lógicas:

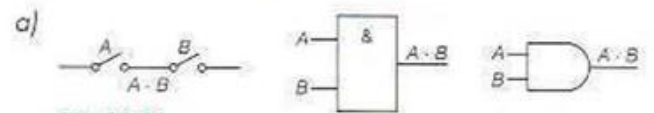


Fig. 12.21.

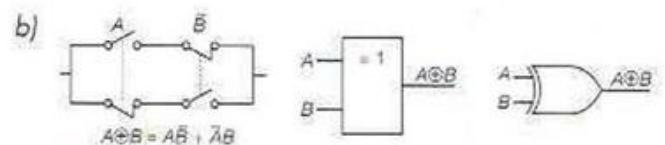


Fig. 12.22.

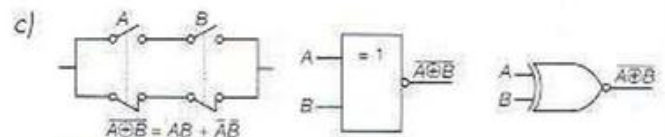


Fig. 12.23.

- Indica a qué puertas pertenecen las siguientes funciones lógicas y pon el símbolo lógico de cada una de ellas.
 - $F = a \cdot b$.
 - $F = \overline{a \cdot b}$.
 - $F = \bar{a}$.
 - $F = a \oplus b$.
 - $F = a + \bar{b}$.
 - $F = \overline{a \oplus b}$.

Comprueba tu aprendizaje

10. Obtén el símbolo lógico de las siguientes funciones:

- $F = a + b$.
- $F = a \cdot b$.
- $F = \bar{a}$.
- $F = (a \oplus b)$.

11. Obtén, del Ejercicio 2, las tablas de verdad.

12. Dados los siguientes chips, identifica de qué puerta se trata, móntalas en un entrenador y construye su tabla de verdad:

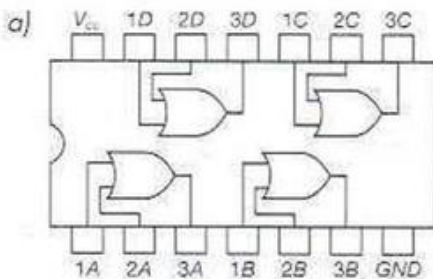


Fig. 12.24.

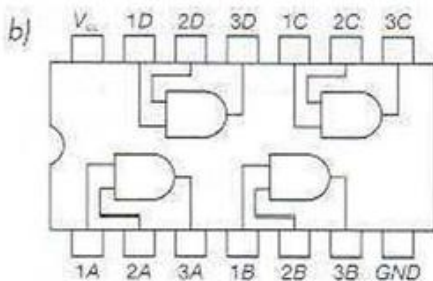


Fig. 12.25.

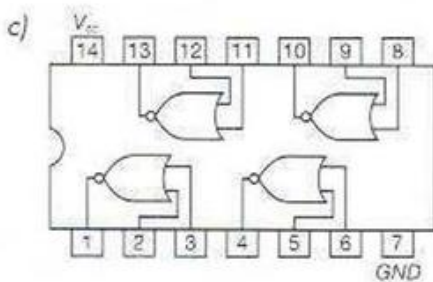


Fig. 12.26.

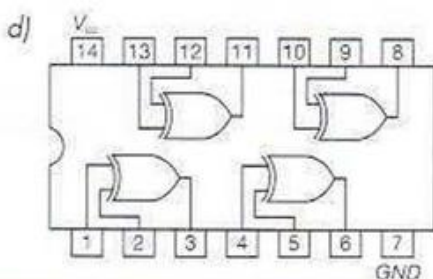


Fig. 12.27.

13. Dadas las siguientes placas de ordenador, identifica los circuitos integrados que tienen:



Fig. 12.28.



Fig. 12.29.

Analizar los parámetros de las principales familias lógicas

- Busca en Internet las características del fabricante de los integrados vistos hasta ahora y explica los parámetros fundamentales de cada uno de ellos.
- Explica las características ideales de los circuitos integrados.
- Analiza la hoja de características de un circuito integrado 74LS00 y de un integrado 74HC00, y detalla las diferencias que encuentras en los parámetros característicos.

Realizar medidas en circuitos digitales

- Comprueba el funcionamiento del siguiente circuito con ayuda de una sonda lógica:

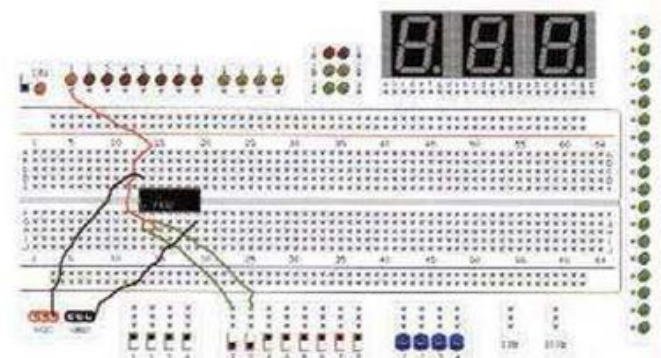


Fig. 12.30.

Importante

Los **circuitos digitales** se dividen en dos grandes grupos: **combinacionales** y **secuenciales**. En los circuitos **secuenciales** la salida depende de las variables de entrada y de lo acontecido previamente en el circuito. Son, por tanto, dependientes del tiempo. Sin embargo, la salida de los circuitos **combinacionales** es independiente del tiempo.

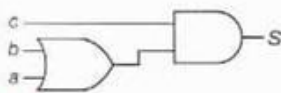


Fig. 13.1. Ejemplo de circuito lógico.

Importante

En las **expresiones** de las funciones lógicas vamos a asignar la primera letra del abecedario al bit de mayor **peso** (bit MSB). Así, el **orden** en una función de tres variables, para identificar los bits, será: **cba**.

Aunque no es la única manera de asignar los bits, es una forma bastante sencilla para recordarlo.

Es necesario prestar especial atención a la asignación de los bits, puesto que en los números binarios los valores se obtienen por la posición que ocupa cada bit dentro del número.

1. Conceptos básicos: circuitos combinacionales, función lógica y tabla de verdad

Los **circuitos combinacionales** son aquellos que se realizan mediante la combinación de las puertas lógicas, y se caracterizan porque los valores de sus salidas dependen exclusivamente de las variables de entrada, es decir, son independientes de lo que haya ocurrido previamente en el circuito.

Estos circuitos se utilizan en multitud de sistemas. Un ejemplo de su aplicación en las telecomunicaciones es la conversión del formato de datos en transmisiones digitales o la codificación de señales, entre otros.

1.1. Función lógica de un circuito

La **interconexión** de varias **puertas lógicas** da como resultado un **circuito lógico** (Fig. 13.1).

Todo circuito lógico viene caracterizado por una **expresión**, función de las variables de entrada, que nos indica las operaciones que hay que efectuar para obtener la salida del circuito. Esta salida se obtiene para cada una de las posibles combinaciones que podemos obtener con las variables de entrada. Teniendo en cuenta que estamos trabajando con parámetros binarios, la cantidad de valores que puede tomar la salida será igual a 2^n siendo n el número de variables de entrada.

La ecuación que caracteriza el comportamiento del circuito recibe el nombre de **función lógica**.

En esta función aparecerán las variables de entrada (de forma directa o complementada) y las operaciones (sumas y productos lógicos) que tenemos que realizar con cada combinación para obtener todos los posibles valores de la salida del circuito.

La **representación** en forma de **tabla** del resultado de la función lógica para cada uno de los posibles valores de entrada recibe el nombre de **tabla de verdad** del circuito.

Caso práctico 1: Obtención de los valores de salida de una función lógica

Un circuito lógico viene definido por la función:

$$S = c\bar{b} + \bar{c}a + ba$$

Obtén el valor de la salida S para la combinación de las variables de entrada: 101.

Solución:

Según la combinación que nos han facilitado para resolver este problema, el circuito tiene tres variables de entrada (y, por tanto, ocho posibles valores de la función S).

Las operaciones que tendremos que realizar son: el producto lógico de c por b complementada, el de c complementada por a y el de las variables b y a ; finalmente, calcularemos la suma lógica de los tres resultados. Si sustituimos los valores de cada una de las variables de entrada en la expresión de la función lógica, el valor de la salida S nos quedará de la siguiente manera:

$$S = 1 \cdot 1 + 0 \cdot 1 + 0 \cdot 1 = 1$$

Las variables complementadas toman el valor contrario al dado. Así, en nuestro ejemplo, \bar{b} vale 1 y \bar{c} vale 0.

Caso práctico 2: Obtención de la tabla de verdad de una función lógica

Dada la siguiente función lógica $s = \bar{b} + a$, obtén su tabla de verdad.

Solución:

Lo primero que tendremos que hacer es determinar el número de posibles combinaciones que existen para resolver la función, según la cantidad de variables de entrada. En este caso, se trata de una función de dos variables, luego las posibles combinaciones serán $2^2 = 4$. Este se corresponde con el número de filas de la tabla.

Dibujamos una tabla de cuatro filas y dos columnas. En la columna de la izquierda se representa en cada fila el número binario de la combinación de entrada. En la columna de la derecha, anotaremos la salida de la función para cada una de las combinaciones, según hemos visto en el Caso práctico 1.

La tabla de verdad para esta función lógica será la siguiente (Tabla 13.1).

b	a	$S = \bar{b} + a$
0	0	$S = 1 + 0 = 1$
0	1	$S = 1 + 1 = 1$
1	0	$S = 0 + 1 = 1$
1	1	$S = 0 + 0 = 0$

Tabla 13.1.

Generalmente, en la tabla de verdad no se incluye la ecuación de la función lógica, de esta manera, el aspecto final de la tabla es el representado por la Tabla 13.2.

b	a	S
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Tabla 13.2.

○ A. Término canónico de la función y obtención de esta a partir de la tabla

En una función lógica, el **término canónico** es aquel en el que aparecen todas las variables de entrada. Cuando en una **función** figuran en todos sus términos todas las variables de entrada, se dice que está dada **en forma canónica**.

Fijándonos en la tabla de verdad, podemos obtener dos formas canónicas para cada función lógica (Tabla 13.3).

Término	Definición	Ejemplo
Minterm	Son aquellos términos para los cuales la salida de la función vale 1. Se expresan como el producto de las variables de entrada, que serán en forma directa cuando valgan 1, y complementadas cuando valgan 0. La expresión canónica de la función vendrá dada como la suma de los productos.	$S = \bar{c}\bar{b}\bar{a} + \bar{c}b\bar{a} + \bar{c}b\bar{a}$ $S = \sum_{cba} (1,2,6)$
Maxterm	Son aquellos términos para los cuales la salida de la función vale 0. Se expresan como la suma de las variables de entrada, y la forma canónica de la función vendrá dada como el producto de las sumas.	$Y = (\bar{c} + b + a) \cdot (c + b + a)$ $Y = \prod_{cba} (3,7)$

Tabla 13.3. Formas canónicas de una función lógica.

Caso práctico 3: Forma canónica de una función lógica

Tenemos que obtener la forma canónica de la función S (en minterms) a partir de la tabla de verdad que se adjunta (Tabla 13.4).

Solución:

Nos fijamos en aquellas combinaciones de entrada para las que la salida S del circuito vale 1. En este caso, tenemos tres: 001, 010 y 110.

Cada una corresponde a un término canónico de la función S . Así, tendremos:

- a) Combinación 001: $\bar{c} \cdot \bar{b} \cdot a$ (producto de las tres variables de entrada; las que tienen «0» en la tabla están complementadas, en este caso, c y b).
- b) Combinación 010: $\bar{c} \cdot b \cdot \bar{a}$
- c) Combinación 110: $c \cdot b \cdot \bar{a}$

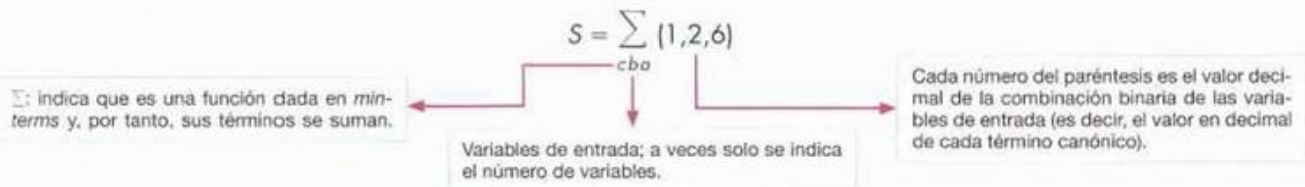
c	b	a	S
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	1
0	1	1	0
1	0	0	0
1	0	1	0
1	1	0	1
1	1	1	0

Tabla 13.4.

En la práctica se omite el punto de la multiplicación. Cada una de las expresiones que acabamos de obtener es un término canónico de la función. La suma de los tres nos dará la ecuación lógica de la función S .

Así, nos quedará la forma canónica de la función: $S = \bar{c}\bar{b}a + \bar{c}b\bar{a} + cb\bar{a}$

La función S que acabamos de obtener se puede expresar también de forma simplificada de la siguiente manera:



¿Sabías que...?

A la hora de **diseñar un circuito lógico**, los criterios que deberemos seguir son:

- a) Obtener el menor número de puertas para su montaje, lo que implica un menor número de circuitos integrados.
- b) Posibilitar la futura ampliación del circuito.
- c) Minimizar los costes.

Una vez obtenida la función lógica del circuito, el siguiente paso será obtener una expresión lo más reducida posible. Este es el **proceso de simplificación** de la función; para ello podemos utilizar diferentes **técnicas**:

- Basadas en los postulados del álgebra de Boole y las leyes de Morgan.
- De tipo gráfico, como la simplificación por Karnaugh.
- Basadas en la aplicación de algoritmos: simplificación por el método de Quine McCluskey.

La elección de la técnica de simplificación dependerá del número de variables de entrada que tenga la función y de la complejidad que tenga su aplicación. En funciones de dos variables de entrada puede ser útil aplicar el álgebra de Boole. En funciones de tres o cuatro variables de entrada, se suele utilizar la simplificación por el método de Karnaugh (la aplicación de este método para funciones de más variables de entrada es bastante compleja). Para funciones de más variables, el método ideal es el de Quine-McCluskey, puesto que se basa en un algoritmo fácilmente programable en un ordenador.

Actividades

1. Contesta a las siguientes preguntas:

- a) ¿Qué entendemos por función lógica?
- b) ¿Qué es el término canónico de una función?
- c) ¿Cómo podemos definir el término minterm?

d) ¿Para qué sirve la tabla de verdad de un circuito lógico?

2. Obtén la tabla de verdad y la expresión algebraica de la función:

$$S = \sum_{cba} (0,3,5,7)$$

2. Métodos para la simplificación de funciones lógicas

Cuando se simplifica una función lógica, se obtiene otra expresión, más reducida, que es equivalente a la primera. Es importante saber que dos funciones lógicas son equivalentes cuando ambas cumplen la misma tabla de verdad.

2.1. Simplificación de funciones mediante el álgebra de Boole

El método de simplificación de funciones mediante el álgebra de Boole presenta el inconveniente de que no es algo sistemático, sino que se basa en el perfecto conocimiento de los teoremas y postulados, así como en la experiencia previa. Esto hace que sea un método poco aplicado, aunque útil en algunas ocasiones.

Los postulados y teoremas más utilizados en la simplificación son:

$$\begin{array}{llll} a \cdot 0 = 0 & a \cdot 1 = a & a + 0 = a & a + 1 = 1 & \bar{\bar{a}} = a \\ a \cdot a = a & a \cdot \bar{a} = 0 & a + a = a & a + \bar{a} = 1 & \end{array}$$

Además de estos postulados, se aprovechan las propiedades que cumple el álgebra de Boole, vistas en la unidad anterior. También se utilizan técnicas algebraicas, como la obtención del factor común de los términos de los que consta la función. De hecho, el primer paso antes de aplicar los conceptos comentados del álgebra de Boole es sacar el factor común. Esto se hace así para eliminar variables y, en consecuencia, reducir la expresión de la función lógica hasta llegar a un punto en el que no pueda reducirse más. Cuando se ha obtenido la expresión mínima, estaremos ante la forma más adecuada para realizar el montaje del circuito.

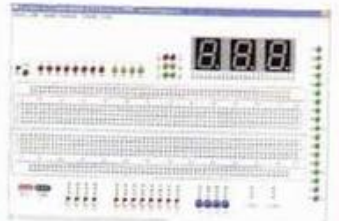
Web



En la siguiente dirección de Internet te puedes descargar un entrenador para electrónica digital con circuitos TTL, de uso libre:

<http://www.tourdigital.net/SimuladorTTLconEscenarios.htm>

Ha sido desarrollado por Arturo Javier Miguel de Priego Paz Soldán, y el aspecto de su interfaz es el siguiente:



Caso práctico 4: Simplificación mediante el álgebra de Boole

Simplifica, aplicando el álgebra de Boole, la función lógica: $S = c(b + ba + \bar{b}a + b)$

expresión nos queda: $S = c(\bar{b} + b)$, pero según hemos visto, $\bar{b} + b = 1$, luego $S = c \cdot 1 = c$.

Solución:

Solución $S = c$

Para comenzar trabajaremos con la expresión que hay dentro del paréntesis. Vamos a intentar sacar el factor común en todos aquellos términos que podamos. Una posibilidad es sacar como factor común \bar{b} y b . De esta forma, podemos llegar a la siguiente expresión: $S = c(\bar{b}(1 + a) + b(1 + a))$ como $(1 + a) = 1$. La

Como vemos, a través de la simplificación hemos reducido un circuito con tres variables y varias puertas a una expresión en la que el valor de la función es igual al de la entrada c .

2.2. Método gráfico: mapas de Karnaugh

Un mapa de Karnaugh es una representación gráfica de la tabla de verdad de un circuito lógico.

Al igual que en la tabla de verdad, se representan las combinaciones de las variables de entrada y el resultado de la función (Tabla 13.5).

El mapa de Karnaugh y la tabla de verdad pertenecen a la misma función. En el mapa, cada cuadro representa una de las posibles combinaciones de las variables de entrada y se rellena con un 1 cuando esa combinación corresponde a un minterm.

c	b	a	S
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	1
0	1	1	0
1	0	0	0
1	0	1	0
1	1	0	1
1	1	1	1

		ba			
		00	10	11	01
c	0		1		
	1		1	1	

Tabla 13.5. Mapa de Karnaugh de la función S dada por sus minterm.

Importante
 Los mapas de Karnaugh se pueden utilizar tanto para los **minterm** de la función como para los **maxterm**. En la práctica, lo más habitual es trabajar con los minterm de las funciones, y por este motivo en los mapas aparecerá un 1 en los cuadros correspondientes.

Para poder realizar las simplificaciones correctamente, el mapa de Karnaugh debe construirse cumpliendo una serie de **requisitos**:

- La adjudicación de bits que se marca para cada cuadro se hace de tal forma que **de cuadros adyacentes**, tanto horizontal como verticalmente, **solo difieren en su combinación en un bit**.
- Los **cuadros** de la columna de la izquierda del mapa son **adyacentes** con los mismos cuadros de la columna de la derecha. Lo mismo ocurre con los de la fila superior inferior del mapa.

En un mapa de Karnaugh hay muchas formas de asignar los bits y las variables, siempre que cumplan las condiciones que acabamos de establecer. Nosotros hemos elegido una acorde con el criterio que estamos empleando sobre la asignación de los bit. Veamos un **ejemplo** de un mapa de Karnaugh para una función de cuatro variable de entrada: $S = f(dcba)$.

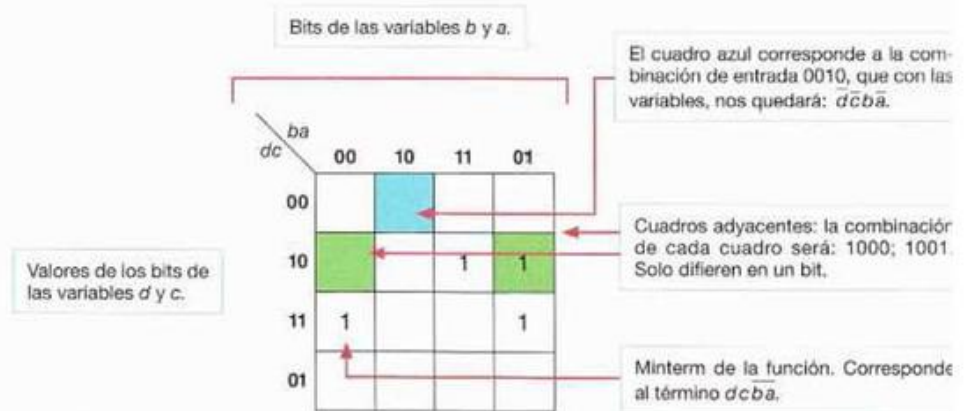


Fig. 13.2. Elementos de un mapa de Karnaugh.

Una vez que sabemos cómo se configura el mapa de Karnaugh, vamos a ver cómo **simplifica** la función. Recordemos que el objetivo es reducir el número de variables y puertas posibles a la hora de montar el circuito.

Primero colocamos todos los **minterm** de la función (los 1) en su cuadro correspondiente. A continuación, realizamos **agrupaciones** de 1, de tal forma que sean siempre potencias de 2 (es decir, los grupos pueden tener dos, cuatro, u ocho 1). Las condiciones que deben cumplir son:

- Los grupos tienen que ser lo más grandes que sea posible.
- Nunca se pueden agrupar números 1 en diagonal.
- Un mismo 1 puede pertenecer a varios grupos.

Continuaremos agrupando los 1 hasta que todos pertenezcan a algún grupo. Después **eliminamos variables** de cada grupo. Las variables que desaparecen son aquellas que cambian de valor dentro del grupo. Las variables que permanecen aparecerán multiplicándose. Es importante saber cuántas variables se eliminan en cada uno de los grupo ya que depende del tamaño del mismo. Lo vemos en la Tabla 13.6.

Si algún 1 no puede ser agrupado, no se podrá simplificar, y en la ecuación de la función aparecerá el término completo.

Cada grupo corresponde a un término de la función. Al trabajar con los minterm, cada término es un producto de las variables que quedan en el grupo después de haberlo simplificado. Vamos a ver algunos **ejemplos** de cómo realizar las agrupaciones (Fig. 13.3

Web
 Existen numerosos programas que ayudan a la simplificación de los mapas de Karnaugh. En el siguiente enlace puedes obtener uno de ellos:
<http://karnaugh-map.programas-gratis.net/descargar>

Número de 1 del grupo	Número de variables a eliminar
2	1
4	2
8	4

Tabla 13.6. Cantidad de variables a eliminar en cada grupo del mapa.

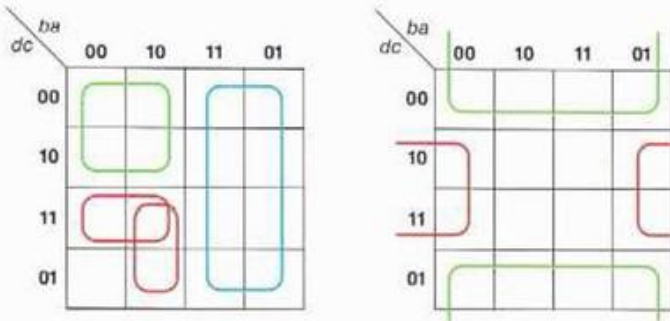


Fig. 13.3. Formación de grupos de dos, cuatro y ocho 1 en un mapa para cuatro variables.

Es importante ver en el mapa de la derecha los grupos señalados: los cuadros que los forman son también adyacentes. Existen diferentes posibilidades para la formación de grupos en un mapa de Karnaugh de una función de cuatro variables. Los cuadros de las cuatro esquinas del mapa también son adyacentes entre sí, por lo que se pueden agrupar, facilitando así la simplificación.

Si la función es de tres variables de entrada, en su mapa de Karnaugh podremos hacer agrupaciones como las que mostramos a continuación (Fig. 13.4).

Generalmente, cuando trabajamos con los mapas de Karnaugh, se suele poner en cada cuadro el **valor decimal** de la combinación binaria que lo forma, ya que ayuda bastante a la hora de situar los minterm de la función. Esto siempre depende de la forma en que hayamos decidido colocar las variables en el mapa. En nuestro caso, y según el criterio que vamos a seguir, los mapas quedarán del siguiente modo (Fig. 13.5):

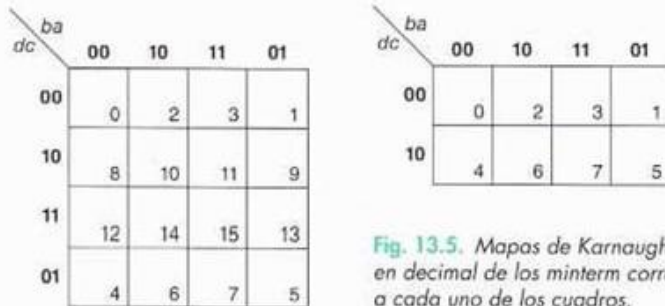


Fig. 13.5. Mapas de Karnaugh con el valor en decimal de los minterm correspondientes a cada uno de los cuadros.

Truco

Cuando colocamos los 1 de la función lógica en el mapa de Karnaugh, puede ser muy útil anotar en cada uno de los cuadros el número decimal de la combinación binaria que representa (por ejemplo, en el cuadro 0010, colocar en la esquina inferior derecha el número 2).

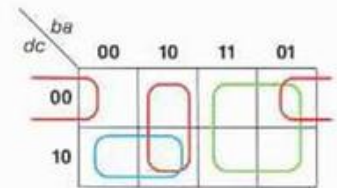


Fig. 13.4. Ejemplo de formación de grupos en un mapa de tres variables.

Importante

Para funciones de más de cuatro variables no es recomendable este método, y en la práctica no se utiliza: se emplean varios mapas de Karnaugh juntos y esto complica mucho la formación de grupos de 1. Si fuera necesario simplificar una función de estas características, recurriremos a otros métodos, como el de Quine-McCluskey.

Caso práctico 5: Aplicación del método de Karnaugh

Simplifica el siguiente mapa de Karnaugh (Fig. 13.6) y obtén la expresión más reducida posible de la función lógica correspondiente.

Solución:

Tenemos que procurar seleccionar todos los 1 y que los grupos sean lo más grandes que sea posible. De esta manera, podemos hacer un grupo de ocho (en el que se eliminarán tres variables) y un grupo de cuatro (en el que se eliminarán dos variables). Hemos puesto en color las variables que no cambian dentro de los grupos (Tabla 13.7):

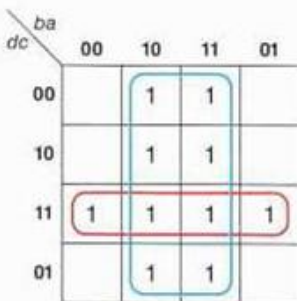


Fig. 13.6.

d	c	b	a
0	0	1	0
0	0	1	1
1	0	1	0
1	0	1	0
1	1	1	0
1	1	1	1
0	1	1	0
0	1	1	1

Grupo de 8

d	c	b	a
1	1	0	0
1	1	1	0
1	1	1	1
1	1	1	1

Grupo de 4

Tabla 13.7.

Estas variables son las que dan lugar a los términos de la función lógica simplificada. De esta forma, el resultado de la simplificación es: $S = b + dc$.

Con esto ya podemos montar el circuito lógico.

3. Circuitos combinacionales con puertas lógicas

Web

Los **simuladores** de circuitos son herramientas muy útiles a la hora de realizar comprobaciones, obtener tablas de verdad, etc. Los esquemas de los casos prácticos de esta unidad están realizados con el simulador NI MULTISIM. En el siguiente enlace te puedes descargar una demo del programa:

<http://www.ni.com/multisim/>

Hasta ahora hemos enunciado las técnicas de simplificación de las funciones lógicas y las diferentes formas de representarlas. A continuación vamos a ver algunos casos concretos de **aplicación** en circuitos combinacionales con puertas lógicas.

3.1. Obtención de la función lógica y la tabla de verdad desde el esquema de un circuito lógico

Si no tenemos la expresión de la función lógica, pero sí su **esquema eléctrico**, podremos deducir la función lógica y la tabla de verdad correspondientes.

Para obtener la expresión algebraica tendremos en cuenta que cada puerta lógica proporciona un término de la ecuación final, e iremos recorriendo el circuito desde las entradas hasta llegar a la salida (en el caso de que solo tenga una). Obtendremos así la función lógica completa que caracterizará el comportamiento del circuito.

También podemos obtener el esquema eléctrico a partir de la función lógica. Para ello, nos fijaremos en las operaciones que se van realizando con las variables de entrada y buscaremos la puerta que implementa dicha operación para realizar las conexiones oportunas y obtener el esquema.

Caso práctico 6: Obtención de la función lógica y la tabla de verdad a partir de un esquema

Dado el esquema del siguiente circuito lógico (Fig. 13.7), obtén la expresión de su función lógica y su tabla de verdad.

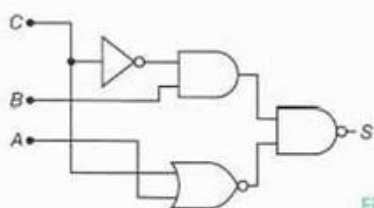


Fig. 13.7.

Solución:

Para la obtención de la función lógica vamos calculando las ecuaciones parciales tal y como vemos en la Figura 13.8, en función de la operación que realiza cada puerta lógica.

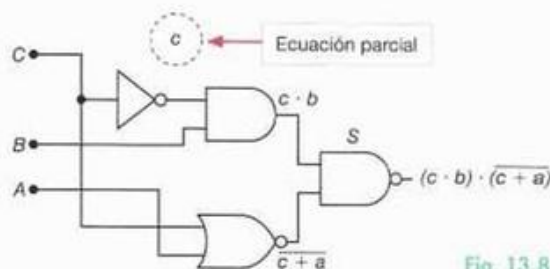


Fig. 13.8.

Para obtener la tabla de verdad hay que asignar todos los posibles valores a las variables de entrada, realizar las operaciones lógicas en cada una de las puertas del circuito y obtener el resultado para cada una de las combinaciones.

Caso práctico 7: Obtención de la tabla de verdad de un circuito a partir de su esquema eléctrico

Dado el esquema de la Figura 13.9, obtén su tabla de verdad.

Solución:

Primero determinamos el número de filas que va a tener la tabla. Al tener tres variables de entrada (c , b , a) tendremos una tabla de verdad de 2^3 filas (ocho filas).

Para obtener la tabla a partir del circuito vamos sustituyendo las variables por cada una de las combinaciones de entrada y calculamos el valor de la salida S . Como **ejemplo**, vamos a calcular el valor de la función para la combinación de entrada 000 (primero de la tabla de verdad):

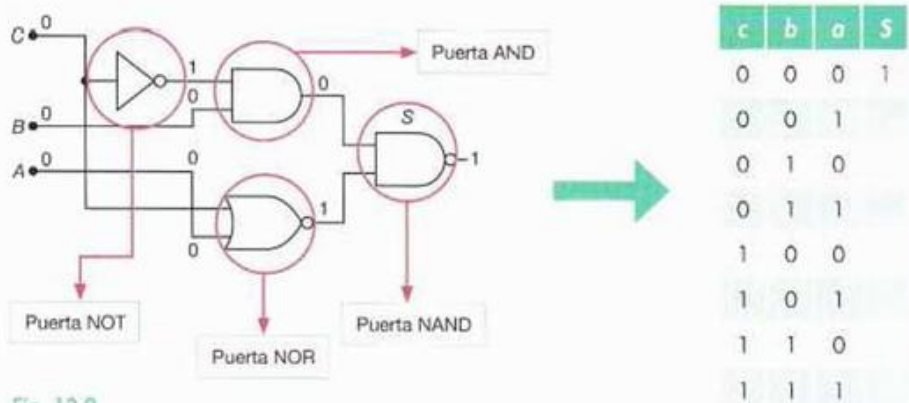


Fig. 13.9.

El proceso se irá repitiendo hasta obtener todos los posibles valores de la tabla. Si montamos el circuito en un simulador, obtendremos la tabla de verdad de manera bastante simple (Fig. 13.10).

Con los interruptores vamos poniendo cada una de las combinaciones de entrada (cerrado = 1; abierto = 0) y observamos si se enciende el diodo LED (será un 1 de salida) o si permanece apagado (equivaldrá a un 0).

