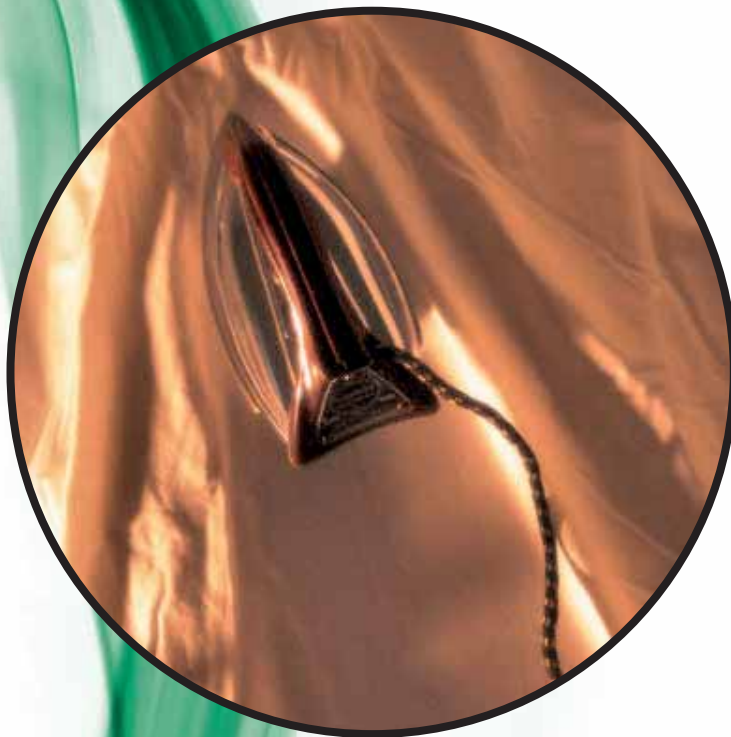


# Unidad 8

## Rectificadores y filtros



### En esta unidad aprenderemos a:

- Identificar los parámetros y características fundamentales de los circuitos rectificadores y de los filtros analógicos.
- Montar o simular circuitos analógicos básicos: rectificadores y filtros.
- Verificar el funcionamiento y las medidas fundamentales de los circuitos de rectificación y filtrado.
- Aplicar este tipo de circuitos a situaciones reales.

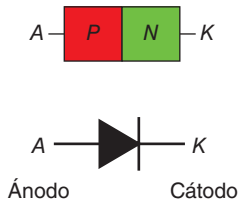
### Y estudiaremos:

- Las características de los circuitos rectificadores y sus formas de onda.
- Los tipos de filtros.
- Las distintas aplicaciones de estos circuitos.

## 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. Hay 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/](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.

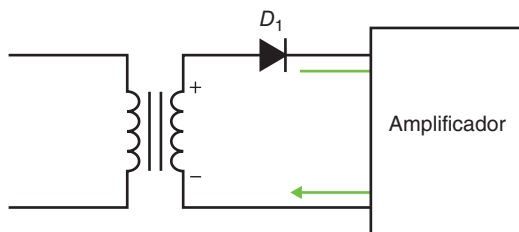


Fig. 8.1.

#### 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:

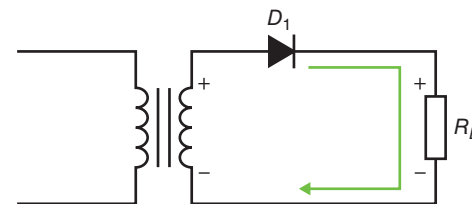


Fig. 8.2.

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 $\Omega$ , 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:

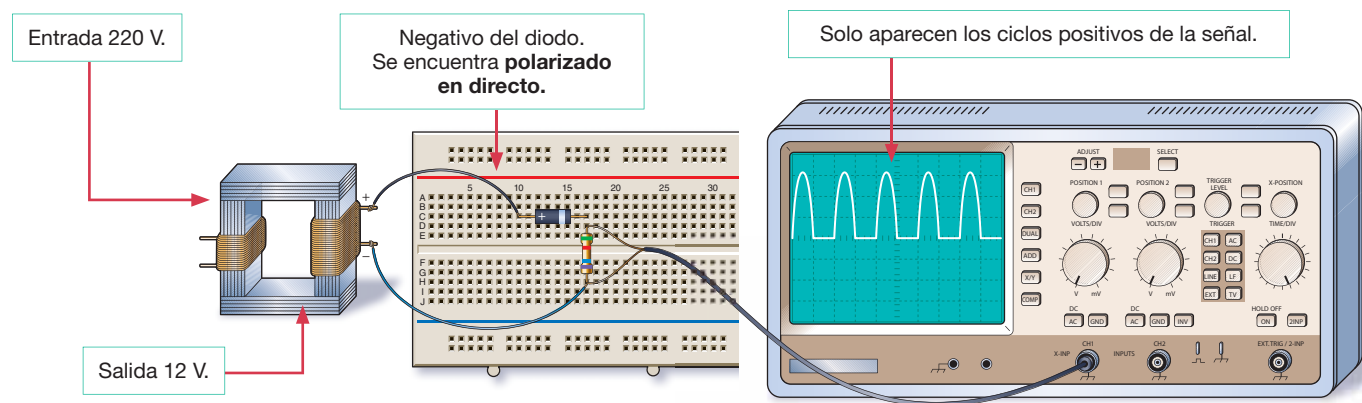
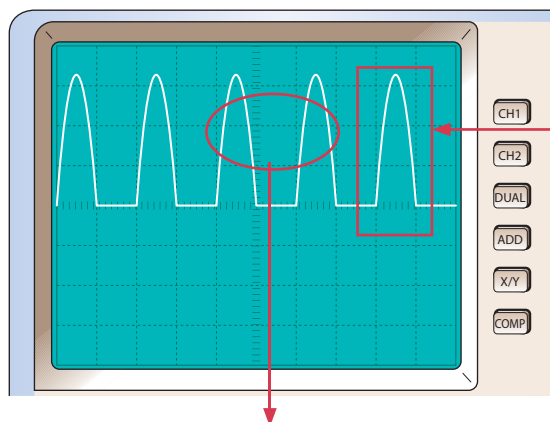


Fig. 8.3.

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 ( $V_F = 0,7 V$ )?

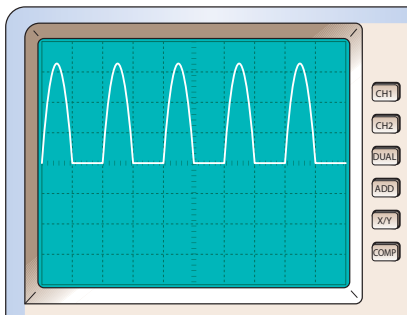


Fig. 8.5.

### 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:

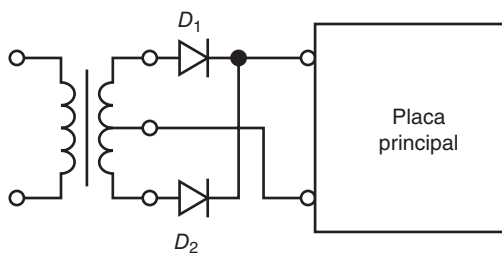


Fig. 8.6.

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:

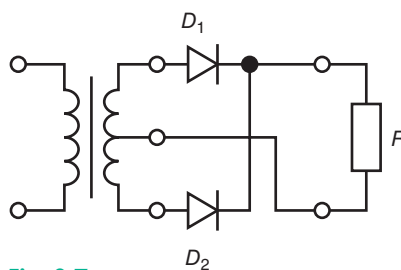


Fig. 8.7.

#### 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 $\Omega$ , 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:

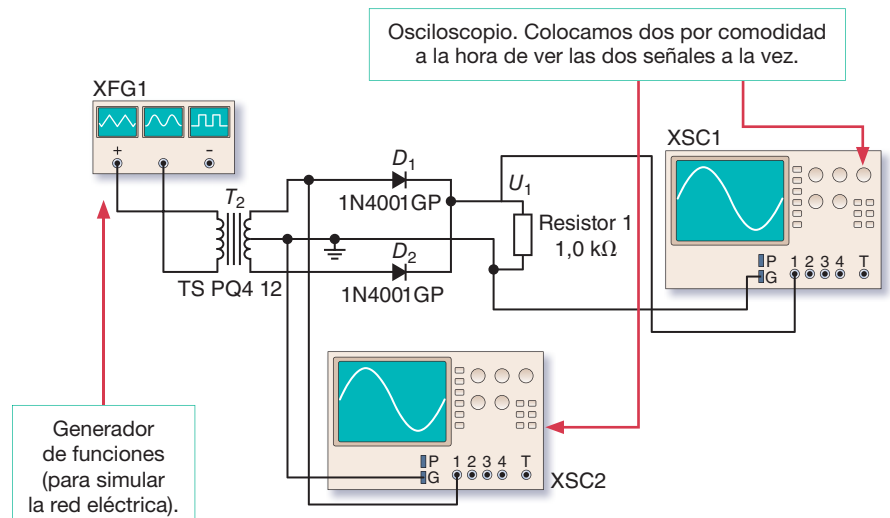


Fig. 8.8.

(Continúa)