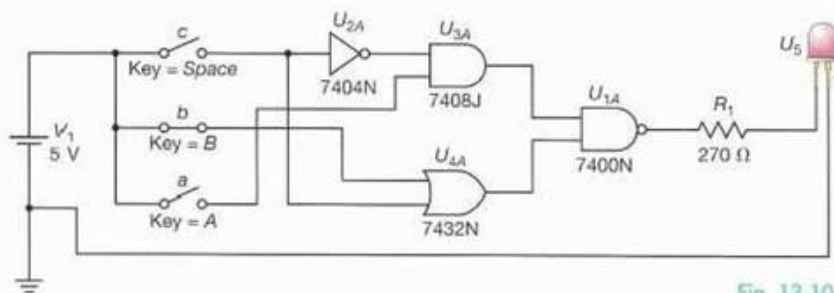


Fig. 13.10.

Actividades

3. Simplifica las siguientes funciones lógicas utilizando los mapas de Karnaugh:

$$S = \sum_{dcba} (0, 1, 2, 4, 6, 7, 10, 12, 13) \quad Z = \sum_{dcba} (0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14)$$

$$Y = \sum_{cba} (1, 3, 5, 7) \quad V = \sum_{cba} (0, 1, 4, 7)$$

4. Busca en Internet alguna de las herramientas informáticas que se han creado para resolver mapas de Karnaugh y comenta sus principales características. Cita al menos tres ejemplos e indica las diferencias que observes con arreglo a la explicación teórica de la unidad.
5. Termina de completar la tabla de verdad del Caso práctico 7 con los datos que se aportan en él.

3.2. Obtención del esquema eléctrico de un circuito a partir de la expresión de la función lógica

Para implementar físicamente un circuito lógico necesitamos tener su esquema eléctrico. En su elaboración debemos utilizar los símbolos normalizados correspondientes a cada uno de los elementos que intervienen en el circuito.

Caso práctico 8: Obtención del esquema eléctrico del circuito lógico

Halla el esquema del circuito lógico dado por la función $S = (c + b) \cdot \bar{a}$:

Solución:

Analicemos las operaciones que se realizan en el circuito para ver qué puertas lógicas pueden ser implementadas:

- La operación de salida del circuito es un producto lógico entre el resultado del primer término y la variable a complementada. La puerta que realiza esta operación es una puerta AND.
- El primer término es la suma de las variables c y b , y el complemento del resultado. La puerta que realiza esta operación será una puerta NOR.

- Las variables complementadas se obtienen haciendo pasar las variables de entrada por una puerta NOT (inversora).

En función de este análisis, el esquema del circuito lógico será el de la Figura 13.11.

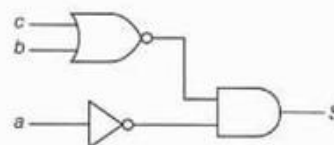


Fig. 13.11.

Actividad

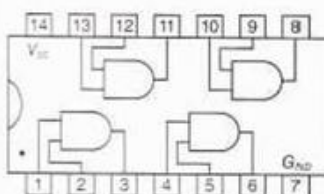
6. Dibuja el esquema eléctrico correspondiente a las siguientes funciones lógicas:

$$S = [(c + b + a) + (\bar{c}b)] (b + \bar{a})$$

$$Y = (b + \bar{a})(\bar{c} + a)$$

Recuerda

Si estamos montando un circuito lógico con dispositivos TTL y necesitamos, por ejemplo, una puerta AND, tendremos que utilizar una de las que viene en el circuito integrado 7408 (circuito integrado TTL con cuatro puertas AND), cuyo esquema interno vemos a continuación:



Necesitamos conocer la **disposición interna** del integrado para saber a qué corresponde cada uno de los pines, con la finalidad de hacer el cableado del circuito.

3.3. Montaje físico de un circuito lógico

Una vez que hemos obtenido el esquema del circuito lógico, el último paso será proceder a su **montaje** con los componentes físicos correspondientes.

Antes del montaje final en el equipo correspondiente donde vaya a ir insertado el circuito, procederemos a su **análisis en el laboratorio**, bien mediante el montaje del mismo en una placa de **prototipos** (placa BOARD, que permite conectar los componentes sin necesidad de soldarlos) o mediante una **simulación** por ordenador.

Se trata de comprobar que el circuito se comporta tal y como esperamos, es decir, el montaje que hemos realizado verifica la tabla de verdad sobre la cual hemos diseñado el mismo.

Además, tendremos que decidir qué **familia lógica** vamos a utilizar (TTL, CMOS, etc.) y cuáles son los integrados correspondientes a las puertas lógicas que nos hacen falta para poder realizar el montaje. La disposición de los componentes en el circuito integrado la proporciona el fabricante del mismo en su hoja de características: es imprescindible conocerlo para poder realizar el conexionado de todas las puertas.

Según hemos visto en la Unidad 12, cada tipo de puerta lógica que se utilice para montar el circuito será una parte de un circuito integrado en el que se encontrarán varias de ellas.

Caso práctico 9: Montaje completo de un circuito combinacional

Deseamos montar un circuito digital, con cuatro entradas codificadas en BCD, y que tenga como salida un diodo LED rojo. Este diodo se encenderá cuando el número correspondiente a la combinación de la entrada sea impar. Si el número de la entrada no corresponde a un número en BCD, el diodo estará apagado. Tenemos que obtener la tabla de verdad, la función simplificada y el esquema con puertas lógicas correspondiente.

Solución:

Lo primero que tenemos que hacer es obtener la tabla de verdad del circuito a partir del enunciado. Para ello vamos a considerar que la salida del circuito estará a 1 cuando el diodo deba encenderse, y a 0 cuando el diodo esté apagado.

Recordemos que el código BCD solo representa los valores de los números decimales de 0 a 9 (con 4 bits), por lo que las combinaciones a partir del 10 y hasta el 15 darán un 0 en la salida de la tabla de verdad. El número cero no se va a considerar impar.

De esta forma, la tabla de verdad del circuito nos quedará como sigue (Tabla 13.8):

d	c	b	a	S
0	0	0	0	0
0	0	0	1	1
0	0	1	0	0
0	0	1	1	1
0	1	0	0	0
0	1	0	1	1
0	1	1	0	0
0	1	1	1	1
1	0	0	0	0
1	0	0	1	1
1	0	1	0	0
1	0	1	1	0
1	1	0	0	0
1	1	0	1	0
1	1	1	0	0
1	1	1	1	0

Tabla 13.8.

La expresión de la función, dada por sus minterm será:

$$S = \sum_{dcba} (1,3,5,7,9)$$

Vamos a simplificar la función, aplicando el método de Karnaugh con el fin de reducir el número de puertas que necesitaríamos si montamos el circuito desde la forma canónica.

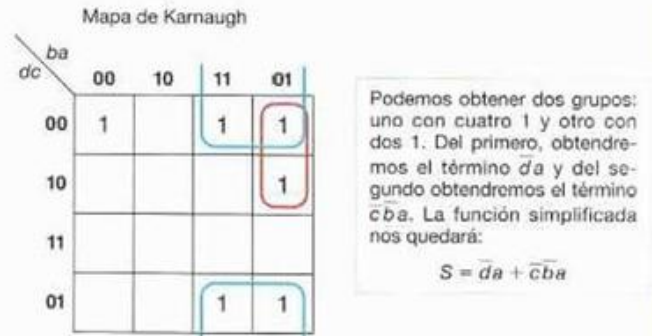


Fig. 13.12.

Si sacamos el factor común de la variable a podremos simplificar más la función:

$$S = a(\bar{d} + \bar{c}b)$$

Esquema eléctrico:

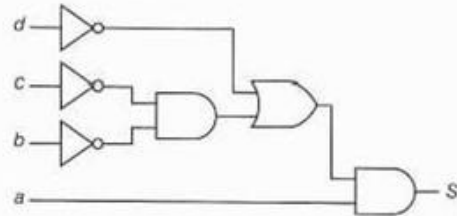


Fig. 13.13.

Montaje en el simulador:

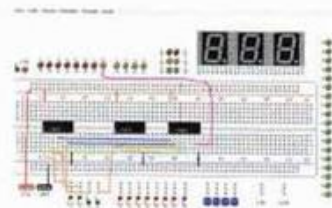


Fig. 13.14.

Lista de integrados necesarios:

7432: cuatro puertas OR.

7408: cuatro puertas AND.

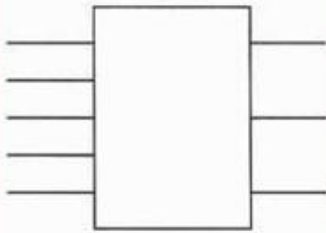
7404: seis puertas NOT.

Consulta la hoja de características de cada integrado para ver su constitución interna.

! Importante

En electrónica se representan habitualmente los circuitos o componentes mediante un **diagrama de bloques**.

En este diagrama se simboliza el componente como una caja en la que únicamente aparecen las entradas a un lado y las salidas a otro, sin tener ninguna idea del esquema del circuito interno.



En el interior de la caja aparece información sobre el tipo de circuito de que se trata: es necesaria para saber cuál es el funcionamiento del mismo, el nombre, el número del integrado que representa, etc.

En electrónica digital, este tipo de representación se denomina **símbolo lógico**, muy utilizado en los esquemas eléctricos.

@ Web

En los siguientes enlaces tienes acceso a las páginas web de algunos de los más importantes fabricantes de circuitos integrados:

<http://www.fairchildsemi.com/>

<http://www.national.com/analog>

<http://www.motorola.com/semiconductors/>

● 4. Bloques combinacionales

Si queremos desarrollar una aplicación de tipo lógico, siempre es posible realizarla con un **circuito combinacional** únicamente formado por **puertas lógicas**. Sin embargo, hay determinados circuitos para los que, debido a la frecuencia con la que se utilizan, recomendamos su realización en un circuito integrado.

Los **bloques combinacionales** son los circuitos integrados diseñados específicamente para la realización de una determinada función lógica. Por la cantidad de componentes (transistores) que incorporan en su interior, se corresponden con circuitos de tipo MSI (escala de integración media).

Los bloques combinacionales que se utilizan habitualmente son los siguientes:

- **Decodificadores:** son circuitos capaces de interpretar un determinado código que reciben en sus entradas y activar una determinada salida (según la función lógica para la que han sido diseñados).
- **Codificadores:** realizan la función inversa a los anteriores. Generan un determinado código en sus salidas (según su diseño), que puede ser un número binario, etc., cuando se activa alguna de sus entradas.
- **Multiplexores:** son circuitos capaces de seleccionar, y dejar pasar a su única salida la información de aquella entrada que esté seleccionada a través de unas líneas de control. Son circuitos selectores de datos.
- **Demultiplexores:** son circuitos de una sola entrada y varias salidas por las que se recibe la información. Son capaces de enviar esa información a la salida que está seleccionada según las líneas de control.
- **Comparadores:** son circuitos que comparan dos números binarios A y B . Tienen tres salidas: una nos indica si los dos números son iguales, otra si $A > B$, y la tercera si $A < B$.

● 4.1. Decodificadores

Los **decodificadores** son circuitos que interpretan los códigos que reciben en sus entradas y proporcionan la salida según hayan sido diseñados.

En función de esta característica, podemos dividir los decodificadores en dos grandes grupos:

- **Decodificadores binarios:** son aquellos circuitos que trabajan con números codificados en binario en su entrada.
- **Decodificadores especiales:** son aquellos decodificadores capaces de descifrar códigos distintos del binario y proporcionar una determinada salida.

○ A. Decodificadores binarios

Un **decodificador binario** es un circuito lógico que tiene como entrada una información codificada en binario y posee tantas salidas como posibles combinaciones binarias distintas puede haber a la entrada.

Solo se activa una **única salida** cada vez que se recibe un código a la entrada. Esta salida corresponde al **número decimal** equivalente a la combinación binaria que se aplica a la entrada. En otras palabras, un decodificador examina sus entradas para determinar qué número binario está presente, y activa la salida correspondiente a ese número.

El **símbolo genérico** de un decodificador de N bits de entrada es el siguiente (Fig. 13.15):

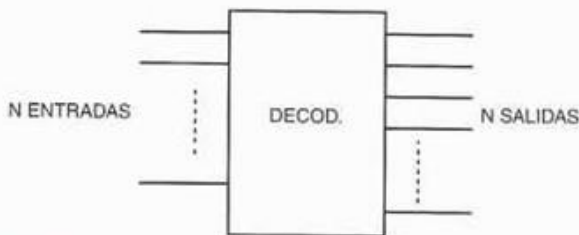


Fig. 13.15. Símbolo genérico de un decodificador de N entradas.

Es importante destacar que las **salidas** de la mayoría de los **decodificadores** que podemos encontrar **integrados**, son **activas a nivel bajo** (trabajan con lógica negativa de salida).

Los decodificadores se nombran en función del número de entradas y salidas que tienen. Así, podemos tener, por ejemplo, un decodificador 2 a 4 (2 entradas y 4 salidas), 3 a 8 (3 entradas y 8 salidas), etc.

Dentro de los **modelos comerciales** podemos encontrar los siguientes:

- 74xx42, decodificador BCD.
- 74xx45, decodificador BCD a decimal driver.
- 74xx47, decodificador BCD a 7 segmentos driver en colector abierto.
- 74xx48, decodificador BCD a 7 segmentos driver.
- 74xx49, decodificador BCD a 7 segmentos driver en colector abierto.
- 74xx138, decodificador/demultiplexor de 3 a 8.
- 74xx139, doble decodificador/demultiplexor de 2 a 4.
- 74xx145, decodificador BCD a decimal driver.
- 74xx154, decodificador hexadecimal/demultiplexor de 4 a 16.
- 74xx156, doble decodificador/demultiplexor de 2 a 4 en colector abierto.
- 74xx237, decodificador/demultiplexor de 3 a 8.
- 74xx238, decodificador/demultiplexor de 3 a 8.
- 74xx247, decodificador BCD a 7 segmentos driver en colector abierto.

B. Decodificadores especiales

Se denominan decodificadores especiales a todos los que no responden a la siguiente fórmula: número de salidas = $2^{\text{número de entradas}}$. Analizaremos los más utilizados:

- **Decodificador 4 a 10 (decodificador BCD a decimal).** Según la nomenclatura que hemos visto anteriormente, se trata de un decodificador con 4 entradas y 10 salidas. En sus entradas recibe un número binario codificado en BCD y en la salida activa la línea del número decimal correspondiente a esa combinación.
- **Decodificador BCD a 7 segmentos.** Es uno de los decodificadores más utilizados para la activación de los visualizadores denominados displays de 7 segmentos, como veremos más adelante. El decodificador recibe un número binario codificado en BCD y a

Recuerda

En **electrónica digital** tenemos **dos tipos de entradas y salidas**:

- **Lógica positiva:** son activas con un 1 lógico (activas a nivel alto).
- **Lógica negativa:** se consideran activas cuando tienen un 0 lógico (activas a nivel bajo).

Ten cuidado

Asegúrate, siempre que utilices un circuito integrado, del tipo de lógica con la que trabaja, tanto en las entradas como en las salidas, para poder interpretar correctamente su tabla de verdad y comprender así su funcionamiento.

Importante

En las tablas de verdad que aparecen en las hojas de características, el 0 aparece como L (Low: nivel bajo) y el 1 como H (High: nivel alto).

Truco

El código **BCD** es una representación de los **números decimales** (del 0 al 9) con **cuatro bits**. Por ello, la mayor combinación binaria que puede aparecer en este código es la equivalente al 9: 1001. Las combinaciones desde los números 10 al 15 no existen en BCD (solo en números codificados en binario natural).

Importante

El display de 7 segmentos, formado por diodos LED, representa números (y en algunas ocasiones letras), iluminando combinaciones de los segmentos correspondientes. El tipo de display (ánodo común o cátodo común –según la conexión de los diodos–) nos indicará qué decodificador debemos utilizar (7447 o 7448).

Los modelos comerciales incluyen también el punto decimal.

la salida activa los segmentos correspondientes que representan el número que ha recibido en la entrada (Fig. 13.16).

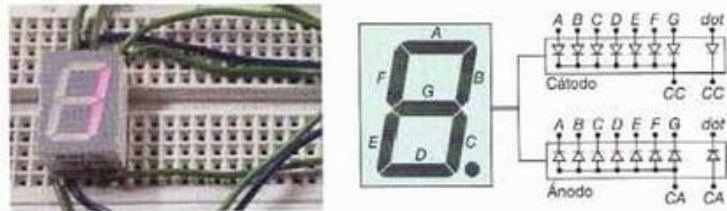


Fig. 13.16. Display de 7 segmentos funcionando.

En la Figura 13.16, en la entrada del decodificador se ha recibido la combinación binaria 0011 (número 3) y en la salida ha activado los segmentos A, B, C, D y G, según la disposición que podemos ver en el gráfico de la derecha.

Este decodificador tiene cuatro entradas y siete salidas, una para cada segmento del display. Fíjate en las características de uno de los decodificadores más utilizados, el 7447 BCD a 7 segmentos, utilizado para displays de ánodo común.

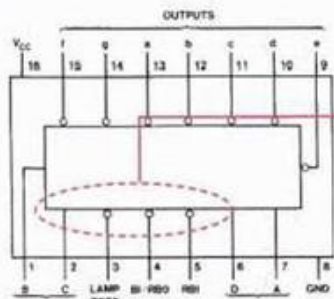
Caso práctico 10: Análisis de la hoja de características de un decodificador 7447

Los visualizadores (displays) son elementos muy utilizados; vamos a ver cómo se utiliza el decodificador que necesitamos para que funcione correctamente.

Tabla de verdad dada por el fabricante (Fig. 13.18):

Solución:

Esquema del patillaje del circuito integrado (Fig. 13.17):



Order Number DM5447AJ, DM7446AN or DM7447A
See NS Package Number J16A or N16E

Fig. 13.17.

Las patillas son activas con 0 (trabaja con lógica negativa).

Los pines que tiene el integrado son:

- a-g, salidas a los segmentos. Son activas con un nivel bajo, por el tipo de display para el que está diseñado.
- D, C, B, A entrada código BCD (D: bit de mayor peso).
- LT: Lamp Test.
- RBI: Rejection Blanking Input.
- RBO: Rejection Blanking Output.

El integrado pertenece a la familia TTL, y en consecuencia debe ser alimentado con 5 V: colocamos el positivo en la patilla 16 y el negativo en la patilla 8.

Decimal or Function	Inputs						BI/RBO (Note 1)	Outputs							Note	
	LT	RBI	D	C	B	A		a	b	c	d	e	f	g		
0	H	H	L	L	L	L	H	L	L	L	L	L	L	H		
1	H	X	L	L	L	H	H	L	L	L	L	H	H	H		
2	H	X	L	L	H	L	H	L	L	H	L	L	H	H	L	
3	H	X	L	L	L	H	H	L	L	L	L	L	H	H	L	
4	H	X	L	L	L	L	H	L	L	L	L	H	H	L	L	
5	H	X	L	H	L	H	H	L	L	L	L	H	L	L	L	
6	H	X	L	H	H	L	H	H	H	L	L	L	L	L	L	
7	H	X	L	H	H	H	H	L	L	L	L	H	H	H	H	
8	H	X	H	L	L	L	H	H	L	L	L	L	L	L	L	(2)
9	H	X	H	L	L	H	H	L	L	L	L	H	H	L	L	
10	H	X	H	L	H	L	H	H	H	H	L	L	L	H	L	
11	H	X	H	L	H	H	H	H	H	H	L	L	L	H	L	
12	H	X	H	H	L	L	H	H	L	L	H	H	L	L	L	
13	H	X	H	H	L	H	H	L	L	H	H	L	L	H	L	
14	H	X	H	H	H	L	H	H	H	H	L	L	L	L	L	
15	H	X	H	H	H	H	H	H	H	H	L	L	L	L	L	
(0)	X	X	X	X	X	X	L	H	H	H	H	H	H	H	H	(3)
(RBI)	H	L	L	L	L	L	L	L	H	H	H	H	H	H	H	(4)
(LT)	L	X	X	X	X	X	H	L	L	L	L	L	L	L	L	(5)

Note 1: BI/RBO is a 5V-ABC logic input as blanking input (BI) and/or reject-blanking output (RBO).
 Note 2: The blanking input (BI) must be open or tied to a high logic level when output functions 0 through 15 are desired. If reject-blanking input (RBO) must be open or high if blanking of all decimal digits is not desired.
 Note 3: When a low logic level is applied directly to the blanking input (BI), all segment outputs are high regardless of the level of any other input.
 Note 4: When reject-blanking input (RBI) and reject A, B, C, and D are all at a low level with the lamp test input high, all segment outputs go high and the reject-blanking output (RBO) goes to its low level (programmer's control).
 Note 5: When the blanking input (BI/RBO) is open or tied high and a low is applied to the lamp test input, all segment outputs are L.
 H = High level, L = Low level, X = Don't Care

Los segmentos que se encienden en el display son los que aparecen en la tabla como L.

Aunque el decodificador es para código BCD, si en la entrada recibe un número superior a 9 también se encenderán determinados segmentos.

Fig. 13.18.

[Continúa]

Caso práctico 10: Análisis de la hoja de características de un decodificador 7447

(Continuación)

Entradas			Salidas	
\overline{LT}	RBI (Input)	Pines DCBA	RBO (Output)	Efecto
0	X	X	1	Todos los segmentos «ON».
1	1	X	1	Decodificación normal.
1	0	n.º BCD \neq 0	1	Decodificación normal.
1	0	n.º BCD = 0	0	Todos los segmentos «OFF».

Tabla 13.9.

La Tabla 13.9 muestra cómo deben configurarse las tres patillas indicadas. \overline{LT} (entrada) sirve para probar el display

y asegurarnos de que funcionan todos los segmentos. RBI es otra entrada, que debe estar a 1 para que decodifique normalmente. Se puede utilizar para que no aparezca el 0 en el display.

Entre la patilla del 7447 y la patilla del display hay que colocar un resistor, con un valor aproximado de 270 Ω , con el fin de que no pase demasiada corriente por el diodo del segmento del display.

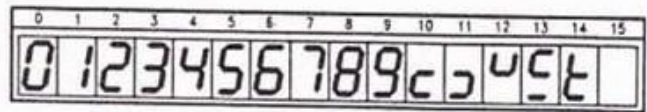


Fig. 13.19. Segmentos que se encenderán (según la tabla de verdad).

Actividades

- Consulta la hoja de características de un decodificador 7448 y compárala con el 7447. ¿Cuáles son las diferencias fundamentales?
- Busca la hoja de características de un 74145. Analiza su tabla de verdad y explica brevemente cómo funciona dicho circuito.

4.2. Codificadores

El **codificador** es un circuito combinatorial MSI que desempeña la función inversa a los decodificadores, es decir, ante la activación de una línea de entrada, en la salida proporcionará el código que corresponda a esa entrada.

Poseen en general 2^N entradas y N salidas de código, en las que aparece codificado en binario el valor de la entrada que ha sido activada. Los codificadores pueden ser de dos tipos:

- Codificadores sin prioridad:** en estos codificadores no se puede activar simultáneamente más de una entrada, pues aparecen códigos erróneos.
- Codificadores con prioridad:** si se activan dos o más entradas aparece el código de mayor prioridad, normalmente la línea de mayor peso. En cada modelo concreto nos tenemos que asegurar de cuál es la prioridad, si es la línea de mayor peso o la de menor peso.

La **representación gráfica** general de un codificador binario es:



Fig. 13.20. Codificador genérico de N entradas.

Recuerdo

Las **dos x** que aparecen en el nombre del integrado hacen alusión al **tipo de familia lógica** a la que pertenecen (Unidad 12). El funcionamiento del integrado es el mismo para todos ellos, y la tabla de verdad será también idéntica.

Importante

En las tablas de verdad que nos dan los fabricantes, aparece algunas veces como valor de la variable correspondiente una X en lugar de un 1 o un 0.

Cuando una variable aparece con X, puede tomar indistintamente los valores 1 o 0 sin que varíen las salidas. Esto permite expresar de forma más reducida dicha tabla.

Estos circuitos no se utilizan demasiado. Como ejemplo podemos citar el codificador 8 a 3, que tiene ocho entradas y tres salidas, donde aparece el número binario que corresponde a la entrada que esté activa, y el codificador decimal 10 a 4. Este codificador tiene diez líneas de entrada y cuatro de salida, donde aparece en BCD el número codificado correspondiente a la entrada que esté activa.

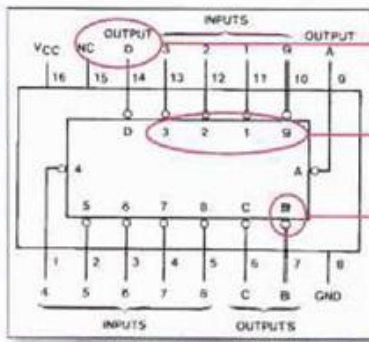
Dentro de los codificadores comerciales, alguno de los **modelos más utilizados** son:

- **74xx148.** Se trata de un codificador 8 a 3, con prioridad en la línea de mayor peso. Su lógica es negativa tanto en la entrada como en la salida.
- **74xx147.** Se trata de un codificador decimal, de este modo dará en su salida el código binario correspondiente a los números comprendidos entre 0 y 9.

Caso práctico 11: Análisis de la hoja de características de un circuito integrado 74147

Analiza las principales características del circuito integrado 74147 a partir de su tabla de verdad.

Esquema del patillaje del integrado:



Bit de mayor peso.

Entradas trabajando con lógica negativa.

Indica que la salida trabaja con lógica negativa (son activas con 0).

Funcionamiento:

Consta de nueve entradas de datos, correspondientes a los números del 1 al 9. El integrado interpreta que tiene como entrada un 0 cuando las nueve líneas anteriores están a nivel alto.

Tiene 4 líneas de salida donde dará la combinación binaria correspondiente a la entrada que esté activa. Este circuito trabaja con prioridad a la línea de mayor peso, y en el caso de que se activen varias líneas a la vez, la salida que proporciona es la correspondiente a la entrada de mayor valor. Si no hay ninguna línea de entrada activada, las cuatro salidas estarán a nivel alto (y por tanto corresponden a la combinación en binario del 0 decimal).

Traducción literal del principio de la hoja de características. El fabricante explica cómo funciona el circuito.

Fig. 13.21.

La tabla de verdad de este circuito es la siguiente (Fig. 13.22):

Inputs									Outputs			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	D	C	B	A
H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H
X	X	X	X	X	X	X	X	L	L	H	H	L
X	X	X	X	X	X	X	L	H	H	L	L	L
X	X	X	X	X	L	H	H	H	H	L	L	H
X	X	X	L	H	H	H	H	H	H	L	H	H
X	X	L	H	H	H	H	H	H	H	H	L	L
X	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	L	H
L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	L

Si queremos que el codificador de la salida correspondiente a la línea 6, todas las entradas de números superiores (7, 8, 9) deben estar a nivel alto para que no se tengan en cuenta, y las que estén en la entrada correspondiente al 6 o por debajo darán igual el valor que tengan.

Cuando está activa una entrada que tenga el número más alto, da igual lo que valgan las otras, porque el codificador va a dar la salida correspondiente a ese valor. Esto se representa en la tabla de verdad con las «X». En el ejemplo, al estar activada la línea 9, debido a la prioridad alta, el codificador va a dar la salida correspondiente a ese número, aunque todas las otras líneas estuvieran a cero lógico.

Fig. 13.22.

Actividades

9. Analiza el funcionamiento del codificador 74148.
- Busca la tabla de verdad del circuito integrado en Internet.
 - Analiza su funcionamiento con la tabla de verdad en el simulador comentado al principio de la unidad. Cada entrada del chip conduce a un interruptor y cada salida a un diodo LED, para comprobar cuándo están a 0 (diodo apagado) o a 1 (diodo encendido).
10. Busca en Internet la hoja de características de un decodificador 74xx48, para la familia lógica TTL y para la familia lógica CMOS.
- ¿Tienen la misma tabla de verdad? ¿Funcionan igual?
 - ¿Para qué tipo de display se puede utilizar cada uno de ellos?
 - ¿Qué diferencias encuentras entre los integrados de las dos familias?

4.3. Multiplexores

Un **multiplexor** es un circuito que se usa para controlar un flujo de información. Equivale a un conmutador electrónico que puede seleccionar los datos de entrada desde unas entradas de control. Tendrá 2^N entradas de datos, N entradas de control y una salida.

El multiplexor es una aplicación particular de los decodificadores, y entre sus aplicaciones podemos citar:

- Selector de entradas.
- Serializador: convierte datos del formato paralelo al formato serie.
- Transmisión multiplexada: es capaz de transmitir por una única línea, conectada a su salida, los datos procedentes de distintas fuentes.
- Implementación de funciones lógicas: permite simplificar y reducir el número de integrados en el diseño de un circuito lógico.

Uno de los más **utilizados comercialmente** es el **74xx151**, un multiplexor con 8 entradas de datos, 3 líneas de selección, una entrada de habilitación (activa a nivel bajo), y 2 salidas, una normal y otra complementada (Fig. 13.23).

En los multiplexores lo más importante es saber cómo funcionan sus entradas de selección. Esto viene reflejado en la Figura 13.24:

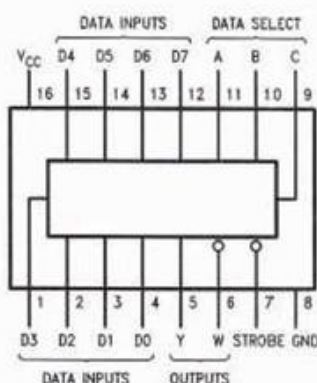


Fig. 13.23. Esquema de los pines del 74xx151.

Inputs				Outputs	
Select			Strobe S	Y	W
C	B	A			
X	X	X	H	L	H
L	L	L	L	D0	$\overline{D0}$
L	L	H	L	D1	$\overline{D1}$
L	H	L	L	D2	$\overline{D2}$
L	H	H	L	D3	$\overline{D3}$
H	L	L	L	D4	$\overline{D4}$
H	L	H	L	D5	$\overline{D5}$
H	H	L	L	D6	$\overline{D6}$
H	H	H	L	D7	$\overline{D7}$

H = High Level, L = Low Level, X = Don't Care
D0, D1 ... D7 = the level of the respective D input

Bit de mayor peso.

Salida complementada

Valor que pasa a la salida (línea de datos a la que da paso el multiplexor). Si el integrado está deshabilitado (S = 1), la salida permanece a nivel bajo.

Fig. 13.24. Análisis de la tabla de funcionamiento del multiplexor.

@ Web

Otro fabricante de circuitos integrados lo puedes encontrar en el siguiente enlace:

<http://www.onsemi.com/PowerSolutions/home.do>

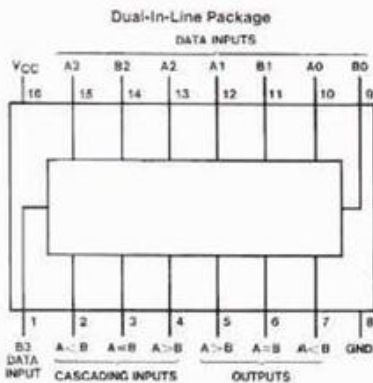


Fig. 13.25. Esquema del circuito integrado 74xx85 y símbolo lógico.

¿Sabías que...?

El nombre de los circuitos integrados empieza con dos siglas que identifican al fabricante. Por ejemplo:

- **LM7400** es un circuito fabricado por *National Semiconductor*.
- **MA7400** es un circuito fabricado por *Fairchild Semiconductor*.

En ambos casos se trata del mismo componente, un circuito integrado con cuatro puertas NAND.

En las hojas de características de cada circuito puedes ver la nomenclatura empleada por su fabricante.

4.4. Demultiplexores

El **demultiplexor** desempeña la función inversa al multiplexor. Está compuesto por una sola entrada y varias líneas de salida. Dispone además de líneas de selección, y serán estas las que nos indiquen en qué salida aparece la señal de entrada. Si el demultiplexor tiene N líneas de selección, podrá controlar 2^N salidas.

Estos circuitos se encuentran en el mercado como decodificadores que son capaces de funcionar como demultiplexores (un ejemplo es el 74138).

4.5. Comparadores

Un **comparador** es un circuito combinacional MSI que detecta si dos combinaciones binarias son iguales o no, y si una es mayor o menor que la otra.

Los comparadores tienen diferentes cantidades de bits en sus entradas y realizan comparación bit a bit.

Un ejemplo de comparador integrado que podemos encontrar en el mercado es el circuito integrado 74xx85. Compara dos números de 4 bits sin signo (Fig. 13.25).

Su funcionamiento es el siguiente (Tabla 13.10):

- **A > B0** (**A > B Output**) se activa a nivel alto cuando A es mayor que B.
- **A < B0** (**A < B Output**) se activa a nivel alto cuando A es menor que B.
- **A = B0** (**A = B Output**) se activa a nivel alto cuando A es idéntico a B.

La **conexión en cascada** de varios 74xx85 permite aumentar el número de bits de los números que se pueden comparar.

Comparing Inputs				Cascading Inputs			Outputs		
A3, B3	A2, B2	A1, B1	A0, B0	A > B	A < B	A = B	A > B	A < B	A = B
A3 > B3	X	X	X	X	X	X	H	L	L
A3 < B3	X	X	X	X	X	X	L	H	L
A3 = B3	A2 > B2	X	X	X	X	X	H	L	L
A3 = B3	A2 < B2	X	X	X	X	X	L	H	L
A3 = B3	A2 = B2	A1 > B1	X	X	X	X	H	L	L
A3 = B3	A2 = B2	A1 < B1	X	X	X	X	L	H	L
A3 = B3	A2 = B2	A1 = B1	A0 > B0	X	X	X	H	L	L
A3 = B3	A2 = B2	A1 = B1	A0 < B0	X	X	X	L	H	L
A3 = B3	A2 = B2	A1 = B1	A0 = B0	H	L	L	H	L	L
A3 = B3	A2 = B2	A1 = B1	A0 = B0	L	H	L	L	H	L
A3 = B3	A2 = B2	A1 = B1	A0 = B0	L	L	H	L	L	H
A3 = B3	A2 = B2	A1 = B1	A0 = B0	X	X	H	L	L	H
A3 = B3	A2 = B2	A1 = B1	A0 = B0	H	H	L	L	L	L
A3 = B3	A2 = B2	A1 = B1	A0 = B0	L	L	L	H	H	L

Tabla 13.10. Tabla de funcionamiento del circuito integrado 74xx85.

Actividades

11. Analiza la hoja de características del circuito integrado 5485. Compara la tabla de verdad con la del 7485. ¿Son iguales?, ¿en qué se diferencian ambos circuitos?
12. Analiza el funcionamiento del c.i. 74138 a partir de su hoja de características y haz un breve resumen con los datos obtenidos.

Práctica final: Montaje de un display de 7 segmentos con un c.i. 7447

1. Objetivo

Realizar la conexión entre un circuito integrado 7447 y un display de 7 segmentos, y comprobar su funcionamiento.

El circuito es el siguiente (Fig. 13.26):

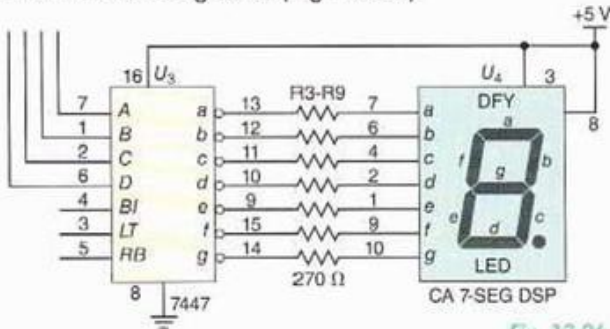


Fig. 13.26.

2. Materiales

- Fuente de alimentación de 5 V (en el entrenador).
- Entrenador para electrónica digital con placa BOARD para el montaje del circuito.
- 7 resistores de 1 270 Ω .
- Un c.i. 7447.
- Un display de 7 segmentos.
- Cables.

3. Técnica

1. Coloca los dos integrados sobre la placa BOARD. Realiza las conexiones de alimentación para ambos: V_{CC} al positivo de la fuente de alimentación y G_{ND} al negativo.
2. Conecta a cada entrada del 7447 un interruptor para simular la combinación binaria de entrada (Fig. 13.27).
3. Conecta a cada salida del 7447 uno de los resistores, y desde allí llévalo a su entrada correspondiente del display (a, b, c, etc.). Observa la Figura 13.27.



Fig. 13.27.

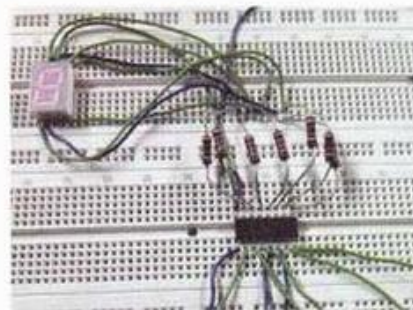


Fig. 13.28.

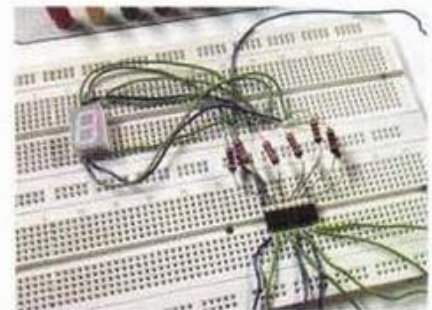


Fig. 13.29.

4. Deja las entradas de control (consulta la tabla de la teoría) sin conectar (lo que equivale a introducir un 1 en cada una). Observa la Figura 13.28.
5. Coloca con los interruptores las combinaciones binarias del 0 al 9 en decimal (las del código BCD).
6. Comprueba que aparece el número correspondiente en el display (Fig. 13.29).
7. Introduce combinaciones mayores de 9 en decimal y comprueba que se obtiene la tabla dada en el Caso práctico 10 de esta unidad.
8. Introduce las combinaciones de la tabla dada a continuación y comprueba el funcionamiento del display (Tabla 13.11).

Entradas			Salidas	
\overline{LT}	RBI (Input)	Pines DCBA	RBO (Output)	Efecto
0	X	X	1	Todos los segmentos «ON».
1	1	X	1	Decodificación normal.
1	0	n.º BCD \neq 0	1	Decodificación normal.
1	0	n.º BCD = 0	0	Todos los segmentos «OFF».

Tabla 13.11.

4. Cuestiones

1. ¿Para qué tipo de display podemos utilizar este decodificador? Explica por qué.
2. Cambia los resistores por otros de valor 1 K. ¿Qué es lo que ocurre con el circuito? Indica si funciona correctamente y justifica brevemente tu respuesta.



Test de repaso

- Se denomina circuito combinacional a aquel cuya salida depende:
 - Solamente de las entradas.
 - De las entradas y del tiempo transcurrido.
 - Solamente del tiempo.
 - Solamente de lo ocurrido en la salida anterior.
- Los términos de una función lógica que proporcionan un 1 en la tabla de verdad se denominan:
 - Maxterms.
 - Términos fundamentales.
 - Términos unitarios.
 - Minterms.
- Una función lógica se simplifica para:
 - Reducir el número de integrados en su montaje.
 - Reducir la expresión de la función.
 - Aumentar las puertas.
 - No hace falta simplificarla.
- Otra forma de representar la tabla de verdad de una función es mediante:
 - Las puertas lógicas que representa.
 - Un mapa de Karnaugh.
 - Un mapa de McCluskey.
 - A través de un código binario.
- En un mapa de Karnaugh, en un grupo de 6 variables se eliminan:
 - 2 variables.
 - 3 variables.
 - 1 variable.
 - Ninguna es correcta.
- En un codificador con prioridad a la línea de mayor peso se activan las líneas 6, 7 y 8 a la vez. ¿Qué valor tomará a su salida?:
 - 1001.
 - 1000.
 - 1100.
 - 1111.
- ¿Cuántas salidas tiene un decodificador decimal?:
 - 4.
 - 6.
 - 8.
 - 10.
- El multiplexor deja pasar a la salida:
 - Todas las líneas de la entrada.
 - Dos líneas de entrada.
 - La línea de entrada que seleccionen las entradas de control.
 - Ninguna de las anteriores.
- La comparación de dos números binarios en un comparador digital se hace:
 - Bit a bit.
 - Con el número entero.
 - De dos en dos bits.
 - Depende del tamaño de los números.
- Un demultiplexor se compra en un integrado de:
 - Un decodificador.
 - Un multiplexor.
 - Un codificador.
 - Un comparador.
- ¿Cuántas entradas tiene un decodificador BCD a 7 segmentos?
 - 1.
 - 2.
 - 3.
 - 4.

Soluciones: 1a, 2d, 3a, 4b, 5d, 6b, 7d, 8c, 9a, 10a, 11d.

Comprueba tu aprendizaje

Obtener la función lógica de un circuito digital

1. Obtener la función lógica y la tabla de verdad de los siguientes circuitos (Figs. 13.30, 13.31 y 13.32):



Fig. 13.30.

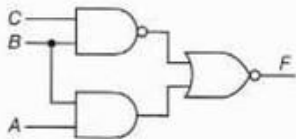


Fig. 13.31.

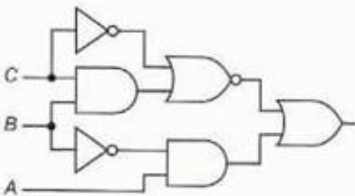


Fig. 13.32.

2. Obtener el esquema lógico de cada una de las siguientes funciones:

$$F = A \cdot (B + C)$$

$$F = AB + CD$$

$$F = \overline{AB} + C$$

$$F = \overline{A} + \overline{B} + \overline{CD} + \overline{CD}$$

Simplificar expresiones lógicas mediante diferentes métodos

3. Un motor es controlado mediante tres pulsadores: A, B y C. Las condiciones de funcionamiento del motor son las siguientes:
 - Si se pulsan los tres pulsadores el motor se activa.
 - Si se pulsan dos pulsadores cualesquiera, el motor se activa pero se enciende una lámpara adicional como señal de emergencia.
 - Si solo se pulsa un pulsador, el motor no se activa pero se enciende la lámpara de emergencia.
 - Si no se pulsa ningún interruptor, ni el motor ni la lámpara se activan.

Se pide:

- Tabla de verdad de funcionamiento del circuito.
 - Función lógica del circuito simplificada por Karnaugh.
 - Esquema eléctrico del circuito.
4. Dibujar los esquema del punto 1 utilizando la simbología según norma ANSI / IEEE 91-1984.
 5. Realizar un circuito digital con 4 líneas de entrada codificadas en BCD, y dos líneas de salida que funcione de la siguiente manera:
 - $S1 = 1$, si en la entrada hay un número múltiplo de 2.
 - $S2 = 1$, si en la entrada hay un número que no corresponda al código BCD.
 - En cualquier otra situación las salidas serán 0.

Se pide:

- Tabla de verdad del circuito.
 - Función lógica simplificada por Karnaugh.
 - Esquema eléctrico del circuito.
 - Lista de los integrados necesarios para realizar el montaje del mismo.
6. Realiza el montaje en el simulador digital de la última función del ejercicio 2. Para ello:
 - a) Haz una lista de los integrados necesarios para su realización.
 - b) Comprueba su tabla de verdad realizando la simulación del circuito.
 7. Investiga cómo funciona el método de simplificación de Quine-McCluskey comentado en el tema, y haz un breve resumen en el que aparezcan:
 - a) Características especiales.
 - b) Cuándo es apropiado utilizarlo.
 - c) Ventajas e inconvenientes del método.

Comprueba tu aprendizaje

8. Define los siguientes términos:
- Circuito combinacional.
 - Álgebra de Boole.
 - Multiplexor.
 - Decodificador.
 - Función lógica.
 - Minterm.
 - Forma canónica.

Reconocer el comportamiento de los circuitos combinacionales y manejar circuitos integrados

9. Busca en Internet ejemplos de integrados de los principales bloques combinacionales que hemos visto en la unidad. Recopila en una carpeta en tu ordenador las hojas de características para poder utilizarlas cuando necesites hacer algún montaje.
10. Realiza el esquema de la Figura 13.33, correspondiente al chip 7485 en un simulador, y comprueba su funcionamiento.

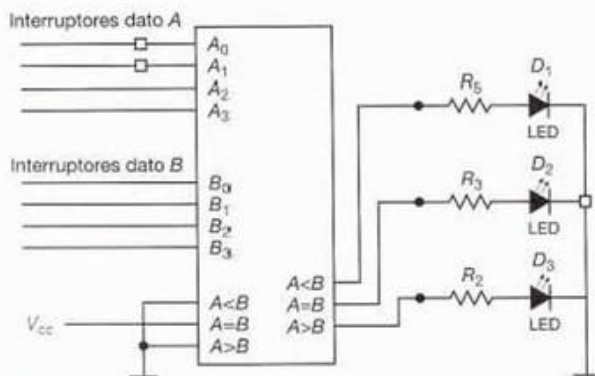


Fig. 13.33.

11. Busca la hoja de características de los c.i. 74147 y 74148. Responde a las siguientes preguntas:
- ¿De qué tipo de circuito se trata en cada caso?
 - ¿Qué tipo de prioridad tienen en función de su tabla de verdad?
 - ¿Qué tipo de lógica utilizan?
 - ¿Cuál es su tensión de alimentación? ¿Pertenece a la misma familia lógica, ¿cuál es?

12. En la Figura 13.34 tienes el circuito integrado 74151. Completa su tabla de verdad a partir de los datos obtenidos en la hoja de características del mismo.

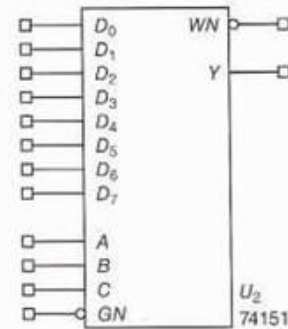


Fig. 13.34.

- Explica la misión que tiene cada una de las patillas (entradas y salidas).
 - Dibuja el esquema del circuito.
 - Monta en el simulador el c.i. y comprueba el funcionamiento de su tabla de verdad. Para ellos simula las líneas de entrada con los interruptores.
13. Busca la hoja de características del c.i. 7448. Realiza el esquema de un display sobre la placa BOARD. Para ello:
- Elige el display adecuado. Justifica la respuesta.
 - ¿Qué valor deberían tener los resistores?
 - Comprueba el funcionamiento del circuito cuando a la entrada introduzcas las combinaciones 1001 y 0101. ¿Qué número se obtiene?
14. Obtén la hoja de características del circuito integrado 74154 y contesta a las siguientes cuestiones:
- ¿Qué hace este circuito?
 - ¿Qué tipo de lógica utiliza según los valores de las entradas y salidas que ves en la tabla de verdad?
 - Cita dos ejemplos de posibles aplicaciones que podrías realizar con este integrado.
 - ¿A qué familia lógica pertenece según los datos obtenidos de su hoja de características? ¿Cuál es su tensión de alimentación?

Recuerda

La **realimentación** en un circuito consiste en que parte de la señal de salida del mismo se incorpora de nuevo a la entrada del circuito. Es una técnica muy utilizada en electrónica.

1. Concepto de circuito secuencial

Un **circuito secuencial** es un sistema electrónico digital en el cual las variables de salida, en un determinado instante, dependen de las variables de entrada en dicho instante, así como del valor que tuvieron las variables de salida en instantes anteriores.

Estos circuitos se diferencian de los circuitos combinacionales en que su salida no depende exclusivamente de la entrada. Son sistemas que tienen la capacidad de memorizar la historia pasada de un circuito y utilizar esa información para determinar el futuro estado de este.

El circuito secuencial (Fig. 14.1) se compone de **dos partes**:

- Un **bloque de almacenamiento** de información (mostrado en el diagrama de bloques como **memoria**).
- Un **circuito combinacional** que genera los órdenes para el sistema.

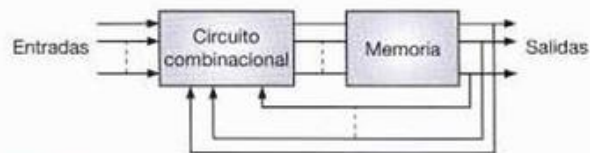


Fig. 14.1. Diagrama de bloques de un circuito secuencial.

Entre las numerosas **aplicaciones** de estos circuitos destacan las siguientes:

- **Contador digital.** Muchos de los equipos que utilizamos habitualmente disponen algún tipo de contador digital, incluso la mayoría de los electrodomésticos vie equipados con uno.

El contador digital consta, básicamente, de una entrada de impulsos, que serán señales que va acumulando el circuito. El resultado de la cuenta se suele mostrar en un display de siete segmentos, o en cualquier otro tipo de visualizador, como puede ser una pantalla de cristal líquido.

- **Memoria.** En cualquier equipo en el que se necesite almacenar algún parámetro precisa un sistema secuencial. Por ello, cualquier sistema programable necesita de un circuito de este tipo para almacenar los datos, el programa de funcionamiento, etcétera.

Una de las **clasificaciones** más importantes de los circuitos secuenciales se basa en modo de funcionamiento, que puede ser asíncrono o síncrono:

- Un **circuito secuencial asíncrono** puede cambiar de estado en cualquier instante de tiempo, en función únicamente de los cambios en las señales de entrada.
- Un **circuito secuencial síncrono** solo puede cambiar de estado en determinados instantes de tiempo, es decir, está «sincronizado» con una **señal de reloj (CLK)**.

En esta unidad estudiaremos los circuitos, los elementos fundamentales de los circuitos secuenciales, los biestables o flip-flop, y algunos circuitos implementados con ellos como los contadores y los divisores de frecuencia.

Los biestables son los elementos de memoria de los circuitos digitales. Generalmente se usan solos, sino formando parte de otros circuitos más complejos, como veremos largo de esta unidad.

¿Sabías que...?

Los **circuitos secuenciales** que vamos a estudiar a lo largo de esta unidad siempre forman parte de equipos o circuitos más complejos. Entre estos circuitos podemos citar los siguientes:

- Máquinas de juegos.
- Ascensores.
- Sistemas en los que se hace necesario memorizar una señal.
- Sistemas de alarmas.
- Contadores de procesos, personas, etc.
- Sistemas de conversión de datos paralelo a serie.
- Cronómetros.

Es necesario conocer el funcionamiento de estos elementos para poder comprender cómo trabajan los equipos que hemos comentado.

2. Biestables

Los **biestables** son circuitos multivibradores que se caracterizan por tener dos estados estables en su salida, en uno de los cuales puede permanecer indefinidamente.

Al ser un circuito secuencial, la salida depende de las entradas y de la evolución temporal del propio circuito (lo que se denomina **estado anterior**).

Un biestable (Fig. 14.2) almacena la información de un bit, por tanto, se consideran circuitos de **memoria**, ya que son capaces de almacenar el **estado interno** del sistema. Por su parte, los estados internos de un sistema definen todas las situaciones diferenciadas por las que puede pasar o hacia las que puede evolucionar el sistema.

La **clasificación** de los biestables puede realizarse atendiendo a varios criterios:

- Según la **función** que realizan, se clasifican en: **RS, JK, D y T**.
- Según el modo de **funcionamiento**, tenemos:
 - Biestables **asíncronos**: las señales de entrada actúan en todo instante.
 - Biestables **síncronos**: las señales de entrada solo actúan en los instantes que determina una señal de sincronización o reloj.

2.1. Tabla de verdad y símbolo de un biestable genérico

Antes de pasar a analizar los diferentes tipos de biestables, vamos a ver cómo se representan estos componentes en los esquemas lógicos y cómo se interpreta su **tabla de verdad**.

El **símbolo** de un biestable genérico es el siguiente (Fig. 14.3):

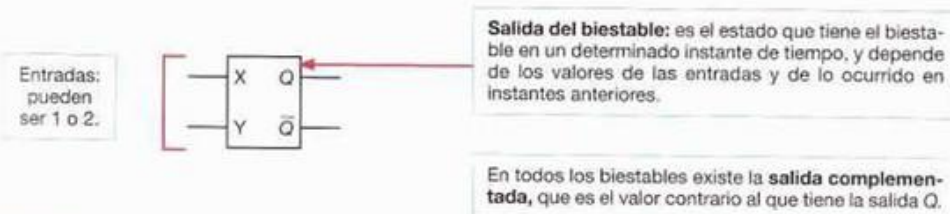


Fig. 14.3. Símbolo de un biestable genérico en el que se muestran las entradas y las dos salidas que tienen todos los tipos de biestables.

El **funcionamiento del circuito**, como en todos los circuitos lógicos, viene determinado por una tabla de verdad (Fig. 14.4):

Entradas del biestable.	X	Y	Q^{t+1}
	0	0	Q^t
	0	1	1
	1	0	0
	1	1	Prohibido.

Salida del biestable: indica el estado en el que se coloca el mismo en función de los valores de entrada.

Estado anterior: es el estado que tenía el biestable en el momento anterior a que se produjera el cambio en las entradas.

En algunos casos no está determinada la salida que da el biestable ante esas entradas. Por tanto esta combinación de entrada no está permitida.

Fig. 14.4. Tabla de verdad de un biestable genérico.

Vocabulario

Estado estable en un circuito. Es aquel en el que el circuito puede permanecer indefinidamente, mientras no cambien las condiciones de entrada que lo provocaron.

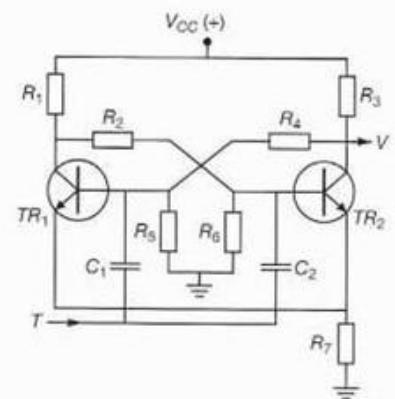


Fig. 14.2. Esquema de un biestable.

2.2. Biestables asíncronos

Importante

Los biestables asíncronos también reciben el nombre de **LATCH**, mientras que los síncronos reciben el nombre de flip-flop o bástula.

Los **biestables asíncronos** son aquellos en los que las señales de entrada actúan en todo instante.

Dentro de estos uno de los más utilizados es el biestable RS, que estudiaremos a continuación.

A. Biestables RS

Estos biestables tienen dos entradas, **R (Reset)** o puesta a cero, y **S (Set)** o puesta a uno; y dos salidas, **Q** y \bar{Q} . El símbolo que se utiliza para este biestable es el que muestra la Figura 14.5. Así, el biestable está en estado de *Reset* cuando $Q = 0$ y $\bar{Q} = 1$, y en estado de *Set* cuando $Q = 1$ y $\bar{Q} = 0$.

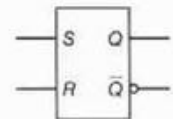


Fig. 14.5. Símbolo del biestable R-S asíncrono.

Existen dos formas de **implementar** los biestables RS asíncronos: con **puertas NOR** y con **puertas NAND**. En la Tabla 14.1 se muestran los circuitos de ambos biestables.

¿Sabías que...?

Los **biestables** son los elementos más básicos con los que se construyen las memorias que se usan en equipos como los ordenadores.

Tipo de biestable	Tabla de verdad															
<p>Biestable RS NOR</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>R</th> <th>S</th> <th>$Q_{t+\Delta t}$</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>Q_t</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>Prohibido.</td> </tr> </tbody> </table>	R	S	$Q_{t+\Delta t}$	0	0	Q_t	1	0	0	0	1	1	1	1	Prohibido.
R	S	$Q_{t+\Delta t}$														
0	0	Q_t														
1	0	0														
0	1	1														
1	1	Prohibido.														
<p>Biestable RS NAND</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>R</th> <th>S</th> <th>$Q_{t+\Delta t}$</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>Prohibido.</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>Q_t</td> </tr> </tbody> </table>	R	S	$Q_{t+\Delta t}$	0	0	Prohibido.	1	0	0	0	1	1	1	1	Q_t
R	S	$Q_{t+\Delta t}$														
0	0	Prohibido.														
1	0	0														
0	1	1														
1	1	Q_t														

Tabla 14.1. Circuitos de los biestables RS NOR y RS NAND.

La diferencia entre estos dos biestables está en el nivel lógico de activación de las entradas **R** y **S**. En el biestable con puertas NOR, el nivel con el que se activan las entradas **R** y **S** es el 1, mientras que en el de puertas NAND el nivel activo es el 0 en ambas entradas.

Una forma habitual de analizar el funcionamiento de un biestable es a través de un **cronograma** (Fig. 14.6), que es una representación de la evolución de las entradas y salidas en función del tiempo. El análisis de un biestable RS lo vamos a llevar a cabo mediante el Caso práctico 1.

El cronograma es otra forma de representar la tabla de verdad. En el recuadro rojo, si $S = 1$ y $R = 0$, el biestable se debe poner a 0, por tanto, $Q = 0$. El análisis se va haciendo de igual manera para cada cambio que se produzca en las entradas (señalado con línea de puntos en el gráfico).

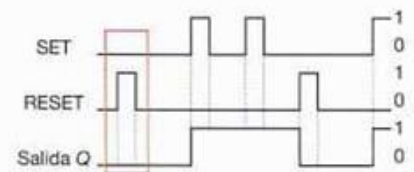


Fig. 14.6. Cronograma para un biestable RS NOR.

Caso práctico 1: Obtención de la salida de un biestable RS

En la siguiente figura tienes un ejemplo de posibles entradas para un biestable RS NAND. Indica el valor de la salida Q en el intervalo de tiempo marcado.

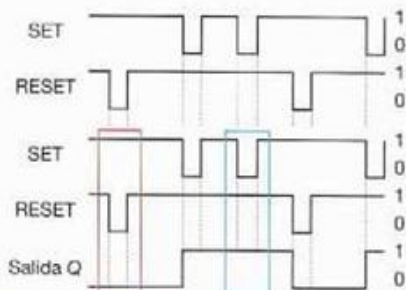


Fig. 14.7.

Solución:

Para analizar cuánto vale Q, debemos tener en cuenta que al ser un biestable RS NAND, las entradas son activas con 0. Como se tiene que cumplir la tabla de verdad, el resultado será el que muestra la Figura 14.7.

Como ejemplo:

- En el recuadro rojo está activa la entrada R, luego Q tiene que ser 0.
- En el recuadro azul está activada la entrada S, luego el biestable debe poner la salida Q a 1, tal y como ocurre.

La obtención de la salida Q se hace repitiendo el proceso que hemos puesto como ejemplo.

2.3. Biestables síncronos

Un **biestable síncrono** posee una entrada de sincronismo o de reloj, además de las entradas normales de datos. El biestable no tendrá en cuenta las entradas de datos hasta que lo marque la entrada de reloj.

La **activación** de esta entrada de reloj puede darse de tres formas: por nivel y por flanco de subida o de bajada (Fig. 14.8).

Las ventajas que tiene este tipo de biestables frente a los asíncronos es que permite que los cambios en el sistema solo se realicen cuando las señales de entrada sean estables.

A. Biestables activados por nivel

En este tipo de biestables, las conmutaciones en la salida solo están permitidas durante un nivel de la señal de reloj. Entre los tipos de biestables que nos podemos encontrar activados por nivel tenemos los biestables RS y los biestables D. No obstante, no es frecuente encontrar biestables de este tipo.

B. Biestables activados por flanco

En estos circuitos, las señales de entrada solo son activas coincidiendo con los flancos de la señal de reloj (Fig. 14.9), tanto de subida como de bajada. Las entradas deben mantenerse estables un cierto tiempo previo y posterior al flanco activo de reloj, y se produce la transición con un cierto tiempo de retardo respecto a ese mismo flanco.

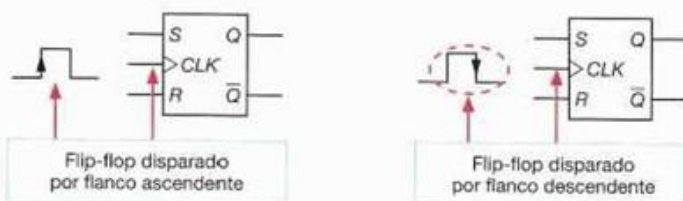


Fig. 14.9. Símbolos de un biestable activado por los dos tipos de flancos.

Vocabulario

Flanco de una señal. Es el instante en el que cambia de nivel. Si pasa de 0 a 1, será un flanco de subida, y si pasa de 1 a 0, será un flanco de bajada.



Fig. 14.8. Representación de los flancos en una señal de reloj.

Podemos encontrar biestables activados por flanco de todos los tipos habituales (RS, JK, T y D):

- Los **biestables RS activados por flanco** cumplen la misma tabla de verdad que los biestables RS asíncronos, con la salvedad de que en este caso solo van a conmutar en los instantes en los que se produce el flanco. En la tabla de verdad aparecerá también la entrada de reloj para indicar su sincronismo.

En el caso de que funcionen con **flanco de subida**, la tabla de verdad y el cronograma quedarían de la siguiente manera (Fig. 14.10):

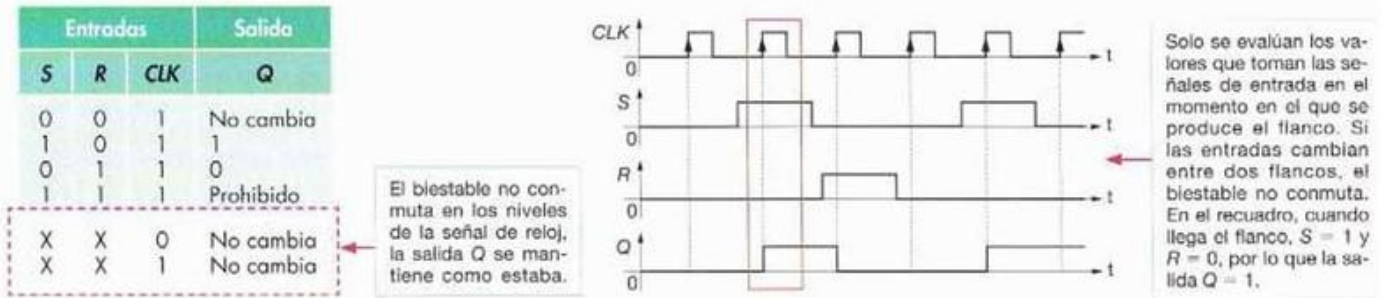


Fig. 14.10. Tabla de verdad y cronograma de un biestable RS activado por flanco de subida.

Si se trata de un biestable RS activado por **flanco de bajada**, la tabla de verdad y el cronograma nos quedarían de la siguiente manera (Fig. 14.11):

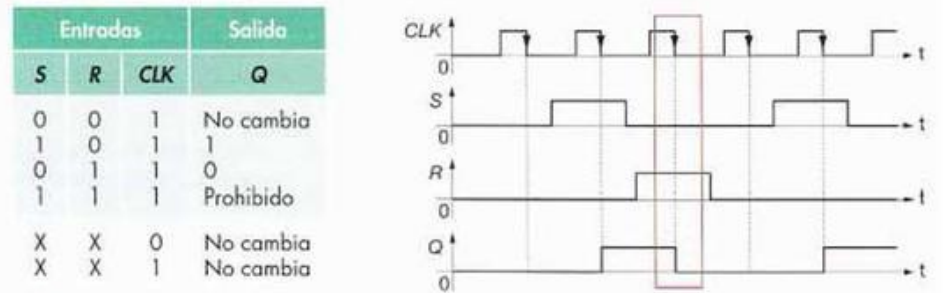


Fig. 14.11. Tabla de verdad y cronograma de un biestable RS activado por flanco de bajada.

Importante
El hecho de que los **biestables JK** no tengan entradas prohibidas hace que se empleen con más frecuencia que los biestables RS.

- Los **biestables JK** funcionan como los RS pero no tienen ningún estado prohibido. Su tabla de verdad y sus símbolos son los siguientes (Fig. 14.12):



Fig. 14.12. Símbolo y tabla de verdad de un biestable JK activado por flanco de bajada.

En este biestable, la activación simultánea de las dos entradas con un 1 lógico provoca que la salida pase al estado contrario al que se encontraba. La entrada K equivale a la R del biestable RS, y la entrada J a la S.

Caso práctico 2: Determinación de la salida de un biestable JK activado por flanco de bajada

En la Figura 14.13 se muestran las entradas de un biestable JK sincronizado por los flancos de bajada de la señal de reloj. Vamos a obtener la salida Q del biestable.

valores de J y K. Analizamos la tabla de verdad y colocamos el valor de Q.

Solución:

Nos debemos fijar en los momentos en los que se produce el flanco de bajada del reloj, y en ese momento vemos los

Si en el intervalo de tiempo que hay entre dos flancos las entradas del biestable cambian de valor, la salida permanece al nivel que se determinó en el primer flanco, es decir, el biestable no conmuta de nuevo hasta que llegue otro flanco de bajada.

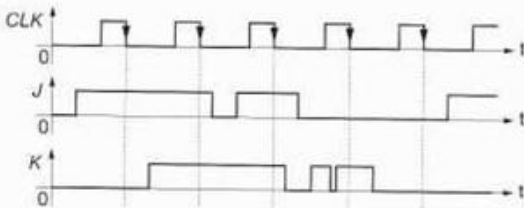
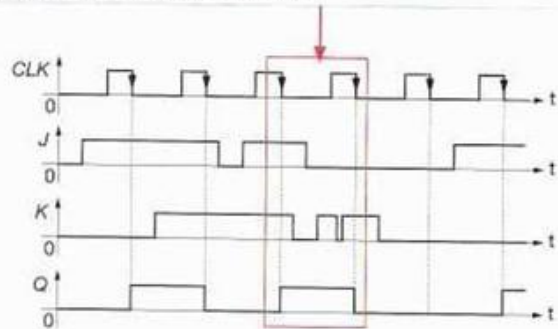


Fig. 14.13.



Actividad

- Obtén la señal de salida del cronograma que tienes en la figura de al lado y responde a las siguientes cuestiones:
 - ¿Cuál es la tabla de verdad de este biestable?
 - Dibuja el símbolo del mismo e indica con qué tipo de flanco conmuta.

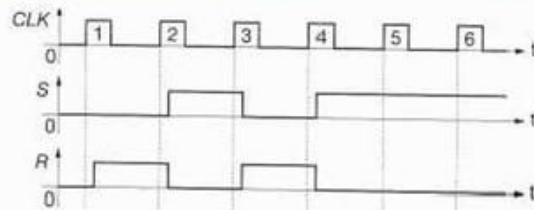


Fig. 14.14.

Los **biestables D** se caracterizan porque copian a la salida la información que tienen en su entrada, cuando llega la señal de reloj. Se pueden obtener a partir de un biestable JK, en el que se puentean sus salidas. La tabla de verdad y los símbolos que se utilizan son:

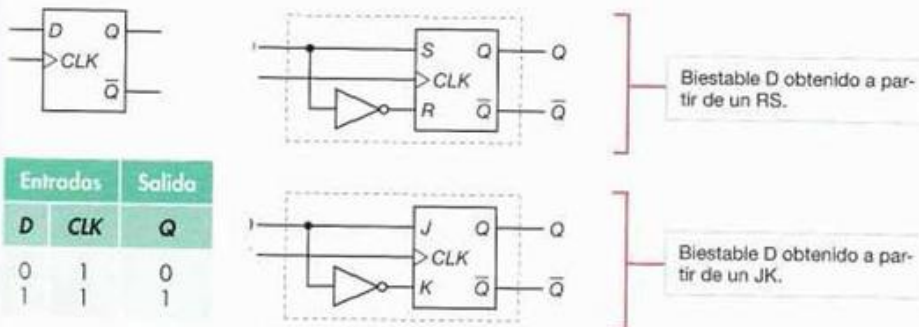


Fig. 14.15. Tabla de verdad, símbolo y circuito con el que se puede obtener un biestable D a partir de biestables RS o JK.

Aunque en la Figura 14.15 podemos ver que es activo en los flancos de subida, también podemos encontrar biestables sincronizados en los flancos de bajada.

- Los **biestables T** (Fig. 14.16) son fundamentales en la implementación de muchos circuitos secuenciales. Tienen una única entrada, como ocurre con los biestables D. Su funcionamiento es el siguiente: si T es igual a 0, la salida Q se mantiene en el valor que tenía, y si la entrada T es igual a 1, Q cambia al estado contrario al que tenía. Si el biestable es síncrono, esto se producirá en los cambios marcados por el reloj.

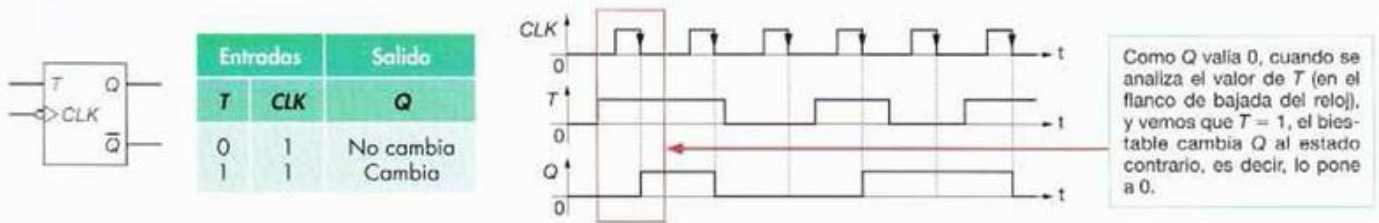
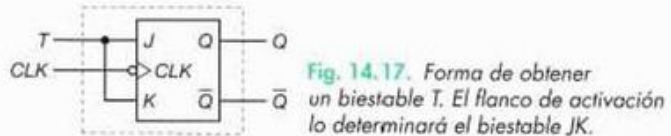


Fig. 14.16. Símbolo, tabla de verdad y cronograma de un biestable T activo con los flancos de bajada.

Es importante destacar que los biestables T no se comercializan, ya que siempre se obtienen a partir de un biestable JK al unir sus entradas, tal y como se muestra en el siguiente esquema (Fig. 14.17):



Actividades

2. En la Figura 14.18 tienes el cronograma de un biestable D. Obtén el valor de la salida Q , suponiendo que el biestable partía con $Q = 0$.

Fig. 14.18.

3. Busca en Internet los esquemas de los diferentes tipos de biestables que hemos estudiado, y cómo se pueden realizar con puertas lógicas. Investiga también cómo se puede convertir un biestable RS en un biestable JK.

C. Entradas asíncronas en un biestable síncrono

Las entradas asíncronas (Fig. 14.19) son dos: **PRESET** y **CLEAR**. Funcionan en el momento que se activan, independientemente de cómo esté el reloj y del valor de las entradas del biestable. Suelen ser activas a nivel bajo, por eso aparecen con el círculo en el símbolo del biestable.

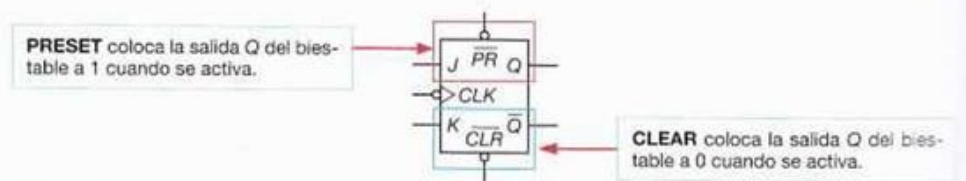


Fig. 14.19. Entradas asíncronas en un biestable JK activado por flanco de bajada.

Ten cuidado

Podemos encontrar las **entradas asíncronas** en cualquier biestable. Conviene cerciorarse de su funcionamiento a través de la hoja de características del circuito.

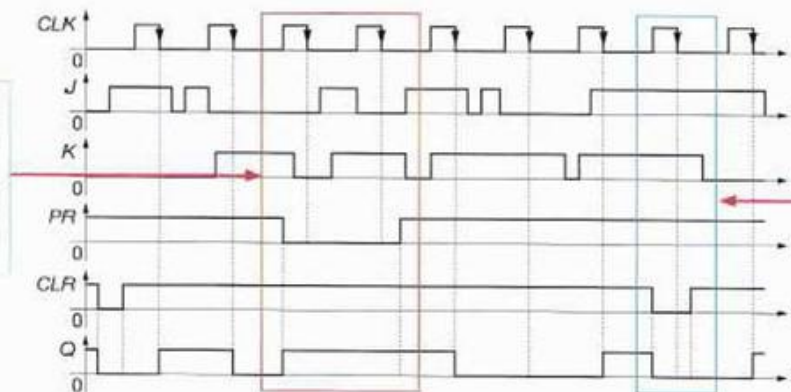
Caso práctico 3: Análisis de la salida de un biestable JK con entradas asincrónicas

Analiza los valores que va tomando la salida Q a lo largo del tiempo en función de todas las entradas del biestable.

Solución:

Sobre la gráfica de la salida que obtenemos veremos cómo va cambiando. El biestable conmuta con los flancos de bajada según el esquema mostrado. Las entradas asincrónicas son activas con 0.

Durante el intervalo en el que PRESET está activado, la salida del biestable permanece a 1, independientemente de que llegue algún flanco de reloj o que cambien las entradas JK.



Durante el intervalo en el que CLEAR está activado, la salida del biestable permanece a 0, independientemente de que llegue algún flanco de reloj o que cambien las entradas JK.

Fig. 14.20.

2.4. Circuitos integrados con biestables

Como en todos los demás componentes para circuitos digitales que hemos estudiado, los biestables se comercializan como circuitos integrados. A continuación vamos a ver los más significativos, desde el punto de vista de la práctica:

- El **74xx279** es un biestable realizado con puertas NAND. Su esquema interno es el siguiente (Fig. 14.21):

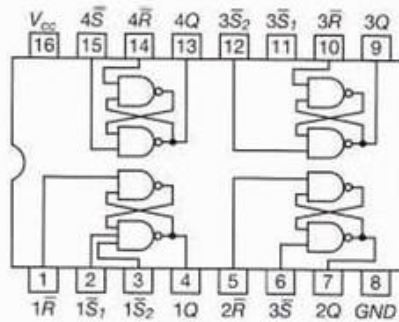


Fig. 14.21. Esquema interno de un 74279.

- El **74xx112** es un biestable JK síncrono, activo con los flancos de bajada de la señal de reloj, y que tiene entradas asincrónicas de PRESET y CLEAR. Su esquema interno es el siguiente (Fig. 14.22):

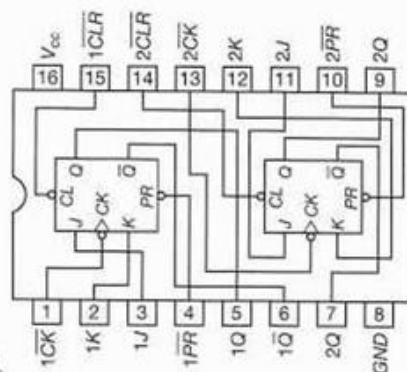


Fig. 14.22. Esquema interno del 74112.

- El **74xx74** es un doble biestable D síncrono (flancos de bajada) con PRESET y CLEAR. El esquema de este circuito integrado se muestra en la Figura 14.23.
- El **74xx73** está formado por dos biestables JK síncronos (activos con el flanco de bajada) con entrada de CLEAR. Su esquema es el que refleja la Figura 14.24.

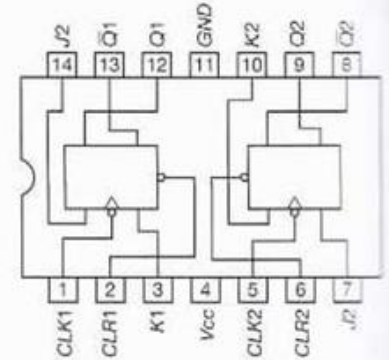
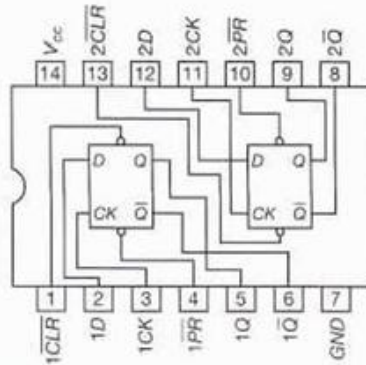


Fig. 14.23. Esquema de un circuito integrado 7474.

Fig. 14.24. Esquema interno de un 7473.

Caso práctico 4: Análisis de la hoja de características de un biestable 74VHCT74A

Para la construcción de un circuito de memoria necesitamos conocer las características del circuito integrado 74VHCT74A. Analiza los principales parámetros que deben tenerse en cuenta a la hora de utilizarlo.

Solución:

Lo que más nos interesa conocer sobre el circuito integrado lo resaltamos a continuación:

Esta es la tabla de verdad que nos proporciona el fabricante. Las entradas son PRESET y CLEAR, y el reloj y la entrada de datos D. Podemos apreciar cómo, si se activan PRESET o CLEAR, tienen prioridad sobre el reloj y sobre D.

Truth Table						
Inputs				Outputs		Function
CLR	PR	D	CK	Q	Q̄	
L	H	X	X	L	H	Clear
H	L	X	X	H	L	Preset
L	L	X	X	H	H	
H	H	L	↗	L	H	
H	H	H	↘	H	L	
H	H	X	↔	Q _n	Q _n	No Change

Fig. 14.25.

DC Electrical Characteristics									
Symbol	Parameter	V _{CC} (V)	Conditions	T _A = 25°C			T _A = -40°C to +85°C		Units
				Min.	Typ.	Max.	Min.	Max.	
V _{IH}	HIGH Level Input Voltage	4.5		2.0			2.0		V
		5.5		2.0			2.0		
V _{IL}	LOW Level Input Voltage	4.5				0.8		0.8	V
		5.5				0.8		0.8	
V _{OH}	HIGH Level Output Voltage	4.5	V _{OH} = V _{OH} or V _{IL}	I _{OH} = -50μA	4.40	4.50	4.40		V
		4.5		I _{OH} = -8mA	3.94		3.90		
V _{OL}	LOW Level Output Voltage	4.5	V _{OH} = V _{OH} or V _{IL}	I _{OL} = 50μA	0.0	0.1	0.1		V
		4.5		I _{OL} = 8mA		0.36	0.41		
I _{IN}	Input Leakage Current	0-5.5	V _{OH} = 5.5V or GND			±0.1		±1.0	μA
I _{CC}	Quiescent Supply Current	5.5	V _{OH} = V _{CC} or GND			2.0		20.0	μA
I _{CC1}	Maximum I _{CC} /Input	5.5	V _{OH} = 3.4V, Other Inputs = V _{CC} or GND			1.35		1.50	mA
I _{OPP}	Output Leakage Current (Power Down State)	0.0	V _{OUT} = 5.5V			+0.5		+5.0	μA

Tensiones que da a la salida cuando hay un 1 o un 0.

Corriente de entrada cuando hay un nivel alto.

Corriente de entrada cuando hay un nivel bajo.

Fig. 14.26.

Actividades

4. Consulta la hoja de características del circuito integrado y haz una lista con los principales parámetros del circuito, teniendo en cuenta lo explicado en el Caso práctico 4.
5. Obtén los valores de las corrientes y tensiones de entrada, a nivel bajo y a nivel alto, de un circuito integrado 74279 a partir de su hoja de características.

3. Circuitos contadores

La realización de **circuitos contadores** es una de las aplicaciones más importantes de los circuitos biestables. Normalmente están formados por biestables JK, a los que se les unen las dos entradas. Estos circuitos memorizan la cantidad de pulsos de reloj que les llega a su entrada *CLK*.

El número de bits del contador es igual al número de biestables del mismo.

Los contadores se utilizan como circuitos de reloj y temporización, como divisores de frecuencia y como frecuencímetros.

Por su **forma de funcionamiento**, en cuanto a la señal de reloj, nos podemos encontrar dos tipos:

- **Contadores asíncronos:** son aquellos en los que la señal de reloj se propaga de un biestable a otro.
- **Contadores síncronos:** son aquellos en los que todos los biestables reciben la señal de reloj al mismo tiempo, con lo que todos los biestables conmutan a la vez.

Atendiendo a la **secuencia de conteo**, nos podemos encontrar con:

- **Contadores ascendentes:** realizan la cuenta desde cero hasta el valor máximo al que pueden llegar ($2^n - 1$, donde n es el número de biestables que tiene el contador).
- **Contadores descendentes:** realizan la cuenta en sentido inverso, desde el valor máximo de cuenta hasta cero.
- **Contadores UP/DOWN:** realizan la cuenta en ambos sentidos en función de una señal de control.

3.1. Contadores asíncronos

Como ya hemos comentado, son circuitos en los que la señal de reloj entra en el primer biestable, y se propaga de manera asíncrona al resto. Vamos a analizar el funcionamiento de un circuito de este tipo con un ejemplo de un contador de dos bits. El esquema del circuito es el siguiente (Fig. 14.27):

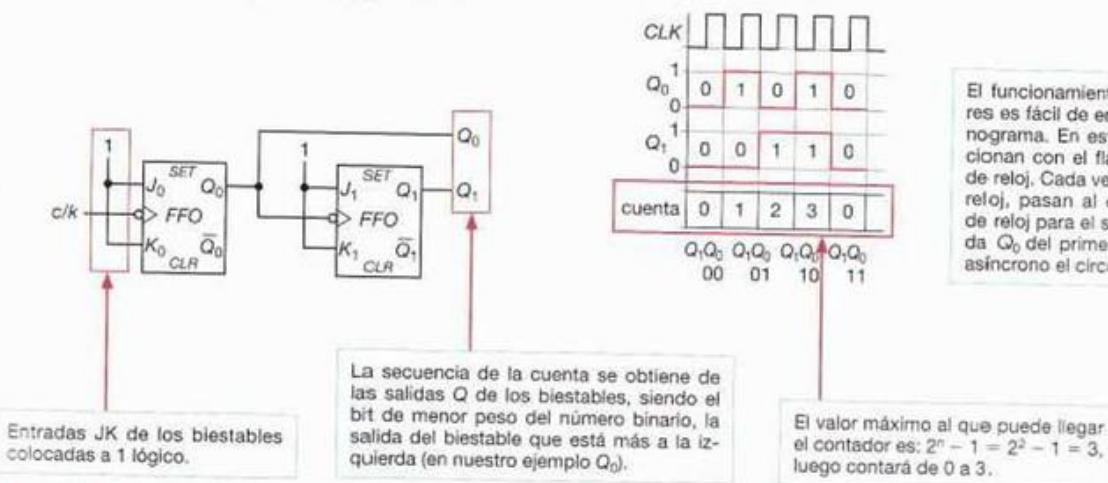


Fig. 14.27. Contador binario ascendente de dos bits asíncrono.

Importante

Las **secuencias** en los circuitos contadores son siempre **cíclicas**, por lo que al llegar al final de la cuenta (si esta no se ha parado antes) volverán al valor inicial.

Importante

El **aparato de medida** que se utiliza para visualizar los cronogramas de los sistemas digitales es el analizador lógico. En el Caso práctico 4 tienes un ejemplo de cómo se utiliza.

3.2. Contadores síncronos

Todos los biestables cambian de estado al mismo tiempo, puesto que la señal de reloj les llega a todos a la vez. Salvo por este detalle, el funcionamiento del contador síncrono es igual al de los asíncronos.

El esquema de un contador síncrono es como el que se muestra en el siguiente caso práctico.

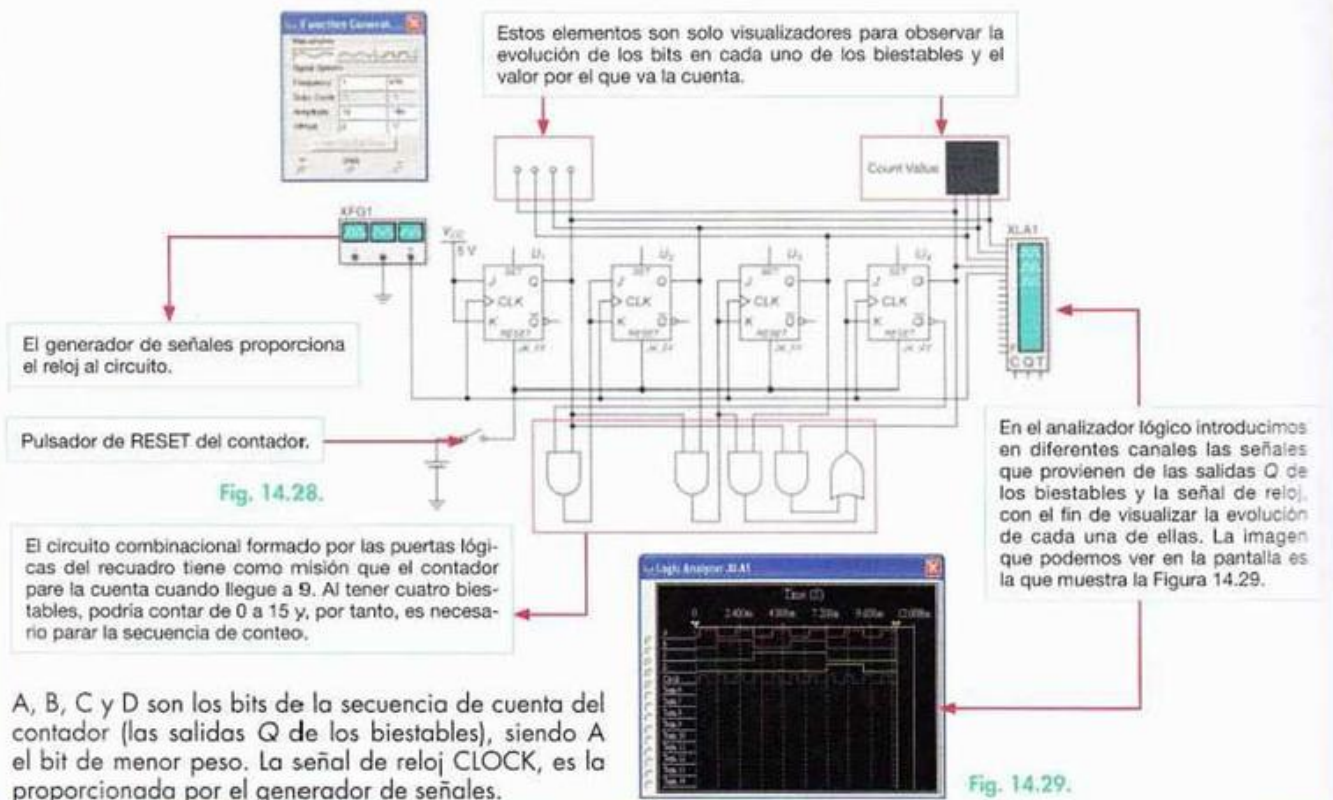
Caso práctico 5: Análisis de un contador BCD síncrono

El circuito de la Figura 14.28 está incorporado en un transmisor digital de telefonía móvil, con el fin de asegurarse de que se están manejando palabras de 10 bits. El contador se encarga de contar los bits que llegan a cada

posición de la memoria del sistema, de tal forma que cuando llega a 9 (y por tanto ha contado 10 bits) vuelve a 0. Analiza su funcionamiento mediante una simulación con NI MULTISIM.

Solución:

El esquema del circuito que se analiza es el siguiente:



Actividades

- Realiza un contador asíncrono ascendente cuya secuencia de cuenta sea de 0 a 15. Dibuja el esquema correspondiente e incorpora un pulsador para resetear el contador cuando se desee (fíjate para ello en el Caso práctico 4).
- Realiza la simulación del circuito anterior en NI MULTISIM y conecta un analizador lógico para visualizar las formas de onda que se producen en cada una de las salidas Q del contador.

3.3. Divisores de frecuencia

Una de las aplicaciones más comunes de los circuitos contadores es como divisor de frecuencias. Es una forma fácil de obtener frecuencias inferiores a partir de la señal obtenida en un oscilador.

La diferencia entre los divisores de frecuencia y los contadores síncronos es que en los divisores de frecuencia la salida solo se toma en una de las salidas de los biestables que lo forman. El número de biestables del circuito marca el valor por el que se divide la frecuencia de la señal de reloj; el número por el que se divide la frecuencia es 2^n de biestables. Este valor es modificable en función de la configuración del circuito una vez que se ha montado.

Caso práctico 6: Análisis de un divisor de frecuencia por 8

El demodulador de un aparato de radio digital tiene un oscilador cuya frecuencia se obtiene a partir de la señal de un oscilador patrón mediante un divisor de frecuencias. Utiliza el circuito que muestra la Figura 14.30 y analiza su funcionamiento.

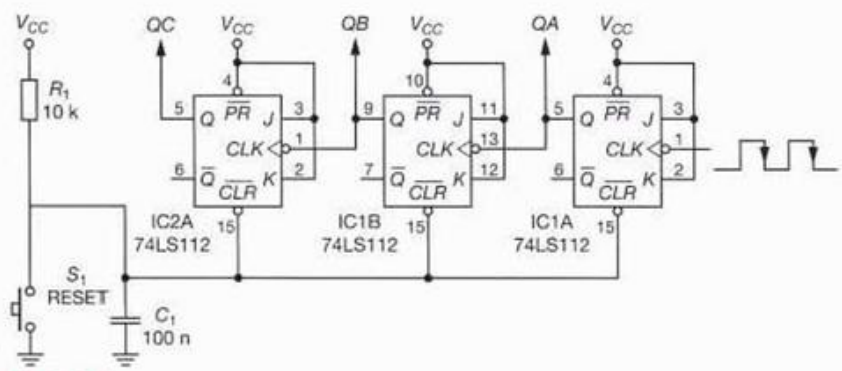
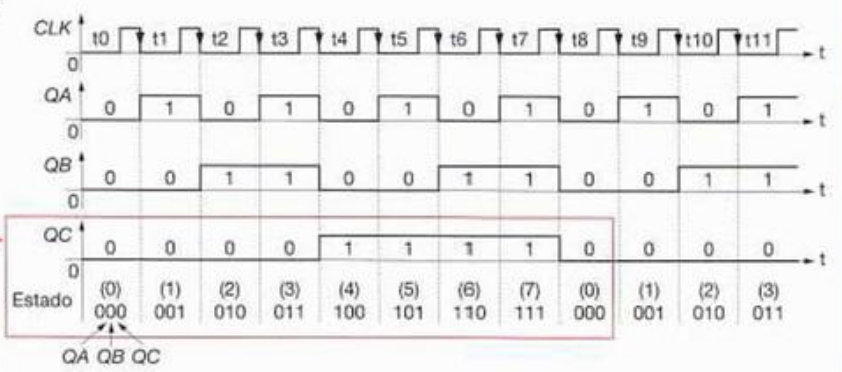


Fig. 14.30.

Solución:

Para poder dividir la frecuencia por 8 necesitamos un contador con tres biestables y tomar la salida en el último de ellos. En el esquema del circuito, se incorpora un pulsador para poder resetearlo en cualquier momento.

El funcionamiento del circuito se puede ver a través de su cronograma:



El flanco de bajada en la señal Q_c se produce una vez que han transcurrido 8 pulsos de la señal de reloj, por tanto se produce la división de la frecuencia original por dicho valor.

Fig. 14.31.

Actividades

- 8 ¿Cuántos biestables necesitarías para realizar un circuito que divida la frecuencia de la señal de entrada por 16?
- 9 Dibuja el esquema del circuito que realiza esta división.

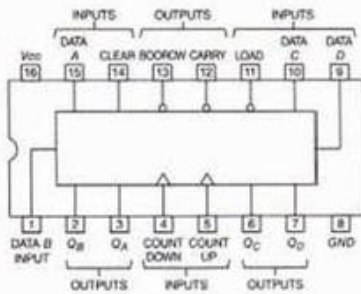


Fig. 14.32. Patillaje del contador 74192.

3.4. Circuitos contadores integrados

En los apartados anteriores hemos visto cómo realizar circuitos contadores a partir de biestables.

Sin embargo, estos circuitos los podemos encontrar en un único chip, como ocurre con otros muchos circuitos digitales. Es imprescindible para su manejo consultar las hojas de características del circuito integrado correspondiente al modelo elegido.

Como ejemplo de este tipo de circuitos, vamos a analizar el contador **74xx192**. Se trata de un contador decimal ascendente/descendente (Fig. 14.32).

Pin	Descripción
Q_D, Q_C, Q_B y Q_A	Salida de los biestables.
CLEAR	Entrada de RESET a cero. Es activa a nivel alto.
COUNT UP	Entrada de reloj para cuenta ascendente. Es activa por flanco de subida.
COUNT DOWN	Entrada de reloj para cuenta descendente. Es activa por flanco de subida.
DATA INPUT D, C, B y A	Entradas de datos en paralelo.
LOAD	Entrada de carga en paralelo asincrónica. Es activa a nivel bajo.
CARRY	Acarreo. Salida de la cuenta final ascendente. Es activa a nivel bajo.
BORROW	Préstamo. Salida de la cuenta descendente. Es activa a nivel bajo.

Tabla 14.2. Función de las patillas del circuito integrado.

En la tabla 14.2 se muestra la misión de cada una de las patillas del circuito integrado. La secuencia de cuenta (ascendente o descendente) es seleccionable desde las patillas 4 o 5. El contador puede comenzar la cuenta en un valor distinto de cero, cargando un número binario a través de las entradas DCBA, cuando se activa la entrada LOAD (colocando un cero en ella).

La entrada CLEAR pone el contador a cero cuando se activa.

CARRY y BORROW permiten unir contadores en cascada con el fin de aumentar los valores de la cuenta.

Algunos de los contadores integrados más utilizados, además del citado anteriormente son los siguientes:

- 74xx193: contador UP/DOWN hexadecimal.
- 74HC4518: doble contador decimal.
- 74xx93: contador binario de 4 bits.

Web

En la siguiente web puedes localizar y consultar la hoja de características del contador 7493:

<http://www.datasheetcatalog.net/es/>

Actividades

- Analiza la hoja de características de un contador 74193 y contesta a las siguientes cuestiones:
 - ¿Lleva carga del valor inicial de cuenta?
 - ¿Con qué valores son activas las entradas asíncronas?
 - Dibuja el diagrama del patillaje del integrado y explica, en función de su tabla de verdad, su funcionamiento básico.
- Monta en el simulador un contador 7492 y a continuación comprueba su funcionamiento como contador ascendente.

Añade las puertas lógicas necesarias para detener la cuenta en 5, y comprueba que funciona correctamente (después de que llegue dicho número, el contador debe volver a 0).

Práctica final: Montaje de un cronómetro digital de 1 minuto con contadores 74192

1. Objetivo

Estudiar el funcionamiento del contador 74192, y su conexión en cascada para aumentar el final de cuenta.

El esquema del circuito que vamos a montar es el siguiente:

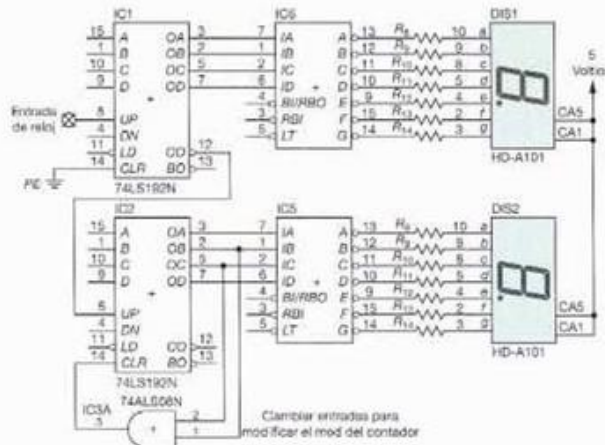


Fig. 14.33.

2. Materiales

- Fuente de alimentación de 5 V (en el entrenador).
- Entrenador para electrónica digital con placa BOARD para el montaje del circuito.
- Catorce resistores de $1\ 270\ \Omega$.
- Dos circuitos integrados 7447, dos circuitos integrados 74192 y un circuito integrado 7408.
- Dos displays de siete segmentos.
- Cables.



Fig. 14.34.

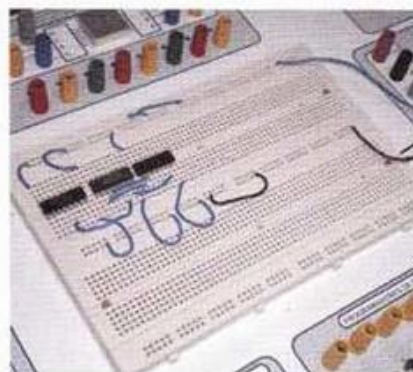


Fig. 14.35.

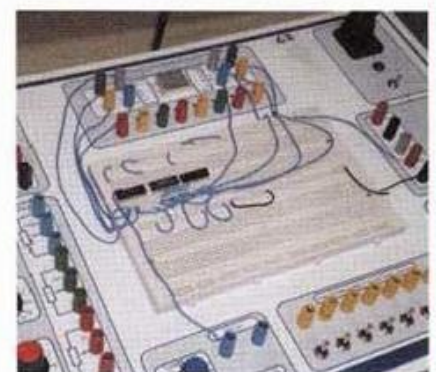


Fig. 14.36.

3. Técnica

1. Coloca los dos integrados sobre la placa BOARD. Realiza las conexiones de alimentación para ambos: V_{cc} al positivo de la fuente de alimentación y GND al negativo.
2. Conecta las resistencias desde el decodificador a cada una de las entradas del display de siete segmentos (Figs. 14.34 y 14.35).
3. Conecta el reloj del entrenador a la entrada «up» del primer 74192. Selecciona para el reloj una frecuencia de 1 Hz.
4. Pon en marcha el circuito y la secuencia de cuenta en los displays del circuito (Fig. 14.36).

4. Cuestiones

1. Explica brevemente cómo funciona el circuito.
2. ¿Qué es lo que hace la puerta AND montada en el circuito? ¿Cuál es el número que está detectando? Justifica la respuesta.
3. ¿Qué patilla sirve para conectar los dos contadores en cascada? ¿A qué entrada del segundo contador se conecta?
4. ¿Cuál sería el número máximo que se podría contar con este montaje si eliminamos la puerta AND? ¿Por qué?
5. Según está montado el circuito correspondería a un cronómetro de segundos, ¿cómo se podría ampliar el circuito si quisiéramos realizar un cronómetro para 59 minutos?
6. Realiza la simulación del circuito anterior (cuestión 5) en el ordenador y comprueba en qué valor se detiene la cuenta del mismo. Explica cómo deben realizarse las conexiones para que el cronómetro comience otra vez a partir de 0.

Test de repaso

1. Se denomina circuito secuencial a aquel cuya salida depende:
 - a) Solamente de las entradas.
 - b) De las entradas y del tiempo transcurrido.
 - c) Solamente del tiempo.
 - d) Solamente de lo ocurrido en la salida anterior.
2. Un biestable es capaz de almacenar:
 - a) 1 bit.
 - b) 2 bits.
 - c) Varios bits.
 - d) No puede almacenar ningún bit.
3. En un biestable asíncrono, el valor de la salida puede cambiar.
 - a) Cuando cambian las entradas.
 - b) Cuando cambia la señal de reloj.
 - c) Cuando han cambiado las entradas y cambia la señal de reloj.
 - d) Cuando se conecta el circuito.
4. En un biestable síncrono, el valor de la salida puede cambiar.
 - a) Cuando cambian las entradas.
 - b) Cuando cambia la señal de reloj.
 - c) Cuando han cambiado las entradas y cambia la señal de reloj.
 - d) Cuando se conecta el circuito.
5. En un biestable RS asíncrono, si se activa la entrada «R», el valor de la salida Q será:
 - a) 0.
 - b) 1.
 - c) El mismo que tenía antes.
 - d) El contrario del que tenía antes.
6. Si en un biestable JK ponemos las dos entradas a 1, el valor de la salida será:
 - a) 0.
 - b) 1.
 - c) El que tenía anteriormente.
 - d) El contrario del que tenía anteriormente.
7. A un divisor de frecuencia montado con tres biestables le entra una señal de reloj de frecuencia igual a 1 600 Hz. ¿Cual será el valor de la frecuencia de la señal de salida (en Hz)?
 - a) 100.
 - b) 200.
 - c) 800.
 - d) 400.
8. Si en un biestable JK síncrono activamos la entrada PRESET ¿Cuanto vale la salida \bar{Q} del biestable?
 - a) 0.
 - b) 1.
 - c) No cambia.
 - d) No se puede activar esta entrada.
9. ¿Con qué parte de la señal de reloj conmutará el biestable de la siguiente figura?

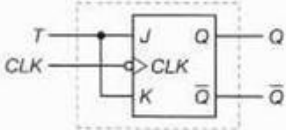


Fig. 14.37.

 - a) Con el flanco de subida.
 - b) Con el flanco de bajada.
 - c) Cuando el nivel sea 1.
 - d) Cuando el nivel sea 0.
10. ¿Cuántas entradas tiene un biestable D?
 - a) 1.
 - b) 2.
 - c) 3.
 - d) 4.
11. ¿Cuántas entradas tiene un biestable T?
 - a) 1.
 - b) 2.
 - c) 3.
 - d) 4.

Soluciones: 1b, 2a, 3a, 3c, 4a, 5a, 6b, 7b, 8a, 9b, 10a, 11a.

Comprueba tu aprendizaje

Representar los circuitos secuenciales mediante la simbología adecuada

1. Pon la tabla de verdad de cada uno de los biestables que ves representado por su símbolo e indica de qué tipo de biestables se trata.

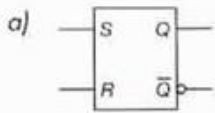


Fig. 14.38.

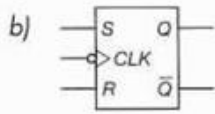


Fig. 14.39.

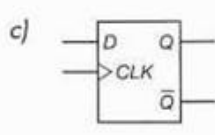


Fig. 14.40.

2. Dibuja el símbolo y coloca la tabla de verdad de un biestable JK síncrono, activo con los flancos de bajada de la señal de reloj, y con entradas de PRESET y CLEAR.

3. Dada la siguiente tabla de verdad, justifica a qué biestable de los estudiados a lo largo de la unidad pertenece.

Entradas			Salida
J	K	CLK	Q
0	0	1	No cambia
1	0	1	1
0	1	1	0
1	1	1	Cambia
X	X	0	No cambia
X	X	1	No cambia

Relacionar las entradas y salidas en los circuitos secuenciales

4. Completa los siguientes cronogramas.

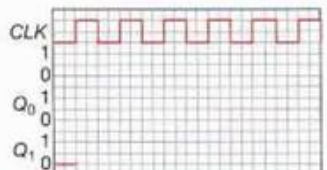
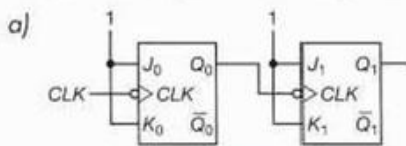


Fig. 14.41.

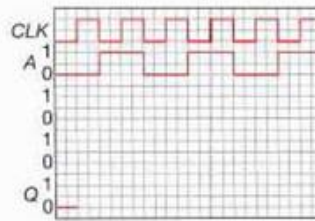
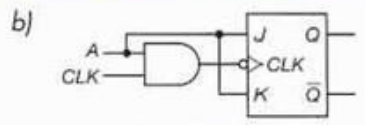


Fig. 14.42.

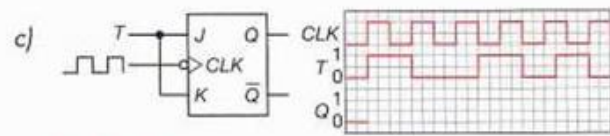


Fig. 14.43.

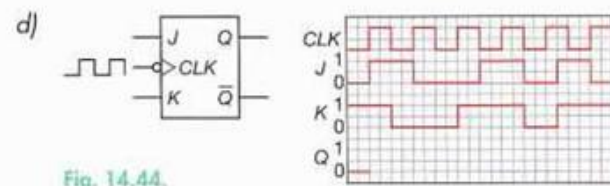


Fig. 14.44.

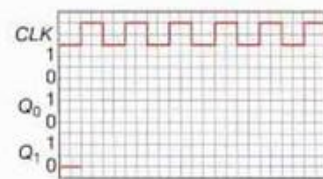
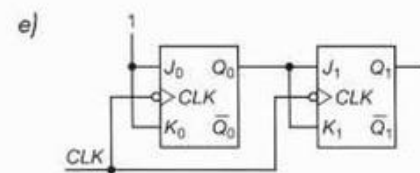


Fig. 14.45.

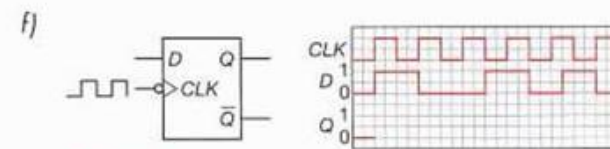


Fig. 14.46.

Comprueba tu aprendizaje

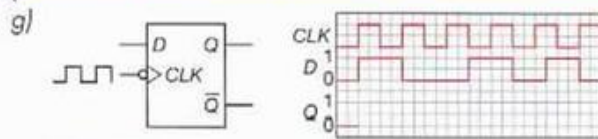


Fig. 14.47.

Verificar el funcionamiento de los circuitos secuenciales

5. Completa el diagrama de tiempos del circuito de la Figura 14.48 y explica de qué tipo de circuito se trata, en función de su esquema eléctrico.

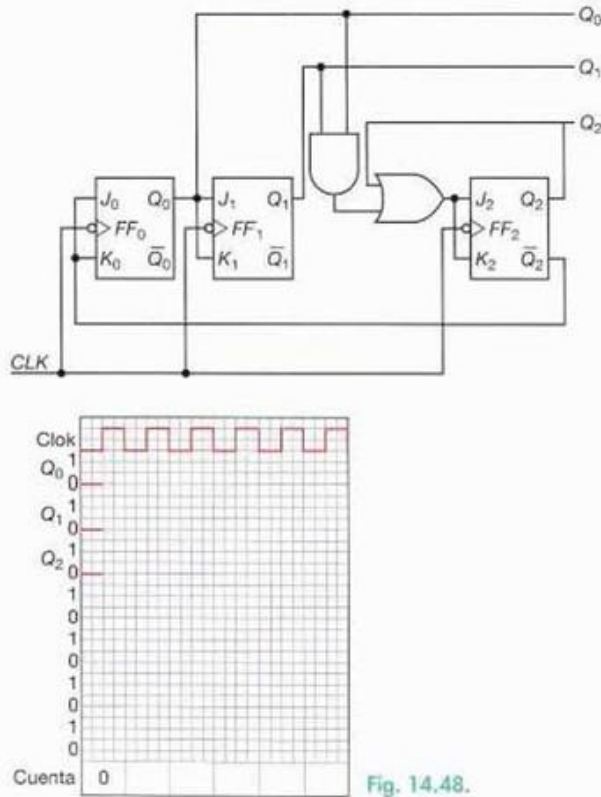


Fig. 14.48.

6. Dibuja el esquema correspondiente a un divisor de frecuencia de tres bits y completa su diagrama de tiempos.

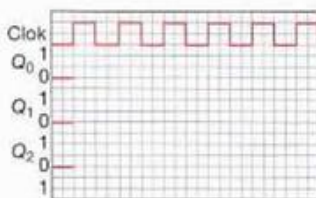


Fig. 14.49.

Montar o simular circuitos digitales secuenciales

7. Realiza la simulación en el ordenador del circuito del ejercicio 5. Conecta a su salida un analizador lógico y comprueba que el diagrama de tiempos que te da coincide con el que has obtenido teóricamente.
8. Realiza el montaje en una placa BOARD del circuito propuesto en el ejercicio 6 y comprueba, conectando un osciloscopio en la salida del mismo, cuál es el valor de la señal que se obtiene. Introduce como señal de reloj una onda cuadrada (proporcionada por el generador de señales o por la señal de reloj del entrenador digital) que tenga una frecuencia de 800 Hz.
9. Simula el siguiente circuito en el ordenador:

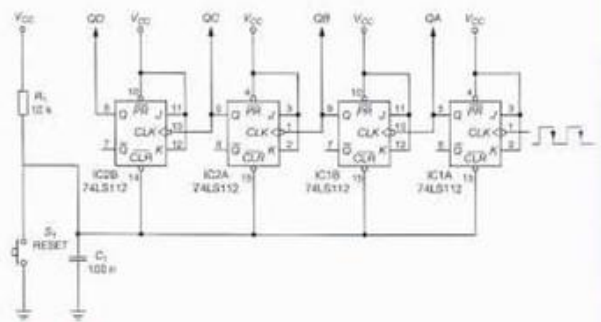


Fig. 14.50.

- a) Conecta cada salida de los biestables en un analizador lógico y comprueba su diagrama de tiempos. Introduce una señal de reloj de 10 Hz (utiliza en el simulador un generador de señales para poder ponerla).
 - b) Conecta las salidas a un display de siete segmentos y observa los resultados que se visualizan. Comenta los resultados que se obtienen, justificando tus respuestas.
10. Simula los circuitos de las Figuras 14.41 y 14.44. Conecta a la salida un analizador lógico y comprueba que el cronograma que obtienes es igual al que has calculado teóricamente.
 11. Monta en el simulador el circuito de la Figura 14.42. Conecta un analizador lógico y comprueba su cronograma. ¿Qué hace la puerta AND conectada a la entrada?

1. Concepto de conversión analógica-digital

¿Sabías que...?
 La televisión analógica terrestre ha sido sustituida por la TDT (televisión digital terrestre). Este sistema tiene como ventajas el ser inmune a las interferencias poder transmitir sonido envolvente e imágenes en formato panorámico real.

Se denomina **conversión analógica-digital** al proceso mediante el cual una señal de tipo físico (como puede ser la voz, el sonido, etc.), una vez recogida por un transductor eléctrico, es convertida en una señal digital.

Este proceso se emplea en la actualidad para el tratamiento de señales. En él intervienen dos tipos de circuitos: los conversores analógicos digitales (ADC) y los conversores digitales analógicos (DAC).

Los sistemas de **conversión analógica-digital** y su proceso inverso, **conversión digital analógica**, se utilizan habitualmente en el mundo de las telecomunicaciones, como por ejemplo en la telefonía móvil, la transmisión de imágenes a través del sistema TDT, etc.

A lo largo de esta unidad analizaremos los principales parámetros de ambos tipos de conversiones, y los circuitos que las realizan.

1.1. Esquema de un proceso de tratamiento de señales digitales

Ya hemos comentado la necesidad de utilizar dos tipos de conversiones en el tratamiento de una señal continua de manera digital. La señal original (como, por ejemplo, la voz en un teléfono móvil) debe ser digitalizada, tratada y reconstruida de la forma que pueda ser reconocida sin problemas (la persona que utiliza un teléfono móvil debe reconocer lo que le está diciendo su interlocutor).

El esquema de un proceso de este tipo sería el siguiente (Fig. 15.1):

Los **elementos** que podemos encontrar a lo largo del proceso son:

1. **Transductores:** micrófono (convierte la señal de voz en una señal eléctrica) y altavoz.
2. **Preamplificador:** aumenta el nivel de la señal producida por el micrófono, que suele ser muy pequeña. Lo mismo ocurre con el amplificador anterior al altavoz.
3. **Filtros paso bajo,** como los estudiados en la Unidad 8.
4. **Convertor A/D:** a su salida tendremos una señal en forma de 1 y 0 (digital).
5. **Memoria:** almacena la información digital.
6. **Convertor D/A:** proporciona de nuevo una señal continua a partir de la señal digital obtenida anteriormente.

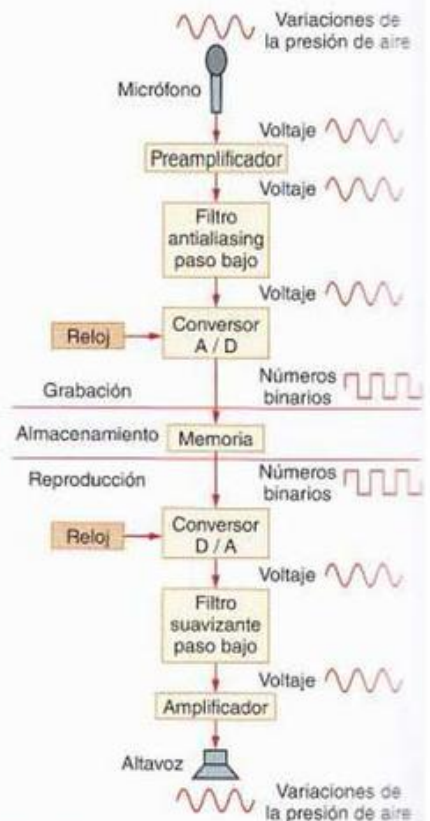


Fig. 15.1. Tratamiento de una señal acústica de manera digital.



1.2. Digitalización de una señal continua. Muestreo de la señal

El primer paso que tenemos que dar antes de poder tratar la señal continua en un equipo digital es la digitalización de la misma (Fig. 15.2).

La **digitalización de una señal** consiste en tomar un determinado número de muestras de la misma lo suficientemente amplio para que esta pueda ser reconstruida de nuevo al final del proceso.

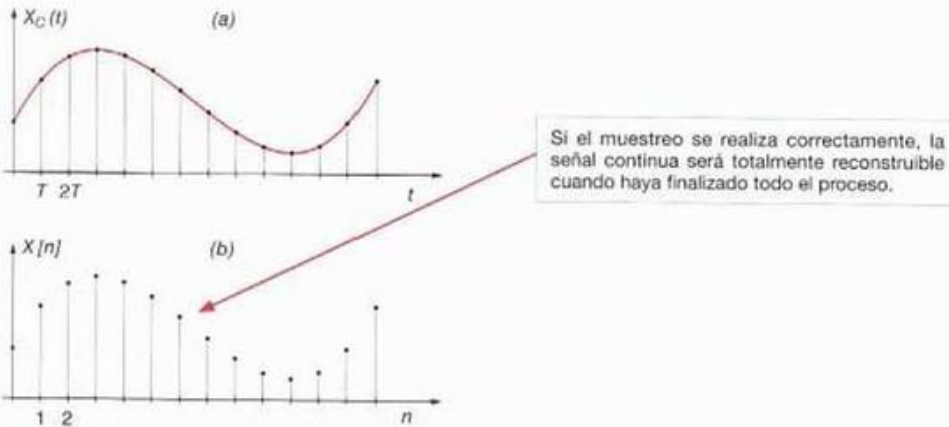


Fig. 15.2. Ejemplo de cómo se toman las muestras de una señal analógica: son los valores que toma la señal en un determinado instante de tiempo.

El tiempo de adquisición entre muestras se conoce como **periodo de muestreo** (su inversa es la **frecuencia de muestreo**); en la mayor parte de las aplicaciones este tiempo es constante.

Una vez tomada la muestra, esta debe ser presentada al convertor y permanecer un determinado tiempo en la entrada del mismo. En este proceso se utiliza un circuito de muestreo y retención denominado **Sample and Hold (S/H)** (Fig. 15.3).

El **diagrama de bloques** del circuito encargado de tomar las muestras de la señal es el siguiente:

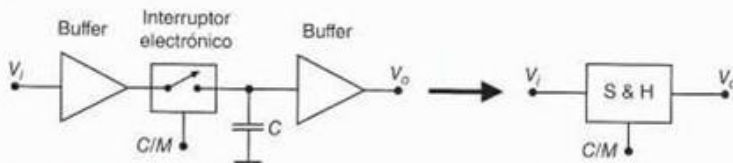


Fig. 15.3. Circuito de muestreo y retención (Sample and Hold: S/H).

Los circuitos de muestreo y retención pueden implementarse de multitud de maneras. El más elemental es el que muestra la figura anterior: un interruptor electrónico, que dejará pasar la muestra tomada hacia la otra etapa, y un elemento de retención, que en este caso corresponde al condensador.

El **tiempo de muestreo** de la señal debe elegirse adecuadamente. Por otro lado, es necesario tomar un número de muestras tal, que la señal pueda ser reconstruida en la parte final del proceso, y que sea reconocible (lo más parecida posible a la señal de entrada). Por tanto, la frecuencia de muestreo no puede ser un valor arbitrario, sino que debe cumplir una serie de requisitos para que la señal pueda ser reconstruida.

¿Sabías que...?

La **frecuencia de muestreo del sonido en los CD de audio** es de 44 100 Hz. Los valores de frecuencia máxima que podemos oír están alrededor de los 20 kHz. Sería suficiente muestrear a 40 kHz, pero siempre se deja un margen de seguridad (alrededor de un 10% más) para evitar problemas en la conversión.

El valor de la frecuencia a la que debe muestrearse una señal viene determinado por el **Teorema de Nyquist-Shannon**, que establece que la frecuencia de muestreo de una señal deberá ser el doble de la frecuencia máxima que tiene la misma. Así, si llamamos F a la frecuencia más alta que puede tener una señal, la frecuencia de muestreo será

$$F = 2 \cdot B \text{ (Hz)}$$

La **frecuencia de muestreo** determina el número de muestras de la señal que debe tomarse por segundo.



Caso práctico 1: Determinación de la frecuencia de muestreo para la voz

En los sistemas de telefonía (tanto móvil como fija) se maneja como ancho de banda de la voz el comprendido entre las frecuencias de 300 y 3 100 Hz.

Partiendo de esa información, ¿a qué frecuencia debería muestrearse esta señal para que pueda reconocerse sin ningún problema?

Solución:

Teniendo en cuenta que debemos muestrear a un valor de frecuencia que sea el doble del valor máximo, tendremos lo siguiente:

$$F = 2 \cdot B = 2 \cdot 3\,100 = 6\,200 \text{ Hz}$$

Luego será necesario tomar 6 200 muestras de la señal por segundo para que pueda reconocerse.

1.3. Obtención del código digital: procesos de cuantificación y codificación



¿Sabías que...?

Además de los cuantificadores uniformes tenemos los **cuantificadores no uniformes**. Estos se caracterizan porque los intervalos de cuantificación no son iguales. Generalmente se adaptan según el tipo de señal que se va a convertir.

Una vez tomadas las muestras de la señal, cada una de ellas representa un nivel de amplitud distinto de la señal original. Para poder convertirlas a un valor digital manejable en etapas sucesivas, habrá que someterlas a un **proceso de cuantificación**, que consiste en dividir la amplitud de la señal en M franjas o escalones y asignar las muestras correspondientes a cada uno de estos escalones. Gráficamente lo podemos representar de la siguiente manera (Fig. 15.4):

Una vez determinados los escalones de cuantificación, el siguiente paso es asignar cada una de las muestras a uno de los escalones en función de la amplitud que tiene cada una de ellas. De esta forma, las tenemos todas perfectamente definidas.

El último paso del proceso es la **codificación**. Para llevarla a cabo se asigna a cada uno de los escalones de cuantificación una combinación binaria. Así hemos conseguido pasar de un valor analógico representado por la muestra de la señal a un valor digital. El número de bits con el que se va a representar cada muestra determina la cantidad de escalones que debemos realizar en nuestro cuantificador: si la señal se va a representar con n bits, el número de escalones será 2^n .

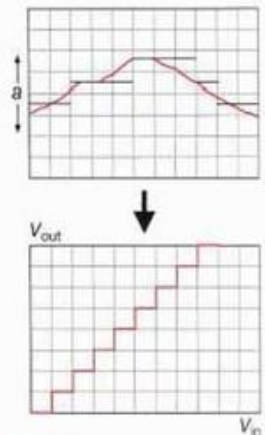


Fig. 15.4. Representación de la división de la amplitud de la señal en «escalones» para un cuantificador uniforme. La altura entre dos escalones es la denominada «a» en la parte izquierda de la figura.



Actividades

1. Indica la frecuencia a la que hay que muestrear una señal cuya frecuencia máxima es de 30 kHz.
2. ¿Cuántos escalones tendrá un cuantificador que codifica sus señales de salida con 5 bits?

2. Características a tener en cuenta en los conversores

Entre los principales parámetros y características que encontramos en los conversores (ADC y DAC), podemos citar los siguientes:

- **Error de linealidad:** es la pérdida de linealidad de la función de transferencia del conversor.
- **Resolución:** si se trata de un ADC, la resolución del conversor es el número de bits que puede proporcionar a la salida. Por el contrario, si es un conversor DAC, será el valor de tensión correspondiente a un bit.
- **Monotonicidad:** se considera que un conversor es monótonico cuando ante un cambio en la tensión de entrada le corresponde un cambio en la salida. De hecho, si no sucede así, se pueden producir pérdidas de código. Se puede representar gráficamente de la siguiente manera (Fig. 15.5):

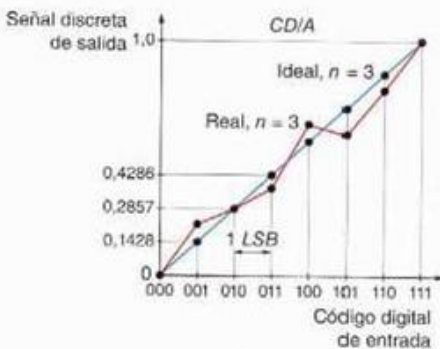
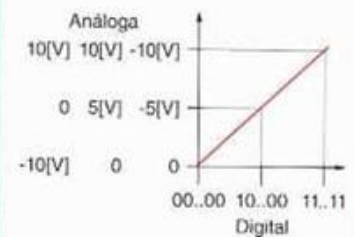


Fig. 15.5. Representación de la no monotonicidad de un conversor. Los valores que se obtienen en la realidad no se corresponden con los que tendrían que salir idealmente.

- **Errores de ganancia y de offset:** el error de ganancia muestra la precisión de la función de transferencia del conversor con respecto a la ideal. El error de *offset* se produce en los DAC, y consiste en la presencia de una tensión de salida cuando la combinación digital corresponde al número cero.
- **Velocidad de conversión:** es la rapidez con la que se puede realizar la conversión de la señal. Depende del número de bits del conversor.
- **Tiempo de conversión:** es el tiempo que transcurre desde que la señal se presenta a la entrada y se obtiene la señal de salida. Es un parámetro válido para los dos tipos de conversor (ADC y DAC).
- **Tiempo de adquisición:** es un parámetro referido a los conversores ADC, y se define como el tiempo que debe permanecer activo el sistema de muestreo del circuito para que la muestra sea adquirida correctamente.
- **Tiempo de asentamiento:** es el tiempo que transcurre desde que se inicia el proceso de retención de la señal hasta que se produce su asentamiento definitivo.

Vocabulario

Función de transferencia del conversor. Es la relación entre la señal analógica que se maneja en él y la señal digital. Esta relación se puede representar gráficamente. Idealmente, esta gráfica será una línea recta:



En el eje y se representan los valores de señal analógica, y en el eje x los valores de la combinación digital.

Importante

La **elección del tipo de conversor** depende de la aplicación para la que este va a trabajar, pero de forma general, nos interesa que:

- Tenga una buena velocidad de conversión.
- Tenga una gran monotonicidad.
- Que los posibles errores (linealidad, ganancia *offset*, etc.) sean lo más pequeños que sea posible.
- Que los tiempos (adquisición, conversión y asentamiento) sean reducidos.

Actividad

3. En el siguiente link puedes consultar la hoja de características del conversor DAC0800:

http://www.datasheetcatalog.net/es/datasheets_pdf/D/A/C/0/DAC0800.shtml

- Busca en ella los parámetros que hemos comentado en el apartado 2 de la unidad.
- Busca en Internet alguna aplicación que utilice un conversor del modelo citado.

Importante

La **resolución** de un conversor también se puede expresar en voltios. Para ello, se divide el rango de tensiones del conversor (denominado fondo de escala) entre el número de combinaciones binarias que puede proporcionar. Este valor equivale a la tensión correspondiente al **bit menos significativo (LSB)**:

$$1 \text{ LSB} = \frac{FS}{N}$$

Donde FS es el fondo de escala y N el número de combinaciones binarias sin contar la primera.

Importante

Los **parámetros** más importantes que debemos tener en cuenta a la hora de elegir un conversor son los siguientes:

- Tiempo de conversión.
- Resolución del conversor.
- Tensiones de alimentación y de referencia.
- Error que se comete en la conversión.
- Tipo de entradas analógicas que se pueden utilizar (rango de tensiones admitidas).
- Estos parámetros deben ser siempre obtenidos de las hojas de características del conversor, ya que nos servirán para realizar la elección adecuada del mismo en función de las características del circuito donde se vaya a utilizar.

3. Conversores analógico-digitales

Los **conversores analógico-digitales (ADC)** son los primeros circuitos que nos encontramos en el proceso de tratamiento digital de una señal. Su misión es la de convertir las muestras que se han obtenido de la señal en un valor digital, para que pueda ser tratado en las etapas posteriores (un microprocesador, un microcontrolador, un DSP, procesador digital de señal, etc.). Es decir, en la salida proporcionan un código digital.

Estos circuitos se utilizan principalmente en equipos como teléfonos digitales (en la etapa de la recepción de la voz), cámaras de vídeo, etc. En la actualidad, los circuitos integrados de este tipo suelen incorporar internamente los circuitos de muestreo y retención. En caso contrario, deberán ser añadidos externamente.

Los **parámetros** que debemos considerar a la hora de manejar un conversor analógico digital son los siguientes:

- En la parte de la **señal analógica**:
 - **Tipo de señal de entrada**: si se trata de una tensión o una intensidad.
 - **Polaridad y rango** de la señal.
 - **Tensión de referencia** (si es externa o interna).
- En la parte de la **salida digital**:
 - Número de **bits** que proporciona (resolución del conversor).
 - Tipo de **código** de salida (binario natural, código BCD, etc.).
 - **Niveles eléctricos** de la señal digital (familia lógica con la que se puede conectar)

Los conversores ADC se pueden clasificar en función del modo en que realizan la conversión (Tabla 15.1):

Tipos de conversores	
Conversión directa	Conversores <i>flash</i> o de salida en paralelo.
	Conversores de aproximaciones sucesivas.
Conversión indirecta	Conversores por rampa.
	Conversores sigma-delta.

Tabla 15.1. Clasificación de los conversores ADC en función del tipo de conversión que realizan.

Se puede hacer también otro tipo de clasificación: en función de la salida digital (paralelo o serie). Analizaremos alguno de los más utilizados a lo largo del próximo apartado

Los **conversores *flash*** se caracterizan por dar la salida digital en paralelo, es decir, se obtienen todos los bits al mismo tiempo. Son conversores muy rápidos en su funcionamiento (el tiempo de conversión es muy pequeño), aunque caros de implementar.

3.1. Conversor ADC de tipo *flash*

Estos conversores se utilizan frecuentemente en el campo de las telecomunicaciones, en el tratamiento de señales de vídeo, y en instrumentos de medida.

Los conversores de tipo *flash* integrados que podemos encontrar en el mercado no suelen dar salidas superiores a 16 bits, debido a la complejidad del circuito con el que deben construirse.

El **esquema** de un conversor *flash* es el siguiente (Fig. 15.6):

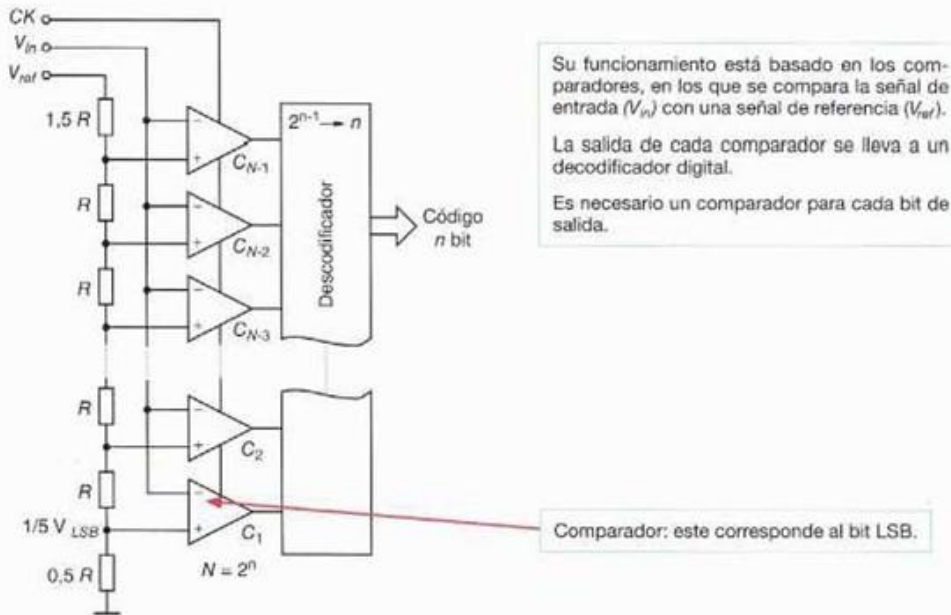


Fig. 15.6. Esquema interno de un conversor de tipo flash.

3.2. Conversor ADC de aproximaciones sucesivas

Este tipo de conversor es muy similar en cuanto al comportamiento a los conversores *flash*, pero más sencillo de implementar. El **esquema** de un conversor de este tipo es el siguiente (Fig. 15.7):

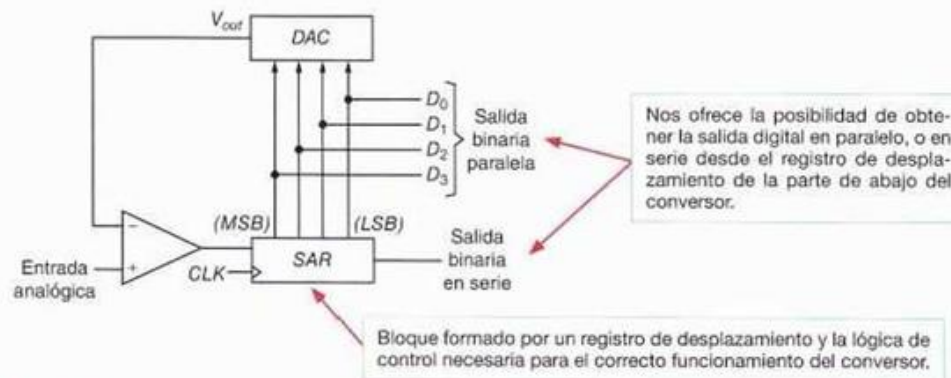


Fig. 15.7. Esquema de bloques de un conversor de aproximaciones sucesivas.

El **funcionamiento** de los conversores de aproximaciones sucesivas se basa en realizar sucesivas comparaciones de la señal de entrada con una serie de valores predeterminados. El tiempo de conversión requiere de tantos ciclos de reloj como bits de salida tenga el conversor. Se trata de uno de los tipos de circuitos más utilizados, y se suelen encontrar con resoluciones de entre 8 y 18 bits. Además, el error de conversión cometido se aproxima a $\pm 0,5$ LSB.

Como se puede ver en la figura anterior, también lleva dentro un conversor digital-analógico (DAC) que sirve para realizar la comparación de la señal analógica de la entrada con las combinaciones digitales obtenidas.

Ten cuidado

A la hora de utilizar un **conversor ADC**, asegúrate de la **compatibilidad** del circuito con el resto del sistema digital que estés utilizando (definido por la familia lógica a la que pertenecen los circuitos: TTL, CMOS, etc.).

Consulta en la hoja de características del ADC los valores de las tensiones y corrientes que proporciona el circuito cuando en la salida digital tiene un 1 o un 0.

Importante

Algunos ejemplos de **conversores analógico-digitales** integrados que podemos encontrar en el mercado son:

- ADC 0802, **0804**, 0808, **0809**, 0816.
- ADC082S101.
- ADC082S051.
- ADC0820.
- ADC088S052.
- ADC088S102.

Los destacados en **negrita** son los más utilizados.

Caso práctico 2: Ejemplo de utilización de un convertor ADC

En una caseta de un radioenlace se quiere monitorizar la temperatura de los equipos que se encuentran instalados en su interior, desde un ordenador. Para ello, se ha decidido realizar un sistema de adquisición de datos basado en un convertor ADC 0809. Analiza el funcionamiento del sistema construido que puedes ver en la Figura 15.8:

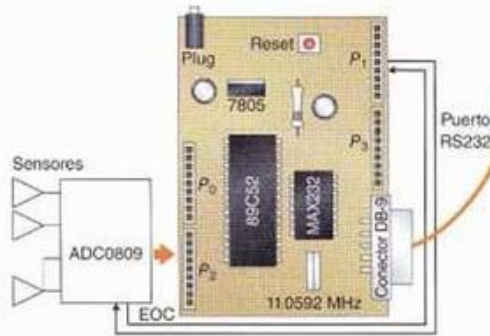


Fig. 15.8.

La tarjeta con el microprocesador 8952 sirve para comunicar el convertor con el ordenador a través del puerto RS-232 del ordenador (el puerto en serie).

El convertor es el encargado de proporcionar un código digital correspondiente a cada uno de los sensores de temperatura que hemos instalado en los equipos del radioenlace.

Solución:

El sistema está formado por los **elementos** que se detallan a continuación:

Las salidas digitales del convertor se llevan a las entradas de la placa del microprocesador.

Bloque con un microprocesador, que servirá de interfaz entre el convertor y el ordenador.

Salida al puerto en serie del ordenador.

Circuito oscilador generador del reloj.

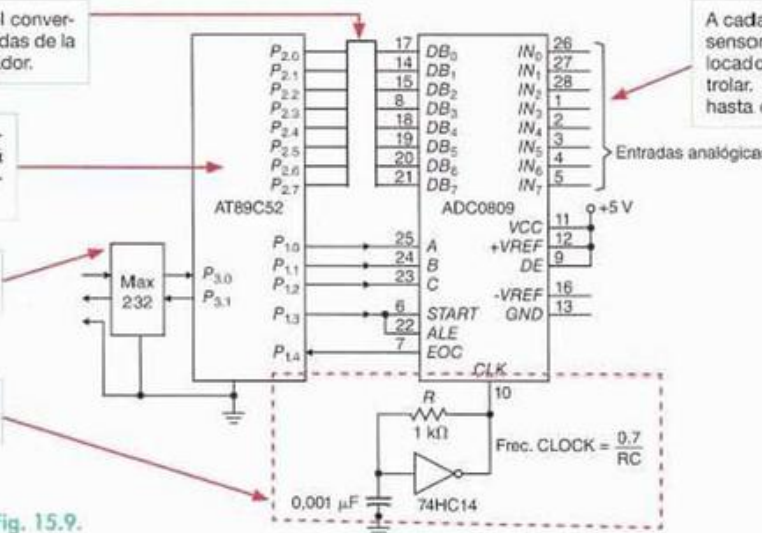


Fig. 15.9.

A cada entrada analógica conectaremos un sensor de temperatura, que habremos colocado en los equipos que queremos controlar. En este caso, podemos monitorizar hasta ocho equipos.

Esquema del encapsulado del convertor.

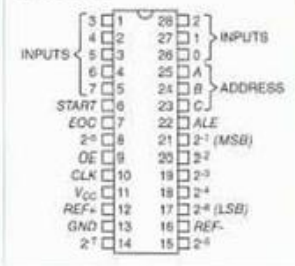


Fig. 15.10.

Vamos a analizar cómo funciona el convertor a partir de su **diagrama**:

Las entradas de los sensores llegan a un multiplexor, que será el encargado de seleccionar el canal sobre el cual se va a hacer la conversión analógico-digital.

El decodificador se encarga de seleccionar el canal del multiplexor. A este le llegará la combinación binaria de 3 bits para la selección del canal correspondiente.

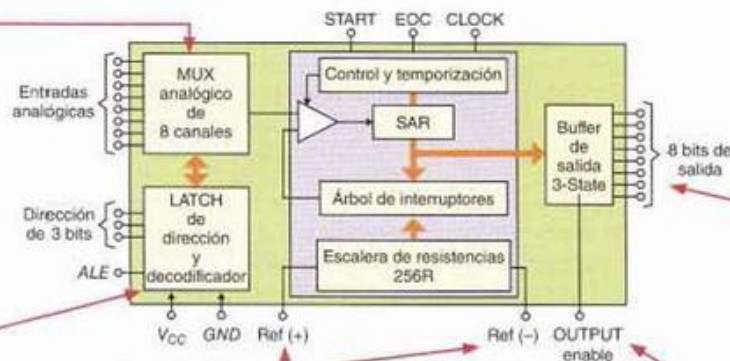


Fig. 15.11.

Son las tensiones de referencia que se utilizan como patrón para la conversión.

Salida digital en paralelo que proporciona el circuito una vez realizada la conversión.

Esta patilla sirve para habilitar la salida del convertor.

Como en todos los circuitos secuenciales, el **funcionamiento** del conversor debe comprobarse con el **cronograma** del mismo. Es importante asegurarse de cómo es la secuencia a lo largo el tiempo de todas las entradas y salidas del conversor, y comprobar cuántos ciclos de reloj se tarda en realizar la conversión (ya que es lo que determinará el tiempo final de conversión).

Caso práctico 3: Estudio del cronograma de un ADC

A partir de la hoja de características del fabricante hemos obtenido el cronograma del ADC utilizado en el Caso práctico 2. Analiza el funcionamiento del conversor a través del mismo.

Solución:

El cronograma del ADC 0809 es el siguiente:

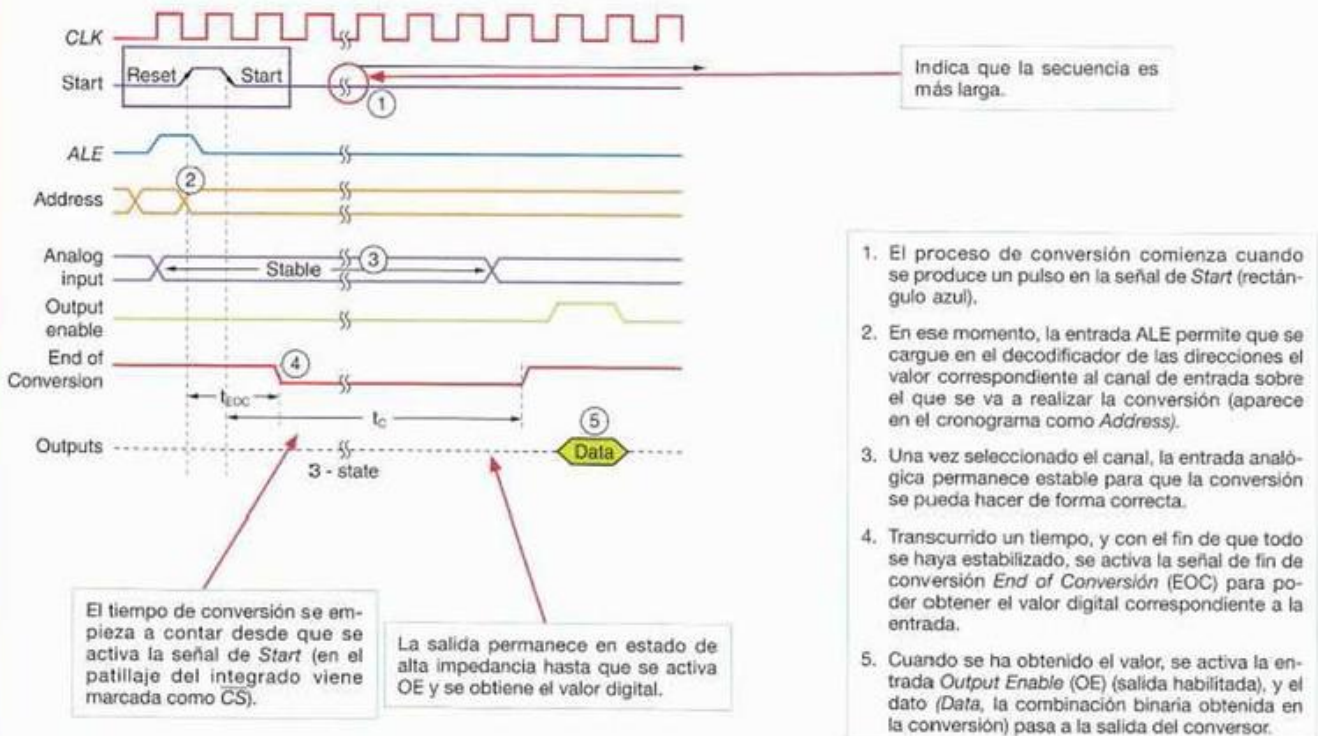


Fig. 15.12.

Actividad

4. En el siguiente enlace puedes obtener la hoja de características del ADC 0804 fabricado por la empresa Intersil:

http://www.datasheetcatalog.com/datasheets_pdf/A/D/C/0/ADC0804.shtml

Consulta los datos que nos proporciona el integrado y contesta a las siguientes preguntas:

a) ¿Con qué microprocesadores es compatible?

b) ¿Con qué familia lógica es compatible su salida digital?

c) Explica el tipo de reloj que utiliza el conversor.

d) ¿Cuál es el tiempo de conversión?

e) ¿Cuánto vale el error de conversión?

f) ¿Qué tipo de encapsulado utiliza?

g) ¿Cuál es la resolución del conversor?

@ Web

En el siguiente enlace, entrando en la sección «data converters» tienes acceso a las hojas de características de diferentes modelos de conversores DAC y ADC:

<http://focus.ti.com/analog/>

! Importante

A la hora de utilizar un DAC, nos interesará que:

- Los errores de linealidad y *offset* sean pequeños.
- Tengamos un buen margen dinámico en la salida.
- El tiempo de establecimiento sea reducido.

4. Conversores digitales-analógicos

Todos los procesos de conversión analógica-digital precisan de la realización de las conversiones en ambos sentidos: una vez que la señal ha sido tratada por un procesador digital (del tipo DSP, microcontrolador, etc.) normalmente es necesaria la conversión de dicha señal digital de nuevo en analógica. De este proceso se encargan los conversores DAC.

Un **conversor digital-analógico** es aquel circuito que es capaz de proporcionar a su salida una señal analógica cuando recibe a su entrada una combinación digital.

La **salida analógica** que proporciona un conversor DAC puede darse en forma de tensión o de corriente.

Los principales **parámetros** que debemos considerar a la hora de utilizar un conversor digital-analógico son los siguientes:

- **Escalón mínimo:** es lo que varía la salida cuando cambia un bit en el código a la entrada.
- **Resolución:** es el valor de la señal analógica de salida correspondiente al bit menos significativo (LSB). Así, por ejemplo, suponiendo un DAC unipolar, la variable de salida puede variar entre 0 y 5 V (fondo de escala), y el número de bits de entrada es de 8: la resolución será $5/2^8 - 1 = 19,6$ mV.
- **Fondo o final (FS)** de escala de salida de un DAC: es la máxima corriente o tensión de salida que se puede obtener de dicho DAC. Para un conversor binario, el fondo de escala se alcanzará cuando todas las entradas estén a 1.
- **Margen dinámico** de la señal de salida: es el margen de corrientes o tensiones que se pueden obtener en las salidas.
- **Tiempo de establecimiento (ts):** es el tiempo que transcurre desde que la señal analógica de salida pasa por el 50% del valor final que debe alcanzar, hasta el instante en que dicha salida alcanza el valor final.

En todos los procesos se producen **errores en la conversión**. Alguno de los que podemos encontrar son:

- **Error de offset:** cuando a la entrada del DAC tenemos la combinación binaria cero, la salida analógica debería ser cero. Si se mide un valor en la salida ante esta circunstancia, tendremos el error de *offset*. Este error es posible corregirlo mediante el ajuste de un potenciómetro de regulación de cero externo al chip.
- **Error de linealidad:** este error se produce cuando, ante incrementos iguales en el código digital de entrada, se producen incrementos desiguales en la señal analógica de salida.

Podemos encontrar **dos tipos de conversores DAC** en función del modo en que hayan sido construidos:

- Conversor DAC de resistencias ponderadas.
- Conversor DAC de red de resistencias R-2R.

Analizaremos el funcionamiento de cada uno de ellos, a través del esquema eléctrico del circuito con el que están construidos. En esos esquemas podremos comprobar que el funcionamiento de estos conversores se basa en el uso del amplificador operacional trabajando como comparador.

4.1. Conversor DAC de red de resistencias ponderadas

El **esquema** de un conversor de este tipo es el siguiente (Fig. 15.13):

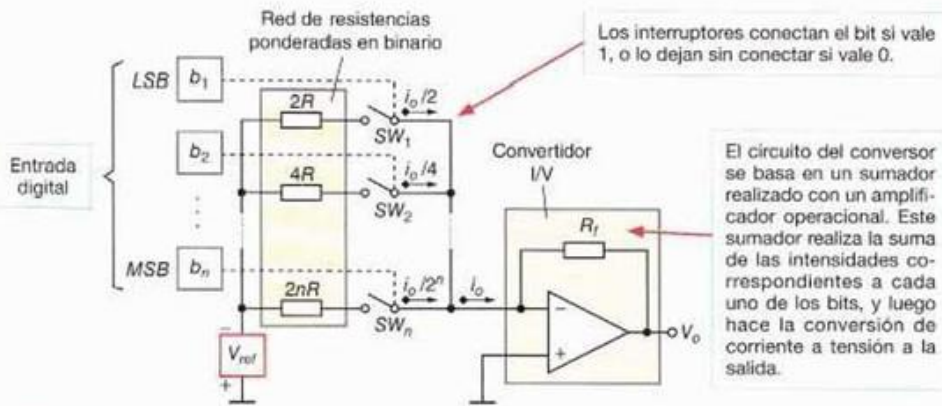


Fig. 15.13. Esquema interno de un conversor de resistencias ponderadas.

El **funcionamiento** del circuito se basa en realizar la suma de las corrientes que se producen en las ramas correspondientes a cada bit binario de entrada. En función de su valor, 0 o 1. Cada resistencia se corresponde con el valor decimal que correspondería a cada bit según la posición que ocupa en la combinación binaria (puedes repasarlo en la Unidad 12).

Para un conversor de 8 bits, la **señal de salida** se obtiene del siguiente modo:

$$V_o = -\frac{V_{ref} \cdot R_f}{R} \left(\frac{1}{2} b_1 + \frac{1}{2^2} b_2 + \frac{1}{2^3} b_3 + \frac{1}{2^4} b_4 + \frac{1}{2^5} b_5 + \frac{1}{2^6} b_6 + \frac{1}{2^7} b_7 + \frac{1}{2^8} b_8 \right)$$

4.2. Conversor DAC de red en escalera R-2R

El principio de funcionamiento es el mismo que el de los conversores DAC, con la particularidad de que la red resistiva está ahora configurada de otra manera. El **esquema** interno de un conversor de este tipo es:

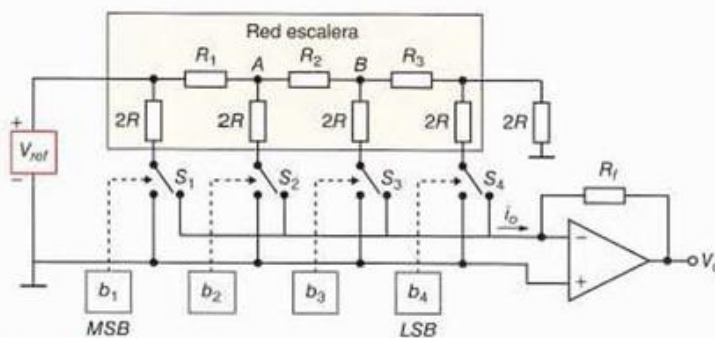


Fig. 15.14. Esquema interno de un conversor de red en escalera.

El **valor de la tensión de salida**, para un conversor de 8 bits, se obtiene a partir de la siguiente fórmula:

$$V_o = -\frac{V_{ref} \cdot R_f}{2R} \left(\frac{1}{2} b_1 + \frac{1}{2^2} b_2 + \frac{1}{2^3} b_3 + \frac{1}{2^4} b_4 + \frac{1}{2^5} b_5 + \frac{1}{2^6} b_6 + \frac{1}{2^7} b_7 + \frac{1}{2^8} b_8 \right)$$

Importante

Algunos de los **convertidores DAC integrados** que podemos encontrar en el mercado son los siguientes:

- Convertidores de 8 bits de resolución:
DAC 0800, DAC 0802, DAC 0830, DAC 081S101.
- Convertidores de 10 bits de resolución:
DAC 101C081, DAC 101C085.

Estos son solo algunos ejemplos, pero existen también convertidores con resoluciones más altas.

Caso práctico 4: Análisis de la hoja de características de un convertor digital-analógico

En una aplicación para audio necesitamos colocar un convertor DAC con una resolución de 8 bits. Para ello, hemos decidido escoger el modelo DAC 0800 de *National Instruments*. Analiza sus principales parámetros a partir de su hoja de características.

Solución:

Vamos a ver algunas de las cosas importantes a partir de los datos del fabricante, ya que la hoja de características consta de varias páginas. Entre la información que podemos obtener tenemos lo siguiente:

DAC0800/DAC0802 8-Bit Digital-to-Analog Converters

General Description

The DAC0800 series are monolithic 8-bit high-speed current output digital-to-analog converters (DAC) featuring typical settling times of 100 ns. When used as a multiplying DAC, resolution performance over a 40 to 1 reference current range is possible. The DAC0802 series also features high compliance complementary current outputs to allow differential output voltages of 2V_{ref} with simple resistor loads. The reference-to-output current matching of better than ±1 LSB eliminates the need for ballast (or ± 1 load) resistors, while the nonlinearity of better than 10.1% over temperature insures system error accumulation. The noise immune inputs and accept a variety of logic levels. The performance and characteristics of the DAC0800 are inherently unchanged over the ±15V to ±18V power supply range and power consumption of only 35 mW with ±5V supplies is independent of logic level.

Features

- Fast settling output current: 100 ns
- Full scale error: ±1 LSB
- Nonlinearity over temperature: ±0.1%
- Full scale current (80): ±10 ppm/°C
- High output compliance: -10V to +18V
- Complementary current outputs
- Interface directly with TTL, CMOS, PMOS and others
- 2 quarter scale range multiplying capability
- 10kV power supply range: ±6.5V to ±18V
- Low power consumption: 35 mW at ±5V
- Low cost

Fig. 15.15.

Descripción general y características de funcionamiento (error de fondo de escala, rango de salida, compatibilidad con las familias lógicas, consumo, etc.).

Typical Application

FIGURE 1. ±20 V_{ref} Output Digital-to-Analog Converter (Note 4)

Fig. 15.16.

Ejemplo de aplicación. En él se ve el símbolo con el que se suele identificar este componente en los esquemas eléctricos.

Connection Diagrams

Dual In-Line Package

Small Outline Package

Top View

See Ordering Information

Fig. 15.17.

Diagrama de conexiones (patillaje del circuito integrado) en función del encapsulado que estemos utilizando (DIP o SOP).

Electrical Characteristics (Continued)

The following specifications apply to V_{cc} = ±15V, I_{load} = 2 mA and T_{amb} = T_c = T_{max} unless otherwise specified. Output characteristics refer to both I_{OL} and I_{OH}.

Symbol	Parameter	Conditions	DAC0800/C			DAC0801/DAC0802/C			Units
			Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
V _{ih}	Logic Input Levels	V _{ih} = 0V							V
V _{ih}	Logic "1"		2.0		6.4	2.0		6.4	V
I _{ih}	Logic Input Current	V _{ih} = 0V		-0.0	-1.0		-2.0	-1.0	μA
I _{ih}	Logic "1"	-10V ≤ V _{cc} ≤ +18V		0.002	10		0.002	10	μA
V _{oh}	Logic Input Range	V _{oh} = -15V	-10		18	-10		18	V
V _{th}	Logic Threshold Range	V _{oh} = ±15V	-10		13.5	-10		13.5	V
I _{oh}	Reference Bias Current			-1.0	-3.0		-1.0	-3.0	μA
dt/dt	Reference Input Slew Rate	(Figure 1)	4.0	8.0		4.0	8.0		mA/μs

Fig. 15.18.

Características eléctricas: valores lógicos de entrada admitidos, consumos, etc.

Actividad

- Consulta la hoja de características del convertor DAC 104S085 y realiza un resumen de sus principales características, tales como:
 - Resolución del convertor.

- Compatibilidad con las familias lógicas a la hora de utilizarlo.
- Valores de la tensión de alimentación, etc.

Práctica final: Comprobación del funcionamiento de un convertor analógico-digital

1. Objetivo

Estudiar el funcionamiento del convertor ADC 0804. Para ello, realiza el montaje sobre el entrenador digital del siguiente esquema:

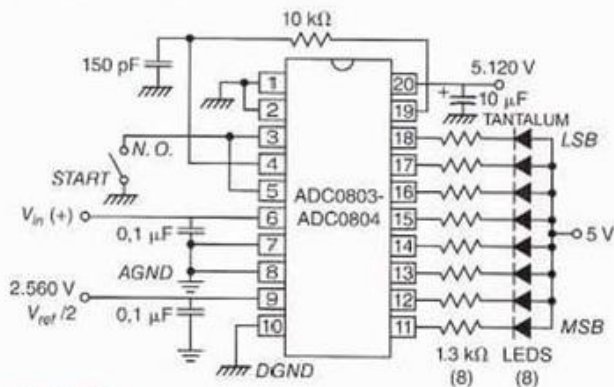


Fig. 15.19.

2. Materiales

- Fuente de alimentación de 5 V (en el entrenador).
- Entrenador para electrónica digital con placa BOARD para el montaje del circuito.
- Resistores y condensadores con los valores marcados en el esquema.
- Siete diodos LED, un convertor ADC 08042 y cables.

3. Técnica

1. Coloca el convertor sobre la placa BOARD y realiza el montaje del esquema dado. Puedes utilizar los diodos LED del entrenador o colocarlos como se detalla en el esquema (Fig. 15.20).
2. Coloca en el pin 9 una tensión de 2,56 V. La tensión de alimentación debe ser de 5,12 V.
3. Introduce en la entrada analógica un valor de tensión conocido. Anota la combinación binaria de la salida (Fig. 15.21).

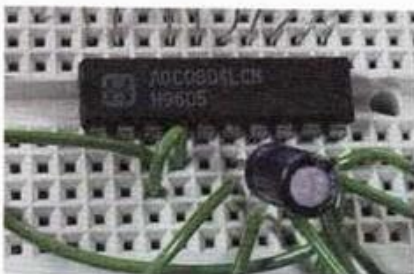


Fig. 15.20.

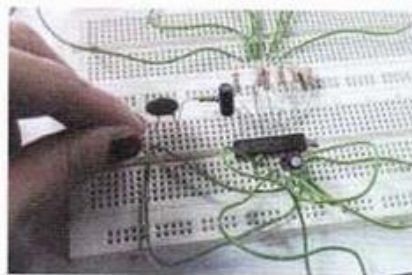


Fig. 15.21.



Fig. 15.22.

4. Para comprobar si el valor obtenido es correcto, vamos a calcular la tensión a la que le correspondería la combinación binaria que hemos obtenido. Para ello:

- a) Divide el número binario en dos dígitos hexadecimales.
- b) El valor de la tensión lo podemos obtener aplicando esta fórmula:

$$V_{OUT} = \left(\frac{MS}{16} + \frac{LS}{256} \right) \cdot (5,12 \text{ V})$$

- c) Donde MS se corresponde con los cuatro bits de la izquierda y LS con los cuatro bits de la derecha. Por ejemplo, para la combinación 10110110 quedaría:

$$V_{OUT} = \left(\frac{11}{16} + \frac{6}{256} \right) \cdot (5,12 \text{ V}) = 3,64 \text{ V}$$

5. Comprueba que ambos valores coinciden.
6. Repite el proceso con 5 valores de tensiones de entrada distintos. Haz una tabla en la que se reflejen los resultados (Fig. 15.22).

4. Cuestiones

1. Cambia el valor de la tensión de referencia aplicada a la patilla 9, y colócala en $V = 3 \text{ V}$, ¿qué es lo que sucede ahora con la señal digital y su equivalente obtenido con la fórmula? Razona brevemente la respuesta.
2. Mide la tensión de salida que se obtiene cuando hay un 1 lógico, ¿es correcto el valor según los datos del circuito que proporciona el fabricante? En caso contrario, indica cuál debería ser dicho valor.
3. Comprueba para el primer valor de conversión obtenido si estamos dentro de los márgenes de error que nos indica el fabricante.



Test de repaso

1. El primer paso que se debe realizar para la digitalización de una señal se denomina:
 - a) Muestreo y retención.
 - b) Codificación.
 - c) Cuantificación.
 - d) Decodificación.
2. ¿A qué frecuencia se debe muestrear una señal cuya frecuencia más alta es de 100 Hz?
 - a) 200 Hz.
 - b) 400 Hz.
 - c) 800 Hz.
 - d) 1 200 Hz.
3. Un conversor ADC realiza la conversión:
 - a) De una señal digital en analógica.
 - b) De una señal analógica en digital.
 - c) De una señal de corriente continua.
 - d) No existe este tipo de conversor.
4. Un conversor de aproximaciones sucesivas es de tipo:
 - a) Analógico-digital.
 - b) Digital-analógico.
 - c) De doble conversión.
 - d) De conversión única.
5. El conversor que utiliza una red de resistencias ponderadas es del tipo:
 - a) Analógico-digital.
 - b) Digital-analógico.
 - c) De doble conversión.
 - d) De conversión única.
6. Se denomina *cuantificación* al proceso mediante el cual:
 - a) Se asigna un código binario a la muestra de la señal.
 - b) Se toma la muestra de la señal.
 - c) Se decodifica la señal.
 - d) Se asigna un valor fijo a la muestra tomada de la señal.
7. El error de *offset* en un conversor DAC de cuatro bits se produce cuando:
 - a) Hay un valor de salida distinto de 0 cuando a la entrada tiene la combinación 0000.
 - b) Hay un valor de salida distinto de 0 cuando a la entrada tiene la combinación 0001.
 - c) Hay un valor de salida distinto de 0 cuando a la entrada tiene la combinación 1111.
 - d) Los DAC no tienen este tipo de error.
8. Los ADC que tienen un tiempo de conversor menor son los de tipo:
 - a) Aproximaciones sucesivas.
 - b) *Flash*.
 - c) De doble rampa.
 - d) De red en escalera.
 - e) No se puede activar esta entrada.
9. ¿Cuál es el valor correspondiente al bit menos significativo de un conversor de resolución de 8 bits si el fondo de escala es de 256 mV?
 - a) 4 mV.
 - b) 3 mV.
 - c) 2 mV.
 - d) 1 mV.
10. La resolución de un conversor ADC es:
 - a) El número de combinaciones binarias que puede tener.
 - b) El número de bits que tiene.
 - c) El número de valores de entrada.
 - d) No es correcto el término.
11. Una de las características de los conversores ADC es:
 - a) El tipo de código.
 - b) El número de bits de salida.
 - c) El nivel eléctrico de la familia lógica.
 - d) Todas son correctas.

Soluciones: 1a, 2a, 3b, 4a, 5b, 6a, 7a, 8b, 9d, 10b, 11d.

Comprueba tu aprendizaje



Digitalizar una señal analógica

- En un sistema de telefonía móvil, se quiere convertir la señal analógica recibida, que llega con una frecuencia de 1 MHz, a una señal digital. Contesta a las siguientes preguntas:
 - ¿A qué valor de frecuencia, según el teorema de Nyquist, habría que muestrear la señal?
 - Si queremos dejar un margen de seguridad en el muestreo del 10%, ¿cuál sería el valor de la nueva frecuencia de muestreo?
 - ¿Cuál sería el periodo de muestreo del primer apartado?
- Realizando medidas sobre una señal analógica observamos que se han tomado 30 000 muestras en un intervalo de 10 minutos, ¿a qué frecuencia se ha muestreado esta señal?
Si suponemos que la señal se ha muestreado a la frecuencia de Nyquist, ¿cuál es el valor de la máxima frecuencia que tiene dicha señal?

Reconocer los principales parámetros de la conversión analógica-digital

- Explica a qué corresponde la siguiente gráfica:

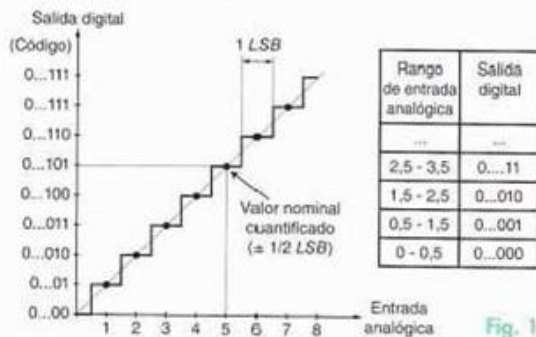


Fig. 15.23.

- Explica a qué corresponde la siguiente gráfica:

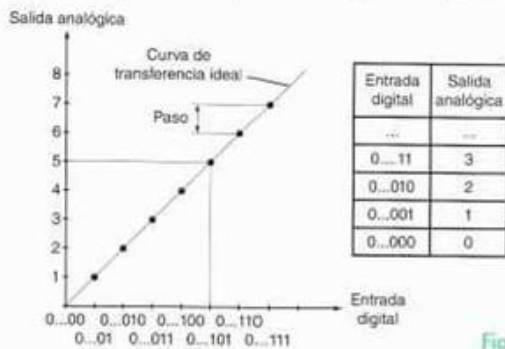


Fig. 15.24.

- Explica a qué corresponde el siguiente diagrama de bloques. Pon el nombre a cada uno de ellos y comenta brevemente para qué sirven.

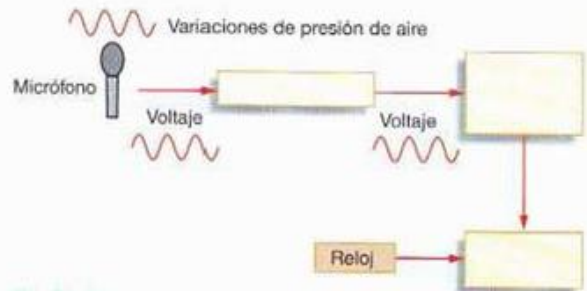


Fig. 15.25.

- Realiza un diagrama de bloques correspondiente a un reproductor de CD de sonido. Para ello, ten en cuenta que la señal almacenada en el CD está en formato digital, y que debemos oír la música por los altavoces.
- ¿Cuál es la resolución de un convertidor si sabemos que el fondo de escala lo tiene fijado en 5 V y que la tensión que le corresponde al bit menos significativo es de 4,88 mV?
- ¿A qué tipo de circuito de los utilizados en el proceso de conversión analógica-digital corresponde la siguiente gráfica?

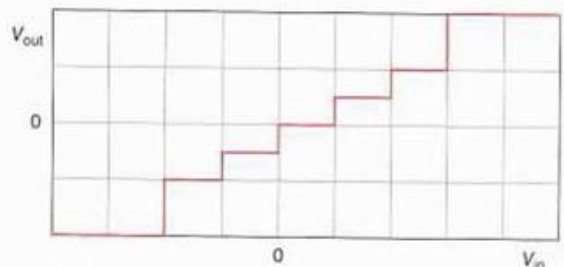


Fig. 15.26.

- ¿Sabrías indicar qué particularidad tiene este circuito con respecto al que hemos estudiado en la unidad?
- ¿Para qué tipo de señales se usa? Investiga en Internet por qué se usan estos circuitos y cuándo es necesaria su utilización.

Comprueba tu aprendizaje

Comprobar el funcionamiento de los circuitos de conversión

9. A continuación tienes un fragmento de la hoja de características del convertor ADC 0803.

Contesta las siguientes cuestiones:

Absolute Maximum Ratings		Thermal Information	
Supply Voltage	0 to 5.5V	Thermal Resistance (Typical, Note 1)	θ_{JA} 250°C/W
Voltage at Any Input	-0.5V to +0.5V	Input Resistance	60
Operating Conditions		Maximum Junction Temperature	
Temperature Range	0°C to 70°C	Maximum Storage Temperature	-65°C to 150°C
		Maximum Lead Temperature (Soldering, 30s)	260°C

Caution: Operation above these limits or beyond Absolute Maximum Ratings may cause permanent damage to the device. This is a stress only operating condition and does not affect the reliability of the device. Operation at these or other conditions above those indicated in the operating section of this specification is not implied.

NOTE: 1. θ_{JA} is calculated with the component mounted on a free air convection board with no airflow. See Table 1827 for details.

Electrical Specifications (Notes 2, 8)					
PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
CONVERTER SPECIFICATIONS $V_+ = 5V$, $T_A = 25^\circ C$ and $f_{CLK} = 640kHz$, Unless Otherwise Specified					
Total Unadjusted Error					
ADC0803	$V_{REF/2}$ Adjusted for Correct Full Scale Reading	-	-	$\pm 1/2$	LSB
ADC0804	$V_{REF/2} = 2.500V$	-	-	± 1	LSB
$V_{REF/2}$ Input Resistance	Input Resistance at Pin 9	1.0	1.3	-	k Ω
Analog Input Voltage Range	(Note 3)	GND-0.05	-	$(V_+) + 0.05$	V
DC Common-Mode Rejection	Over Analog Input Voltage Range	-	$\pm 1/16$	$\pm 1/8$	LSB
Power Supply Sensitivity	$V_+ = 5V \pm 10%$ Over Allowed Input Voltage Range	-	$\pm 1/16$	$\pm 1/8$	LSB
CONVERTER SPECIFICATIONS $V_+ = 5V$, $0^\circ C$ to $70^\circ C$ and $f_{CLK} = 640kHz$, Unless Otherwise Specified					
Total Unadjusted Error					
ADC0803	$V_{REF/2}$ Adjusted for Correct Full Scale Reading	-	-	$\pm 1/2$	LSB
ADC0804	$V_{REF/2} = 2.500V$	-	-	± 1	LSB
$V_{REF/2}$ Input Resistance	Input Resistance at Pin 9	1.0	1.3	-	k Ω
Analog Input Voltage Range	(Note 3)	GND-0.05	-	$(V_+) + 0.05$	V
DC Common-Mode Rejection	Over Analog Input Voltage Range	-	$\pm 1/16$	$\pm 1/8$	LSB
Power Supply Sensitivity	$V_+ = 5V \pm 10%$ Over Allowed Input Voltage Range	-	$\pm 1/16$	$\pm 1/8$	LSB

Fig. 15.27.

- ¿Cuál es el error máximo que se comente si no se hace ningún ajuste?
- ¿Qué valor puede tener el voltaje de cualquier entrada para que el convertor funcione sin problemas?
- En un equipo de transmisión de radio que va a estar ubicado en lo alto de una montaña, cuya temperatura mínima en invierno es de $-10^\circ C$, hay que utilizar un ADC, ¿sería adecuado el del ejemplo? Justifica la respuesta.
- ¿Cuál es el valor máximo de alimentación que puede tener el convertor? ¿Sería compatible con un circuito TTL en dicho caso? Justifica la respuesta.

Conecta a la salida del convertor un voltímetro. Haz una tabla con los valores de tensión que se obtienen para todas las combinaciones binarias de la señal de entrada que sean múltiplos de 20. Empieza en el valor 0 y termina el último valor de la tabla en el 256.

- Realiza en el simulador de tu ordenador el siguiente montaje:

Montar o simular circuitos conversores

10. Monta en el simulador el siguiente circuito:

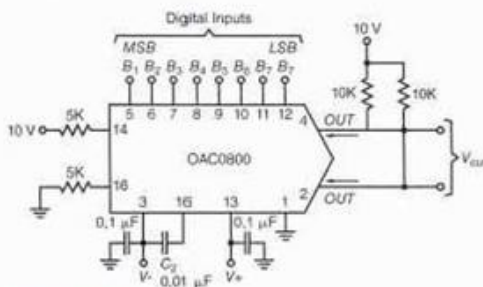


Fig. 15.28.

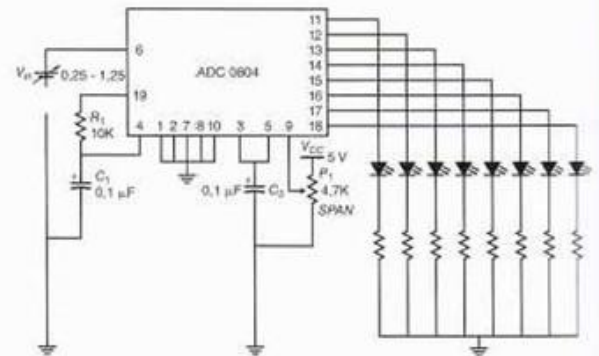


Fig. 15.29.

Los LED sirven para visualizar la combinación binaria que se obtiene a la salida del convertor.

Haz una tabla en la que se reflejen los valores digitales que vas obteniendo en los LED, cambiando el valor de la fuente de alimentación desde 0,25 a 1,25 V, en intervalos de 20 mV.

Comenta brevemente los resultados obtenidos.

1. Los sistemas microprogramables

Un **sistema microprogramable** es un conjunto de circuitos integrados capaces de leer, interpretar y ejecutar las instrucciones de un programa a gran velocidad.

Las **aplicaciones** de los sistemas microprogramables son diversas en el área de telecomunicaciones, pero las más frecuentes son:

- Aplicaciones informáticas: los ordenadores son sistemas microprogramables, incluidos los periféricos (ratón, disco duro, teclado, etc.).
- Reproductores de DVD, equipos de música y mandos a distancia.
- Redes locales, centralitas telefónicas, telefonía móvil e Internet.
- Robótica y electromedicina.

Podemos clasificar los sistemas microprogramables en función de los distintos circuitos integrados que lo conforman, el tratamiento de la información y la capacidad de trabajo en:

- Microprocesadores.
- Microcontroladores.

En todos los sistemas microprogramables se pueden distinguir tres **componentes**:

- **Hardware:** lo conforman todos los circuitos y componentes físicos del sistema.
- **Software:** es el conjunto de rutinas e instrucciones de un programa, esto es, el conjunto de lenguajes empleados para crear un programa.
- **Firmware:** es el conjunto de programas e instrucciones que el usuario no puede cambiar. Contiene un grupo de programas intermedios entre el hardware y el software.

Todos los sistemas microprogramables tienen la **estructura** de la Figura 16.1. A continuación, vamos a analizar cada uno de los **elementos** de un sistema microprogramable:



Fig. 16.1. Estructura de los sistemas microprogramables.

- **Reloj:** para que todo el sistema esté sincronizado utilizamos el reloj, pues es un generador de onda cuadrada.

- **Unidad central de proceso o CPU:** aquí se generan todas las órdenes de control, se realizan las operaciones aritméticas lógicas, se interpretan y ejecutan las instrucciones procedentes de la memoria central o los contenidos que se encuentran en los registros.

Todo ello se realiza en sincronía gracias al reloj. La frecuencia del reloj nos define la velocidad del sistema. Si todo esto se encuentra integrado en un mismo circuito, se denomina **microprocesador**.

- **Memoria interna o central:** en ella se encuentran los datos y programas que debe utilizar el sistema.

- **Unidades de entrada/salida (I/O):** permite la comunicación del sistema microprogramable con el exterior.

- **Periféricos:** no forman parte del sistema microprogramable, son los dispositivos que realizan el trabajo desde el exterior del sistema. Los periféricos más importantes son el ratón, el monitor, el teclado y la impresora.

2. Microprocesadores

Los sistemas microprogramables están formados por diversos circuitos integrados entre los cuales se encuentra el microprocesador. Este es uno de los más importantes porque realiza la **función de la unidad central de proceso o CPU**.

Los microprocesadores se utilizan en aquellas aplicaciones que requieren grandes cantidades de memoria, como por ejemplo, los ordenadores. En la Figura 16.2 puedes ver el aspecto que tienen.



Fig. 16.2. Microprocesador.

2.1. Hardware de un sistema con microprocesadores

Tal como adelantábamos, el **hardware** de un sistema con microprocesador lo conforman todos los componentes físicos que se integran en el sistema. Para comprenderlo mejor, vamos a estudiar el esquema de bloques de un sistema con microprocesador. Así, el **esquema de bloques** (Fig. 16.3) de todo sistema con microprocesador es el siguiente:

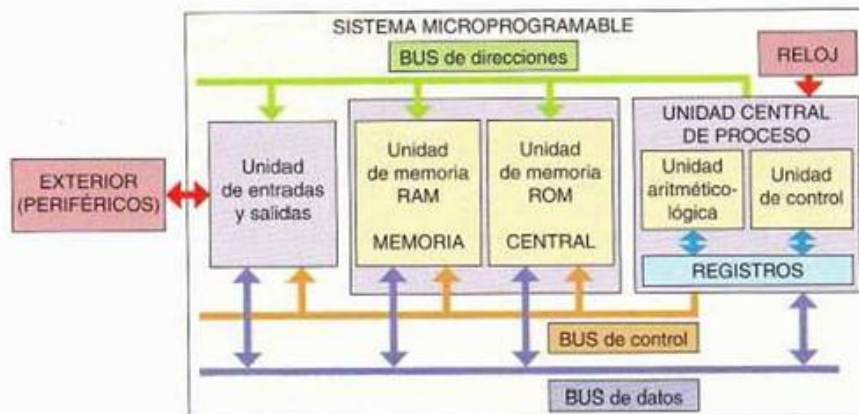


Fig. 16.3. Esquema de bloques de un sistema con microprocesador.

Esta **estructura** constituye el hardware de un sistema con microprocesador, y los **elementos** que lo forman son:

- Una serie de **bloques** que están interconectados por cables denominados **buses** que permiten la comunicación entre los bloques del sistema.
- **Unidad central de proceso o CPU:** es el chip integrado que forma el microprocesador. Su estructura interna está compuesta por la unidad aritmético-lógica, la unidad de control y los registros.
- **La unidad aritmético-lógica** (también llamada **ALU**) es el microprocesador que realiza las operaciones elementales: el producto lógico, la suma o resta aritmética, etc. En concreto, las operaciones lógicas que efectúa son: la operación AND, OR, OR exclusiva, así como las operaciones aritméticas suma, resta, incrementación y decrementación.
- **La unidad de control:** es el bloque más importante del microprocesador. En este bloque se van a realizar todas las señales de control para el gobierno del microprocesador. En él se desarrolla la lectura, interpretación y ejecución de una instrucción que dará comienzo con la lectura en la memoria del código de operación que a través del bus de datos y del registro de datos pasa al registro de instrucción. Una vez realizado este proceso, la unidad de control toma el código de operación y lo decodifica. Después de haber decodificado el código de operación, la unidad de control la ejecuta.

- **Periféricos externos:** los periféricos permiten la comunicación del usuario con el sistema. Hay diferentes tipos de periféricos: el teclado es un periférico de entrada de datos, mientras que la impresora es un periférico de salida de datos. Otros tipos son: el monitor que sirve para ver la información que introducimos a través del teclado, y los CD-ROM o los DVD que almacenan información.
- **Reloj:** la frecuencia del reloj determina la velocidad de la operación y el funcionamiento del microprocesador.
- **Registros:** uno de los registros más importantes del microprocesador es el acumulador, que registra los datos y el resultado de las operaciones aritmético-lógicas (ALU). Tal como podemos ver en la Figura 16.3, está bidireccionado con la unidad aritmético-lógica.
También existen unos registros auxiliares que se utilizan para almacenar datos y resultados dentro de la CPU.
- **Memoria:** es la encargada de almacenar los programas y la información que permiten el funcionamiento del sistema. Existen dos tipos de memorias:
 - Memoria **RAM:** significa memoria de acceso aleatorio o memoria de lectura/escritura. Contiene los programas y datos que el usuario puede modificar a su voluntad.
 - Memoria **ROM** (o memoria de solo lectura): en ella únicamente se puede leer la información almacenada. Comprende todos los programas de arranque que precisa el sistema microprogramable para activarse, además de los datos.
- **Unidad de entrada/salida:** todo sistema microprogramable tiene que comunicarse con el exterior para poder enviar o recibir la información, y este elemento es la interfaz entre los circuitos internos y el exterior.



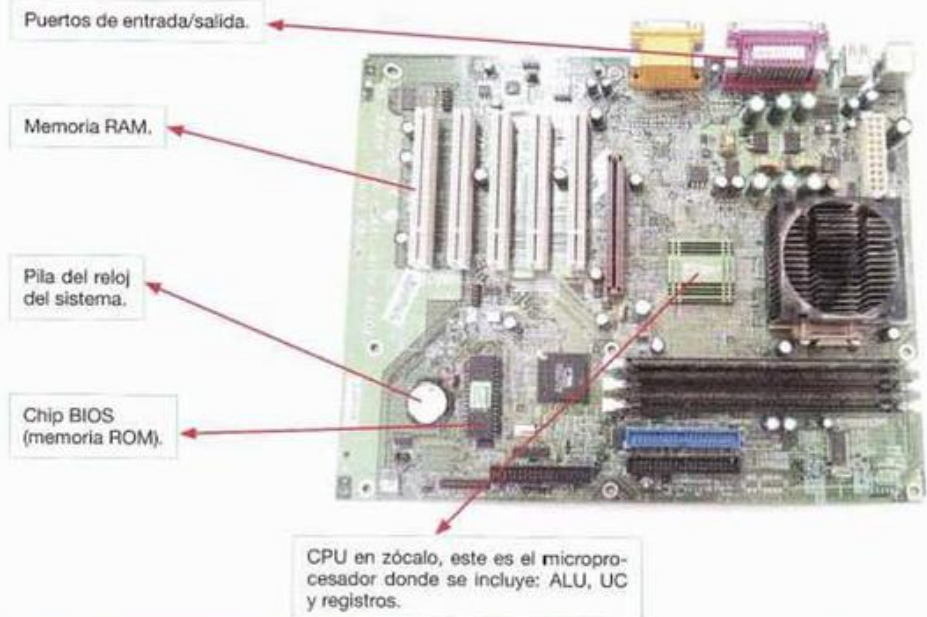
Caso práctico 1: Estudio del hardware de un sistema con microprocesador

Dada la siguiente placa base de un ordenador, identifica los componentes estudiados en el diagrama de bloques.



Fig. 16.4. Placa base de un ordenador.

Solución:



2.2. Software de un sistema con microprocesador

Una vez estudiado el hardware de un sistema con microprocesador, vamos a estudiar el **software** de un sistema con microprocesador.

El software está formado por una serie de instrucciones que indican al sistema lo que tiene que hacer, y la CPU toma las instrucciones de la memoria. A su vez, las instrucciones indican qué hay que hacer con los datos, es decir, las órdenes que tiene que cumplir el sistema. Así, la **estructura** habitual de una instrucción es la siguiente:

- **Código de operación:** indica la tarea que tiene que realizar el sistema, por ejemplo, suma o resta.
- **Operando:** indica con qué datos se deben realizar las operaciones, o las direcciones en las que se encuentran esos datos. Los datos son grupos que pueden ser empleados por las instrucciones. Todas las instrucciones darán lugar a un programa.
- **Programa:** es el conjunto de instrucciones y datos que tiene que recibir el sistema con microprocesador para realizar una determinada función. Estos programas, para que los entienda el microprocesador, tienen que estar codificados en binario, ya que son circuitos digitales. Así, solo entiende la ausencia de tensión (0) o la presencia de tensión (1), donde el número 1 o 0 es el bit (unidad básica de información). Para facilitar la interpretación de los datos e instrucciones codificados en binario se emplea el sistema hexadecimal, estudiado en la Unidad 12.

Importante

Todo el software necesario para que funcione un sistema microprogramable debe ser cargado previamente en la memoria del sistema, por lo que es necesario almacenarlo en algún dispositivo del mismo (disco duro, etc.).

Caso práctico 2: Codificar un número binario en hexadecimal

En un microprocesador de 8 bits necesitamos conocer el valor hexadecimal del número binario 10001111. Realiza la conversión.

Solución:

De izquierda a derecha se hacen grupos de cuatro bits y codificamos cada grupo de cuatro bits por su correspondiente hexadecimal.

1000	1111
↓	↓
8	F

Este número binario 10001111 resulta ser el 8F codificado en hexadecimal.

Caso práctico 3: Codificar un número hexadecimal en binario

Queremos codificar el número hexadecimal BA3 en binario.

Solución:

Se realiza el proceso contrario al Caso práctico 2, es decir, se trata de trasladar el número hexadecimal de derecha a izquierda con cuatro bits a su correspondiente binario.

B	A	3
↓	↓	↓
1011	101	0011

Luego el número hexadecimal codificado en binario sería:
BA3 = 10111010011

A. Lenguaje de programación

La información que se introduce en un sistema microprogramable está codificada. Para ello es necesario un lenguaje de programación. Si bien el sistema entiende el lenguaje-máquina (la información en binario), este lenguaje es muy difícil para el usuario. El lenguaje de programación se clasifica en función de la proximidad del lenguaje del sistema en lenguaje-máquina o de bajo nivel, lenguaje ensamblador y lenguaje de alto nivel.

Importante

En la siguiente tabla se muestran algunos **nemónicos** utilizados en el lenguaje ensamblador:

ADD	Suma al acumulador
SUB	Resta al acumulador
INC	Incrementa al registro

Tabla 16.1. Algunos nemónicos del lenguaje ensamblador.

El **lenguaje-máquina o de bajo nivel** es el único lenguaje que entienden los sistemas basados en microprocesadores. Está formado por palabras binarias cuya longitud depende del microprocesador empleado. Así, si el microprocesador es de ocho bits, las palabras empleadas serán de ocho bits.

Para poder codificar las instrucciones cada microprocesador posee sus propios códigos binarios. En el caso de las codificaciones en hexadecimal, se pueden considerar un lenguaje-máquina.

El **lenguaje ensamblador**, de gran complejidad para el usuario, utiliza los **nemónicos** (Tabla 16.1). Estos son grupos de caracteres alfanuméricos, es decir, representan las diferentes tareas que se han de realizar con cada instrucción. Este lenguaje se usa con frecuencia en robótica.

A su vez, el **lenguaje de alto nivel** está formado por un conjunto de caracteres alfanuméricos y signos tanto matemáticos como gramaticales que se utiliza con frecuencia en aplicaciones científicas. En este lenguaje, el nombre de sus instrucciones se corresponde con el nombre en inglés de la tarea que realizan. Los lenguajes de alto nivel más importantes y sus aplicaciones se especifican en la siguiente tabla:

Lenguaje de alto nivel	Aplicaciones
FORTRAN	Realización de cálculos técnicos y científicos.
BASIC	Aplicaciones generales.
PASCAL	Genera programas con estructuras comprensibles.
C: turbo C, C++	Es uno de los lenguajes más modernos y es utilizado en robótica.

Tabla 16.2. Tipos de lenguaje de alto nivel y principales aplicaciones.

2.3. Tipos de microprocesadores

Todo lo visto hasta ahora es general para todos los tipos de microprocesadores, pero tenemos diferentes tipos de microprocesadores, en función de la arquitectura y el conjunto de instrucciones. Así:

• Por la arquitectura:

- **Arquitectura Von Neumann** (Fig. 16.5): cuando en un microprocesador hay un único bus de direcciones y de datos, y tanto los datos como las direcciones están en una misma memoria.

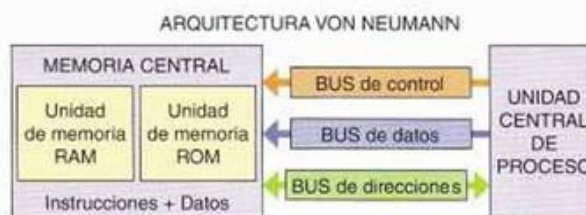


Fig. 16.5. Arquitectura Von Neumann.

- **Arquitectura Harvard** (Fig. 16.6): en esta arquitectura hay dos buses, de direcciones y de datos, cada uno conectado a memorias distintas, una para los datos y otra para las direcciones, respectivamente.



Fig. 16.6. Arquitectura Harvard.

• **Por el conjunto de instrucciones:**

- **CISC** (conjunto de instrucciones complejas): este tipo de microprocesadores implementan muchas instrucciones y muy complejas. Al ser instrucciones complejas, también el microprocesador contiene circuitos complejos, y por lo tanto son de ejecución lenta.
- **RISC** (conjunto de instrucciones reducidas): este tipo de microprocesadores implementan pocas instrucciones y estas son simples. Así pues, la ejecución es rápida y la circuitería del microprocesador es más simple.

¿Sabías que...?

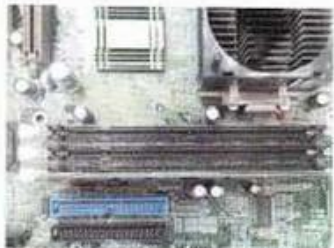

En el año 1971 se fabricó el primer procesador, modelo 4004, con una longitud de palabra de cuatro bits, y que se utilizó como calculadora.

2.4. Microprocesadores comerciales

En el mercado existe una gran cantidad de fabricantes y modelos de microprocesadores, sin embargo, los más conocidos son:

- **Microprocesadores Intel.** Este fabricante de microprocesadores es el más conocido. En la actualidad destaca el Intel Core 2 dúo de aplicación en los ordenadores, en el que podemos incluir juegos con gráficos potentes o programas que requieran muchos cálculos, descargar música, etc.
- **Microprocesadores Motorola.** Motorola es otro de los fabricantes de microprocesadores más conocidos. El éxito más importante de Motorola fue el que obtuvo en el año 1979, cuando lanzó al mercado el microprocesador 68000, un microprocesador de 16 bits. Posteriormente, a principios de los años noventa, presentaron el 88000, que tuvo mucho éxito. Por último, fruto de la asociación con IBM y Apple (que trabajaba con la familia Motorola) nació el PowerPC. En el caso de los Macintosh de Apple, inicialmente se montaban sobre PowerPC, pero en la actualidad se montan sobre microprocesadores Intel.

Actividades

1. Codifica los siguientes números binarios en hexadecimal:
 - a) 1000011101010101.
 - b) 111000111.
 - c) 1010100001111.
2. Codifica los siguientes números hexadecimales en binario:
 - a) 2FFF.
 - b) 2F2.
 - c) FF33.
3. Explica las diferencias existentes entre la arquitectura Von Neumann y Harvard en un sistema con microprocesador.
4. Señala la misión que desempeña cada uno de los bloques que forman la estructura de un sistema microprogramable y dibuja el esquema de bloques.
5. Investiga en varios ordenadores del aula qué modelo de microprocesadores tienen.
6. De los ordenadores investigados para realizar la actividad anterior, localiza dónde tienen situadas las memorias e identifica qué periféricos tienen conectados.
7. Busca en Internet los últimos microprocesadores de la marca Intel, que se están utilizando hoy en día, y explica brevemente sus principales características.
8. Identifica en las siguientes placas de ordenador los componentes del diagrama de bloques del sistema:
 - a)  Fig. 16.7.
 - b)  Fig. 16.8.

● 3. Microcontroladores

En un **microcontrolador** (Fig. 16.9) se incluye en un solo chip o circuito integrado todo el sistema que hemos desarrollado para el microprocesador, comprende la CPU, la memoria RAM, la memoria ROM y las unidades de entrada/salida.

Las aplicaciones para las que se usan los microcontroladores son diversas, pero entre ellas destacan las de telecomunicaciones: interfaces de control de robots, lectores RFID (identificación de radio frecuencia) y las que contienen antenas para recibir y transmitir a periféricos por radiofrecuencia desde un emisor-receptor.



Fig. 16.9. Microcontrolador.

● 3.1. Hardware de un microcontrolador

En el siguiente caso práctico se muestra y analiza el **hardware** de un sistema con microcontrolador.

● Caso práctico 4: Estudio del hardware de un microcontrolador

En la Figura 16.10 se muestra un esquema del hardware de un sistema microprogramable con microcontrolador. Explica en qué consiste cada uno de los bloques.

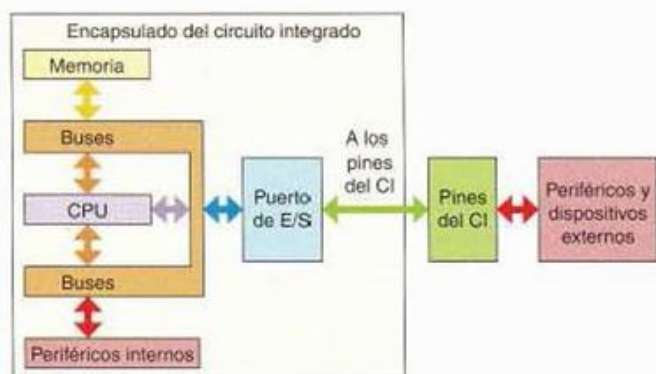


Fig. 16.10. Esquema de bloques de un microcontrolador.

Solución:

Tal como se puede observar, el hardware contiene los mismos elementos que el de un sistema microprogramable con microprocesadores, con la diferencia de que todo está integrado en un mismo chip o circuito integrado.

Así, tenemos:

- La CPU o unidad central de proceso: realiza la misma función que para los microprocesadores (Caso práctico 1).
- Memorias: los microcontroladores incluyen en su interior las unidades de memoria. Tienen un banco de memoria

RAM volátil para los datos y otro de memoria no volátil para el programa (la memoria ROM), igual que para los microprocesadores.

- Buses: funcionan igual que en el hardware para los microprocesadores.
- Periféricos externos: los microcontroladores pueden tener como periféricos externos diodos LED, motores, displays, etc.
- Periféricos internos: periféricos serie, por ejemplo, USART.

Además de tener los mismos elementos que el microprocesador aunque en un único chip, los microcontroladores cuentan con las siguientes características:

- Tienen un contador de programa (PC). Solo se emplea para buscar el código localizado en su memoria ROM.
- Lleva en su interior los llamados registros SFR. Estos registros se encuentran en direcciones de la memoria RAM.
- Puntero de datos: se utiliza como contador de programa en la búsqueda del dato que se encuentra en la memoria RAM.
- Contienen unidades de entrada/salida integradas: temporizadores de 16 bits, puertos serie, controlador de interrupciones, puertos paralelos, convertidores analógico-digitales y convertidores digital-analógicos (estudiados en la Unidad 15).

3.2. Tipos de microcontroladores

Al igual que en los sistemas microprogramables con microprocesadores, los microcontroladores presentan las mismas arquitecturas (la de Von Neumann y la de Harvard), si bien es cierto que la de los microprocesadores suele ser del tipo Von Neumann, y en los microcontroladores se suelen encontrar las del tipo Harvard.

Además, tienen en común con los microprocesadores que hay dos tipos basados en el conjunto de instrucción: CISC y RISC. Sin embargo, al contrario que en el caso de los microprocesadores, todavía están operativos los microcontroladores de los años ochenta de 8 bits, ya que la evolución de estos se basa en las prestaciones y variedad de los periféricos.

La cantidad de instrucciones que maneja cada microcontrolador es diferente, pudiendo oscilar entre 35 para los de gama baja y 70 para los de gama alta, estos son del tipo RISC.

3.3. Lenguaje de programación

El lenguaje de programación que se usa para los microcontroladores es un lenguaje de bajo nivel o ensamblador, aunque en la actualidad también se usa el lenguaje de alto nivel para la programación, sobre todo el lenguaje C. En todo caso, cada microcontrolador se programa atendiendo a sus características e instrucciones.

3.4. Microcontroladores comerciales

Casi todos los fabricantes de microprocesadores tienen también microcontroladores. Destacan los siguientes:

- **Intel:** desde 1980 fabrica el microcontrolador 8051, que se basa en la arquitectura Von Neumann y tiene un conjunto de instrucciones CISC.
- **Freescal:** los microcontroladores de este fabricante se emplean con mucha frecuencia para conexiones a redes y productos inalámbricos. Desde el año 2004 ya no depende de Motorola. Entre sus microcontroladores destacamos los siguientes:
 - El 68HC08: es una familia de microcontroladores de 8 bits y arquitectura Von Neumann con un solo bloque de memoria.
 - El 68HC12: es una familia de microcontroladores de 16 bits que se crearon en el año 1990.
 - El S12XE: es un microcontrolador de 16 bits que se utiliza como aplicación en controles humanos y en dispositivos conectados a red.
- **Microchip:** una de las familias más utilizadas y conocidas es la familia de microcontroladores PIC. Estos microcontroladores utilizan la arquitectura Harvard, por lo que tienen programas y datos independientes. El fabricante, Microchip, solo dispone de microcontroladores de 8 y 16 bits:
 - Uno de los más utilizados es el del tipo PIC 16F84, de 8 bits, que se usa en proyectos sencillos (Fig. 16.11).
 - Otra subfamilia de microcontroladores son los del tipo PIC16F87X, también de 8 bits, como los PIC16F870, PIC16F871, PIC16F872, PIC16F873A, PIC16F874A, PIC16F876A y PIC16F877A. La letra A al final del micro significa que lleva un comparador analógico.

Importante

Los microcontroladores PIC necesitan para funcionar un programa para cargar en su memoria. Estos programas se desarrollan con los nemónicos de las instrucciones correspondientes a cada PIC. Un ejemplo de unas líneas de un programa de este tipo en el que se usa el PIC 16F84 para controlar un diodo LED como periférico externo del PIC, sería el siguiente:

```

ESTADO EQU 0x08
PORTA EQU 0x05
PORTB EQU 0x06

org 0

    bcf   ESTADO,S
    bcf   PORTA
    camf  PORTA,1
    cfr   PORTB
    bcf   ESTADO,S

INICIO  btfsc  PORTA,0
        goto  APAGAR
        bcf  INICIO,0
        goto INICIO
APAGAR  bcf   PORTB,0
        goto INICIO
ENCENDER btfsc PORTB,0
        goto INICIO

end
  
```

Para poder cargar el programa en la memoria del PIC necesitamos una interfaz entre el PIC y el ordenador conectada a uno de los puertos de comunicaciones del mismo. Un software adecuado para **cargar este programa y poder simular las ejecuciones del PIC puede ser el PROTEUS.**

El circuito sería el siguiente:

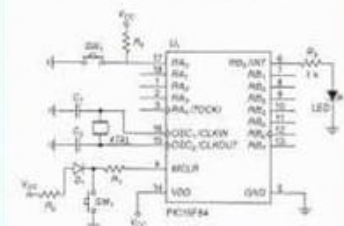


Fig. 16.11. Microcontrolador PIC16F84.

En el siguiente caso práctico conoceremos las características más importantes del microcontrolador PIC16F84, así como el estudio de este chip microcontrolador, el más comercial y empleado en la actualidad. Es habitual su aplicación, por ejemplo, para controlar como temporizador un juego de luces que pueden ser diodos LED.

Caso práctico 5: Estudio de las características del microcontrolador PIC16F84

Vamos a analizar la hoja de características de un microcontrolador PIC16F84.

Solución:

La hoja de características de este microcontrolador es:

18-pin Enhanced FLASH/EEPROM 8-Bit Microcontroller

High Performance RISC CPU Features:

- Only 35 single word instructions to learn
- All instructions single-cycle except for program branches which are two-cycle
- Operating speed: DC - 20 MHz clock input
DC - 200 ns instruction cycle
- 1024 words of program memory
- 68 bytes of Data RAM
- 64 bytes of Data EEPROM
- 14-bit wide instruction words
- 8-bit wide data bytes
- 15 Special Function Hardware registers
- Eight-level deep hardware stack
- Direct, indirect and relative addressing modes
- Four interrupt sources:
 - External RBO/INT pin
 - TMR0 timer overflow
 - PORTB-7 4+ interrupt-on-change
 - Data EEPROM write complete

Peripheral Features:

- 13 I/O pins with individual direction control
- High current sink/source for direct LED drive
- 25 mA sink max. per pin
- 25 mA source max. per pin
- TMR0: 8-bit timer/counter with 8-bit programmable prescaler

Pin Diagrams

Características del PIC16F84:

- Tiene 35 instrucciones.
- 68 bytes de datos de RAM.
- 64 bytes de datos de EEPROM.
- Su procesador es de tipo RISC con 14 bits por cada instrucción.
- Su arquitectura es Harvard.
- Tiene dos puertos programables de entrada y salida: el RA puede ir desde RA0 hasta RA4 y RB0 hasta RB7.
- V_{ss} es alimentación a masa y V_{dd} alimentación a positivo, normalmente 5 V.
- MCLR es una patilla para habilitar a nivel bajo, 0 V, un reset al microcontrolador.
- OSC1 y OSC2 se utilizan para configurar internamente la frecuencia de funcionamiento del PIC desde un mínimo de 1 kHz hasta los 10 MHz.

En la siguiente tabla podemos ver la descripción del pataje de este circuito integrado:

a) **TABLE 1-1: PIC16F84A PINOUT DESCRIPTION**

Pin Name	PDIP No.	SOIC No.	SSOP No.	I/O Type	Buffer Type	Description
OSC1/CLKIN	16	16	15	I	ST/CMOS ²⁾	Oscillator crystal input/external clock source input.
OSC2/CLKOUT	15	15	16	O	—	Oscillator crystal output. Connects to crystal or resonator in Crystal Oscillator mode. In RC mode OSC2 pin outputs CLKOUT, which has 1/4 the frequency of OSC1 and denotes the instruction cycle rate.
MCLR	4	4	4	I ¹⁾	ST	Master Clear (Reset) input/programming voltage input. This pin is an active low RESET to the device. PORTA is a bi-directional I/O port.
RA0	17	17	19	I/O	TTL	PORTA is a bi-directional I/O port. PORTB can be software programmed for external weak pull-up on all inputs. RB0/INT can also be selected as an external interrupt pin.
RA1	18	18	20	I/O	TTL	
RA2	1	1	1	I/O	TTL	
RA3	2	2	2	I/O	TTL	
RA4/T0CKI	3	3	3	I/O	ST	
						Can also be selected to be the clock input to the TMR0 timer/counter. Output is open drain type.

Tabla 16.3.

b)

RBO/INT	6	6	7	I/O	TTL, ST ³⁾	PORTB is a bi-directional I/O port. PORTB can be software programmed for external weak pull-up on all inputs. RB0/INT can also be selected as an external interrupt pin.
RB0	7	7	8	I/O	TTL	
RB1	8	8	9	I/O	TTL	
RB2	9	9	10	I/O	TTL	
RB3	10	10	11	I/O	TTL	
RB4	11	11	12	I/O	TTL	
RB5	12	12	13	I/O	TTL, ST ³⁾	
RB6	13	13	14	I/O	TTL, ST ³⁾	
V _{DD}	5	5	5, 6	P	—	Current release for logic and I/O pins.
V _{SS}	14	14	13, 15	P	—	Positive supply for logic and I/O pins.

Legend: I = Input, O = Output, P = Pull-up, ST = Schmitt Trigger input, TTL = TTL input, ST = Schmitt Trigger input

Note 1: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as the external interrupt.
 2: This buffer is a Schmitt Trigger input when used in Serial Programming mode.
 3: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured in RC oscillator mode and a CMOS input otherwise.

Actividades

- Estudia las hojas de características de los siguientes PIC: a) PIC16F871. b) PIC16F872. c) PIC16F873A.
- Explica cada uno de los elementos que componen la

estructura de un sistema con microcontrolador e indica cuál es la función de cada uno de ellos.

- Indica varias aplicaciones de los microcontroladores PIC en telecomunicaciones.

● 4. Memorias

A lo largo de esta unidad hemos estudiado la estructura de los sistemas microprogramables. Uno de los bloques fundamentales tanto para los sistemas con microprocesadores como para los sistemas basados en microcontroladores son las memorias.

Todos los sistemas microprogramables necesitan de las memorias para almacenar los programas de arranque, las tablas de datos, las direcciones y los datos que guarda la CPU para poder llevar a cabo las instrucciones. La zona en la que se guardan los datos y los programas ejecutables se denomina **pila de memoria**.

Los dispositivos que se encargan de realizar este almacenamiento son las unidades de memoria, pero no todas estas unidades están localizadas en el interior del sistema microprogramable, sino que algunas se encuentran en el exterior, situadas en los periféricos.

La unidad central de proceso o CPU de un sistema microprogramable puede controlar los dispositivos de memoria directamente o a través de las unidades de entrada/salida (I/O).

● 4.1. Clasificación de las memorias

Las memorias se dividen en:

- **Memorias centrales:** son las unidades de memoria que están en el interior de los sistemas microprogramables. Su misión es almacenar los programas de arranque, las tablas de datos, el programa de usuario y los datos de la pila de memoria. A su vez, se clasifican atendiendo a su principio de funcionamiento, siendo las más utilizadas las **memorias integradas**. Estas se clasifican en:
 - Memorias de lectura y escritura: son las memorias RAM.
 - Memorias de solo lectura: son las memorias ROM.
- **Memorias masa:** son las unidades situadas en los periféricos. Su tarea es almacenar grandes cantidades de datos, así como los programas de usuario y el sistema operativo. Las más importantes son las memorias en disco duro, las memorias en disco CD-ROM y las memorias flash, como los pendrive, etc.

● 4.2. Características generales de las memorias

Todas las memorias poseen las siguientes características generales:

- **Capacidad:** es la cantidad de información que se puede almacenar en la memoria. La unidad básica de información es el bit, pero en la práctica esta unidad de medida se queda pequeña y se utilizan otras unidades.
- **Volatilidad:** es una de las propiedades que poseen las memorias para retener o no la información cuando se la desconecta de la fuente de alimentación. Así, tenemos:
 - **Memorias volátiles:** son las que cuando se desconecta la fuente de alimentación pierden la información, por ejemplo, las memorias RAM integradas.
 - **Memorias no volátiles:** son las que cuando se desconecta la fuente de alimentación no pierden la información, por ejemplo, las memorias ROM.

Importante

La **memoria flash** es una forma desarrollada de la memoria EEPROM que permite que múltiples posiciones de memoria sean escritas o borradas en una misma operación de programación mediante impulsos eléctricos. Por su parte, una **memoria USB** es un dispositivo de almacenamiento que utiliza memoria flash, como el caso del pendrive.

Unidades de medida

Unidades de capacidad de memoria

Byte: es la palabra o información de 8 bits.

Kilobyte (kB): 1 024 bytes.

Megabyte (MB): 1 024 kB.

Gigabyte (GB): 1 024 MB.

Terabyte (TB): 1 024 GB.

Unidades de medida

2 ns (dos nanosegundos) =
= $2 \cdot 10^{-9}$ s (segundos).

¿Sabías que...?

Una clasificación de las memorias DRAM son las SDRAM, las cuales son un tipo de memoria RAM dinámica que es casi un 20% más rápida que la memoria RAM, permitiendo leer y escribir datos al doble de velocidad del bus.

Ambas, SRAM y DRAM, son memorias de tipo de acceso aleatorio. Las DRAM son de acceso aleatorio dinámico, y se emplean sobre todo como memoria principal del ordenador, y las SRAM son memorias de acceso aleatorio estático, utilizadas principalmente como memoria caché del ordenador.

Web

En esta página web podemos estudiar los tipos de memorias RAM, su velocidad y cómo se puede ampliar la memoria RAM de un ordenador:

www.ordenadores-y-portatiles.com

- **Tiempo de acceso:** es el tiempo transcurrido desde que la memoria pide la información hasta que la recibe. Tenemos dos tiempos de acceso, el de lectura y el de escritura. El tiempo de acceso depende del tipo de memoria, así por ejemplo, el tiempo de acceso de una memoria ROM varía desde los 2 ns a los 300 ns.

- **Coste de la información:** es el precio por bit. Depende de la capacidad de la memoria y del tiempo de acceso.

- **Modo de acceso:** es el método que utiliza una memoria para acceder a la información almacenada en ella. Tenemos:

- **Acceso aleatorio:** en este caso el tiempo de acceso es independiente de la posición de la memoria. Por ejemplo, en una memoria RAM, los datos que se introducen en el ordenador se guardan en ella temporalmente, ya que si se desconectara el ordenador, estos datos se perderían. Así, se puede acceder a estos datos de manera aleatoria, ya que no es necesario seguir un orden para llegar al registro en el que está almacenado el dato.

- **Acceso secuencial:** en este caso el tiempo que se emplea en acceder a una información depende de la posición de la memoria que suele estar situada en los periféricos, es decir, para acceder a un dato que se encuentra en los registros de las memorias, se pasa por todos los registros hasta dar con el registro en el que está situado el dato. De este tipo son los registros de desplazamiento.

4.3. Tipos de memorias integradas

Las memorias integradas son las memorias centrales que hemos estudiado en los sistemas microprogramables a lo largo de esta unidad, y se clasifican en:

- **Memorias RAM:** memorias volátiles de acceso aleatorio, es decir, se pierden los datos al cortar la alimentación, y en ellas se puede leer y escribir.

- **Memorias ROM:** memorias no volátiles y solo de lectura, es decir, no se pierden los datos al cortar la alimentación y solo se puede leer pero no escribir.

A. Memorias RAM

Las memorias RAM (Fig. 16.12), a su vez, se clasifican en función de la celda de almacenamiento que tengan:

- **Memorias SRAM:** en ellas, las celdas de almacenamiento de 1 bit están formadas por los flip-flop estudiados en la Unidad 14. Estos permanecen en su estado de set (1) y reset (0) mientras que no se elimine la alimentación.

- **Memorias DRAM:** las celdas de almacenamiento son pequeños condensadores que se dedican a almacenar la información. Cuando los condensadores se van descargando, la información se pierde. Para evitar esto, estas memorias son sometidas a un proceso periódico de reescritura denominado **tiempo de refresco**, que suele ser de 2 ms (2 milisegundos).

Vamos a conocer las **memorias comerciales RAM** mediante el siguiente caso práctico, analizando el patillaje de una memoria SRAM comercial.



Fig. 16.12. Memoria RAM.

Caso práctico 6: Identificar los módulos de memoria en una placa de un ordenador

Si estudiamos las tripas de un ordenador podemos observar que la memoria se sitúa en los llamados módulos SIMM de memoria, y consta de una pequeña placa con varios chips de memoria integrados. Las hay de 30 y 72 contactos, y manejan 32 bits. Además, están diseñados para que se puedan insertar en la placa base del ordena-

dor, donde se puede aumentar la cantidad de memoria RAM. También tenemos los llamados módulos DIMM, que a diferencia de los SIMM, se presentan con 168 conectores y pueden manejar 64 bits.

Vamos a identificar en la placa estos dos tipos de módulos.

Solución:

Como podemos observar, los módulos DIMM son:

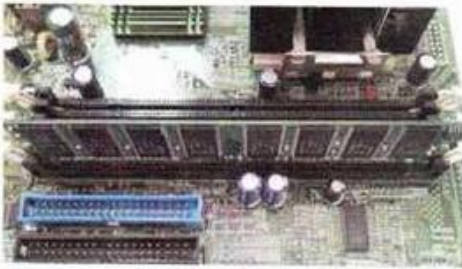


Fig. 16.13. Módulos DIMM de memoria.



Fig. 16.14. Módulo SIMM de memoria.

B. Memorias ROM

Tal como hemos estudiado ya en la unidad, las memorias ROM son memorias no volátiles, donde solo se puede leer. Según la forma que tengan de grabar los datos se clasifican en:

- **Memorias ROM:** los datos se graban durante su proceso de fabricación y estos nunca se podrán borrar o cambiar.
- **Memorias PROM:** son memorias ROM programables que pueden ser grabadas o programadas por el usuario una sola vez. Los datos se graban mediante un programador PROM.
- **Memorias EPROM:** son memorias borrables y programables. Los datos se graban mediante un programador EPROM y se borran mediante la acción de los rayos ultravioleta.
- **Memorias EEPROM:** son memorias borrables eléctricamente.

Podemos encontrar diferentes tipos de **memorias comerciales ROM** que varían en función del fabricante. Entre los fabricantes más conocidos se encuentra la casa Philips.

En la Figura 16.15 puedes ver el aspecto externo de una memoria ROM:



Fig. 16.15. Memoria ROM.

Importante

La BIOS es un programa que reside en la memoria EPROM de tipo firmware. Además, es una parte esencial del hardware, configurable, y en la que se controlan los procesos de flujo de la información en el bus del ordenador, entre el sistema operativo y los demás periféricos.

Sin la BIOS no podría ponerse en marcha un ordenador, pues controla el proceso de arranque del sistema operativo. Para acceder a la BIOS del ordenador se debe interrumpir la secuencia de arranque, pulsando la tecla suprimir (Del o Supr), o cualquier otra tecla que se indique en la pantalla de bienvenida al encender el ordenador.

Web

En esta página se puede ver un tipo concreto de memorias ROM y su hoja de características:

<http://es.farnell.com>

Caso práctico 7: Estudio del patillaje y características de una EPROM comercial

Tenemos un ordenador que tiene una EPROM M27C64A. Analizar la hoja de características para conocer su capacidad de almacenamiento.

Solución:

Table 1. Signal Names

A0-A12	Address Inputs
Q0-Q7	Data Outputs
E	Chip Enable
G	Output Enable
P	Program
V _{pp}	Program Supply
V _{CC}	Supply Voltage
V _{SS}	Ground
NC	Not Connected Internally
DU	Don't Use

Lineas que forman su bus de direcciones y que son trece: de A₀ a A₁₂. De aquí se puede deducir que las direcciones de memoria son: 2¹³ = 8 192 direcciones, con lo cual su capacidad de almacenamiento es de 8 192.

Los datos de salida son 8: de Q₀ a Q₇, por lo que tiene una longitud de palabra de 8 bits.

Tensión de alimentación en la patilla 28.

Masa patilla.

No conectada.

Figure 2. DIP Connections

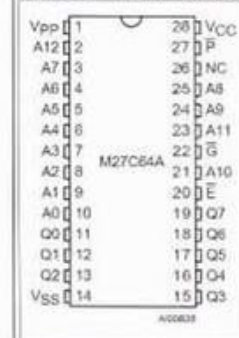


Figure 3. Pin Connections

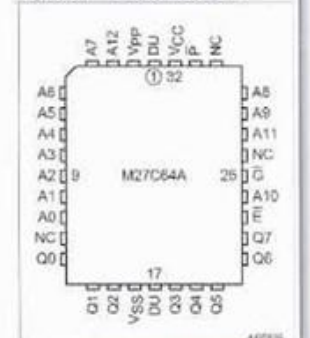


Fig. 16.16. Chip M27C64A.

Como podemos observar, la organización del chip es de 8 192 palabras por ocho bits, 8 kB · 8, por lo que podemos calcular el número de bits que es capaz de almacenar el chip o circuito integrado: 8 192 · 8 = 65 536 bits.

Caso práctico 8: Estudio de la organización de una EPROM comercial

Si observamos la hoja de características del chip 27C512A y nos fijamos en el patillaje de la figura debemos resolver las siguientes cuestiones:

- Capacidad de almacenamiento.
- Longitud de la palabra que almacena.
- Cálculo del número de bits que es capaz de almacenar.

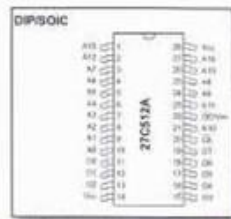


Fig. 16.17.

Solución:

- Como podemos observar, tenemos 16 líneas que forman el bus de direcciones desde A₀ a A₁₅, luego tenemos 2¹⁶ = 65 536 direcciones, es decir, tiene una capacidad de almacenamiento de 65 536 palabras.
- Los datos de salida van de Q₀ a Q₇, es decir 8. Posee una longitud de palabra de 8 bits.
- Es capaz de almacenar: 65 536 palabras · 8 bits = 524 288 bits.

Actividades

- Observa la hoja de características del chip 27C512A-10ISO y resuelve las siguientes cuestiones:
 - Capacidad de almacenamiento.
 - Longitud de la palabra que almacena.
 - Número de bits que es capaz de almacenar.
- Analiza tu ordenador e identifica los módulos de memoria que tienes (SIMM y DIMM). Averigua también qué tipo de memoria RAM es, indica el número de contactos de los módulos, así como su capacidad de almacenamiento.

Práctica final: Comprobación de un sistema microprogramable



1. Objetivo

Comprobar el tipo de microprocesador que contiene un ordenador y su capacidad de memoria.

2. Materiales

- Un ordenador personal montado con sus periféricos.
- Un sistema operativo XP.
- Un destornillador Phillips para abrir la caja del ordenador.

3. Técnica

1. Enciende el ordenador. Vamos a comprobar a través del sistema operativo las características del equipo.
2. Realiza la siguiente secuencia:
 - a) Pulsa con el ratón el botón *Inicio*.
 - b) Accede al *Panel de control*. En la ventana de *Panel de control*, pulsa *Sistema*.

Activando la pestaña *General* (Fig. 16.18) puedes comprobar el tipo de microprocesador que contiene. En la siguiente figura tienes un ejemplo:



Fig. 16.18.

3. Desde el *Panel de control*, pinchando en la pestaña *Hardware*, puedes verificar también las características del microprocesador y el resto de los dispositivos que tiene tu placa base.
4. Pulsa *Inicio* / *Programas* / *Accesorios*, ve a *Herramientas del sistema* y busca información del sistema:
 - a) Observa los discos duros que tiene instalado tu ordenador.
 - b) Anota en tu cuaderno la cantidad y la capacidad que tienen.
5. Comprueba otros sistemas de almacenamiento que tiene tu ordenador (dispositivos USB, etc.) y anótalos en tu cuaderno.
6. Accede a la BIOS de tu ordenador cuando arranques el equipo y haz una lista de los principales datos que puedes obtener en esta memoria.
7. Abre la caja del ordenador con el destornillador (Figs. 16.19 a 16.21), y realiza las siguientes comprobaciones:
 - a) Tipo de zócalo que lleva tu microprocesador.
 - b) Marca y modelo de la memoria RAM instalada.

4. Cuestiones:

1. ¿Cuántos módulos de memoria RAM tiene instalados el ordenador? ¿Se podrían ampliar? Justifica la respuesta.
2. Investiga qué tipo de conexiones lleva tu placa base para los discos duros. Si es necesario, consulta la documentación de la misma.
3. Identifica dónde está la BIOS en la placa base. ¿Para qué sirve la pila que lleva la BIOS?
4. ¿Dónde podrías comprobar la temperatura a la que está trabajando el microprocesador?

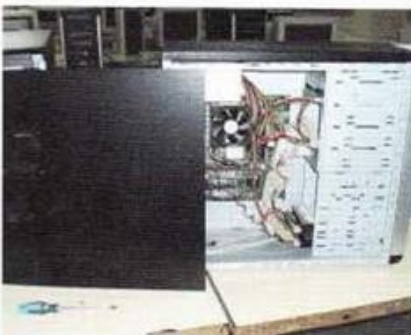


Fig. 16.19.



Fig. 16.20.



Fig. 16.21.



Test de repaso

- Los tipos de microprocesadores según su arquitectura son:
 - Von Neumann y Harvard.
 - CISC y RISC.
 - Von Neumann y CISC.
 - Harvard y RISC.
- Los tipos de microprocesadores según su juego de instrucciones son:
 - Von Neumann y Harvard.
 - CISC y RISC.
 - Von Neumann y CISC.
 - Harvard y RISC.
- Un PIC16F84 es un tipo de:
 - Microprocesador y microcontrolador.
 - Microprocesador.
 - Microcontrolador.
 - Ninguna es correcta.
- El modelo Intel Core 2 dúo de núcleo es un tipo de:
 - Microprocesador y microcontrolador.
 - Microprocesador.
 - Microcontrolador.
 - Ninguna es correcta.
- El modelo de microprocesador fabricado en el año 2008 y que ha llegado hasta nuestros días es el:
 - Pentium II.
 - Pentium IV.
 - Intel Core dúo.
 - Intel Core 2 dúo de núcleo.
- Las memorias RAM son memorias:
 - No volátiles y de acceso aleatorio.
 - Volátiles y de acceso secuencial.
 - Volátiles y de acceso aleatorio.
 - Ninguna es correcta.
- Las memorias ROM son memorias:
 - No volátiles y de lectura/escritura.
 - Volátiles y de solo lectura.
 - No volátiles y de solo lectura.
 - Ninguna es correcta.
- Un kilobyte equivale a:
 - 1 024 GB.
 - 1 024 MB.
 - 1 024 bytes.
 - 1 024 bits.
- Un gigabyte equivale a:
 - 1 024 kB.
 - 1 024 MB.
 - 1 024 bytes.
 - 1 024 bits.
- Un megabyte equivale a:
 - 1 024 kB.
 - 1 024 GB.
 - 1 024 bytes.
 - 1 024 bits.

Soluciones: 1a, 2b, 3c, 4b, 5d, 6c, 7c, 8c, 9b, 10a.

Comprueba tu aprendizaje



Identificar la estructura de un microprocesador y un microcontrolador

1. Explica las diferencias que hay entre la estructura de un microprocesador y la de un microcontrolador.
2. De los siguientes esquemas, identifica cuál corresponde a un microprocesador y cuál a un microcontrolador. Rellena también los recuadros y explica cuál es la misión de cada elemento.

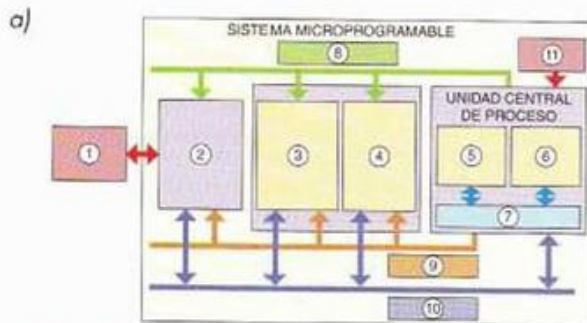


Fig. 16.22.

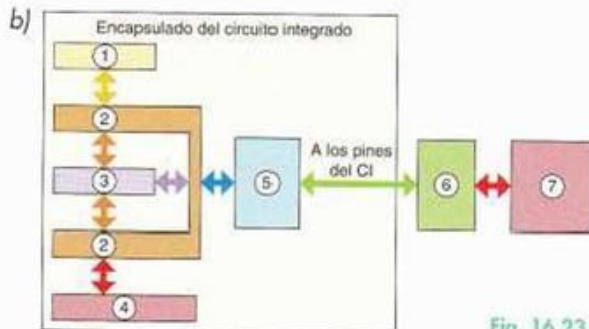


Fig. 16.23.

3. Explica las diferencias que hay entre una arquitectura de tipo Von Neumann y otra de tipo Harvard.
4. De las siguientes placas base de ordenador, identifica los componentes basándote en la estructura de bloques.



Fig. 16.24.

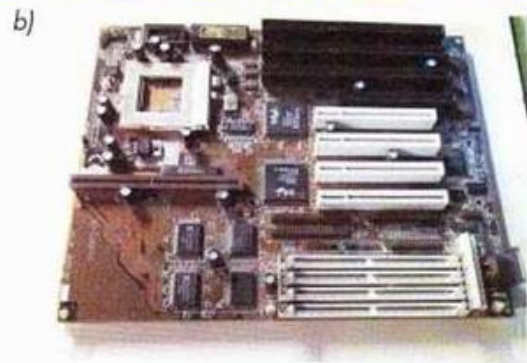


Fig. 16.25.

5. De las siguientes imágenes, determina cuáles corresponden a un microcontrolador y cuáles a un microprocesador:



Fig. 16.26.



Fig. 16.27.



Fig. 16.28.



Fig. 16.29.

Describir la lógica asociada a los elementos programables (memorias, puertos, entre otros)

6. Explica las diferencias existentes entre las memorias RAM y las memorias ROM.
7. Describe los tipos de memorias RAM y los tipos de memorias ROM que podemos encontrar.
8. Analiza la hoja de características del chip 27C512A-10ISO y contesta a las siguientes preguntas:
 - a) Capacidad de almacenamiento.
 - b) Longitud de la palabra que almacena.
 - c) Número de bits que es capaz de almacenar.
9. Realiza una búsqueda en Internet y enumera diversos tipos de dispositivos del ordenador que se conecten al puerto paralelo y otros que se conecten al puerto serie.

Comprueba tu aprendizaje

10. Explica las diferencias que existen entre un tipo de memoria DRAM y un tipo de memoria SRAM.
11. Detalla las diferencias que hay entre una memoria EPROM y una memoria EEPROM.
12. Identifica, en un ordenador de tu aula, los módulos de memoria que tiene (SIMM y DIMM) y averigua qué tipo de memoria RAM es. Señala también el número de contactos de los módulos, así como la capacidad de almacenamiento.
13. Indica de cuántos contactos constan los módulos de memoria de las siguientes imágenes:



Fig. 16.30.



Fig. 16.31.



Fig. 16.32.

14. Explica las diferencias que hay entre puerto serie y puerto paralelo.

Describir aplicaciones básicas con elementos programables

15. Busca en Internet aplicaciones reales de los sistemas microprogramables con microprocesador y con microcontroladores.
16. Detalla una lista de aplicaciones de las memorias SDRAM con ayuda de Internet.

Cargar programas de aplicación en entrenadores didácticos o similares

17. Busca en Internet el programa Proteus para simular programas de los PIC, e investiga, pidiendo ayuda a tu profesor, cómo funciona.

18. Una vez localizado el Proteus, cárgalo en tu ordenador y simula programas con el PIC 16F84 con ayuda de tu profesor.

Verificar y realizar modificaciones de parámetros y funcionamiento

19. Consulta las características de la placa base de un ordenador de tu aula y realiza la ampliación de la memoria RAM al doble de la capacidad que tengo instalada. Para ello, asegúrate de que el nuevo módulo que vas a colocar es igual que el que tiene instalado el ordenador.
20. Cambia la secuencia de arranque de tu ordenador de tal forma que el primer dispositivo que se lea sea el puerto USB. Para ello, accede a la BIOS cuando esté arrancando el ordenador y accede al menú correspondiente de los dispositivos de arranque.
21. Comprueba desde la BIOS los dispositivos de almacenamiento que es capaz de detectar. Haz una lista indicando el tipo de dispositivos y la interfaz de conexión con la placa base.
22. Investiga, valiéndote de Internet, los nuevos tipos de microprocesadores que existen en la actualidad en el mercado, e indica cuáles son sus características.
23. Busca, también en Internet, diferentes tipos de microcontroladores y señala cuáles son los más indicados para ser empleados en telecomunicaciones.
24. Una vez realizada la actividad anterior, analiza las características de los microcontroladores que has detallado y resúmelas, prestando especial atención, además, al patillaje de estos microcontroladores.
25. ¿Qué ocurriría si se modificara algún parámetro de los microcontroladores que has encontrado en las actividades previas?
26. En los sistemas de control se utilizan con mucha frecuencia unos circuitos denominados sistemas de adquisición de datos. Busca un ejemplo en Internet y detalla los componentes que incorpora, indicando especialmente:
 - a) El tipo de microprocesador o microcontrolador que utiliza.
 - b) Qué periféricos de entrada o salida emplea.
 - c) Si lleva conversores analógico-digitales o digitales-analógicos.
27. En muchos aparatos, como los audifonos, se utiliza un tipo especial de microprocesadores denominados DSP. Busca en Internet un ejemplo de procesador de este tipo y comenta cuáles son sus principales características.



- 1. Comprobación de la circulación de la corriente en un circuito Pág. 19**
Comprobamos los diferentes caminos que puede tomar la corriente eléctrica en un circuito. Para ello montamos diferentes interruptores, para poder abrir y cerrar partes de los circuitos.
- 2. Comprobación de la resistencia equivalente de un circuito Pág. 45**
Medimos la resistencia equivalente de dos asociaciones de resistencias y vamos a comprobar si el valor obtenido es igual al que calculamos de forma teórica.
- 3. Comprobación de la ley de Ohm en un circuito de corriente continua Pág. 65**
Comprobamos de forma práctica cómo se cumple la ley de Ohm en un circuito en serie, formado por tres resistencias y un generador.
- 4. Comprobación de la bobina en corriente continua Pág. 81**
Montamos varios circuitos con bobinas, medimos, y calculamos las inductancias de los mismos.
- 5. Medidas sobre un circuito de corriente alterna Pág. 99**
Visualizamos diferentes señales periódicas con formas de onda distintas y medimos sus parámetros, comprobamos la variación de la impedancia de un condensador y medimos la tensión y la intensidad en un circuito RLC en serie.
- 6. Medida de la potencia activa y aparente. Pág. 117**
Medimos la potencia aparente en un circuito RLC mediante un voltímetro y un amperímetro, medimos la potencia activa del circuito utilizando un vatímetro y calculamos la potencia reactiva a partir de los datos anteriores.
- 7. Montaje y cálculos de circuitos con transistores Pág. 139**
Realizamos el montaje de un circuito con transistores y realizamos medidas del mismo.
- 8. Comprobación de la señal de salida de un rectificador con filtro paso bajo Pág. 159**
Realizamos el montaje de un rectificador con filtro paso bajo y visualizamos las diversas formas de onda que obtenemos a la salida del mismo con diferentes tipos de onda y distintas frecuencias.
- 9. Obtención de la ganancia de un amplificador. Pág. 177**
Montamos dos circuitos amplificadores y obtenemos de forma práctica la ganancia de ambos. Medimos los principales parámetros en cada uno de ellos.
- 10. Generación de una onda cuadrada con el circuito integrado 555 Pág. 195**
Comprobamos que, con un circuito integrado 555 funcionando como multivibrador astable, podemos obtener una onda cuadrada en la que podemos controlar la duración del ciclo de trabajo.
- 11. Realización de una fuente de alimentación lineal Pág. 213**
Realizamos el montaje de la fuente de alimentación lineal y realizamos cálculos esenciales sobre ella.
- 12. Comprobación de la tabla de verdad de las puertas NAND y NOR. Pág. 233**
Realizamos el montaje en un entrenador digital y simulamos dos circuitos eléctricos, utilizando para ello los chips con tecnología TTL necesarios.
- 13. Montaje de un display de 7 segmentos con un circuito integrado 7447. Pág. 255**
Realizamos la conexión entre un circuito integrado 7447 y un display de 7 segmentos, y comprobamos su funcionamiento.
- 14. Montaje de un cronómetro digital de 1 minuto con contadores 74192 Pág. 273**
Estudiamos el funcionamiento del contador 74192 y su conexión en cascada para aumentar el final de cuenta.
- 15. Comprobación del funcionamiento de un conversor analógico-digital Pág. 289**
Estudiamos el funcionamiento del conversor ADC 0804. Para ello, realizamos el montaje de un circuito sobre el entrenador digital.
- 16. Comprobación de un sistema microprogramable Pág. 307**
Comprobamos el tipo de microprocesador que contiene un ordenador y su capacidad de memoria. Para ello examinamos tanto el hardware como el software.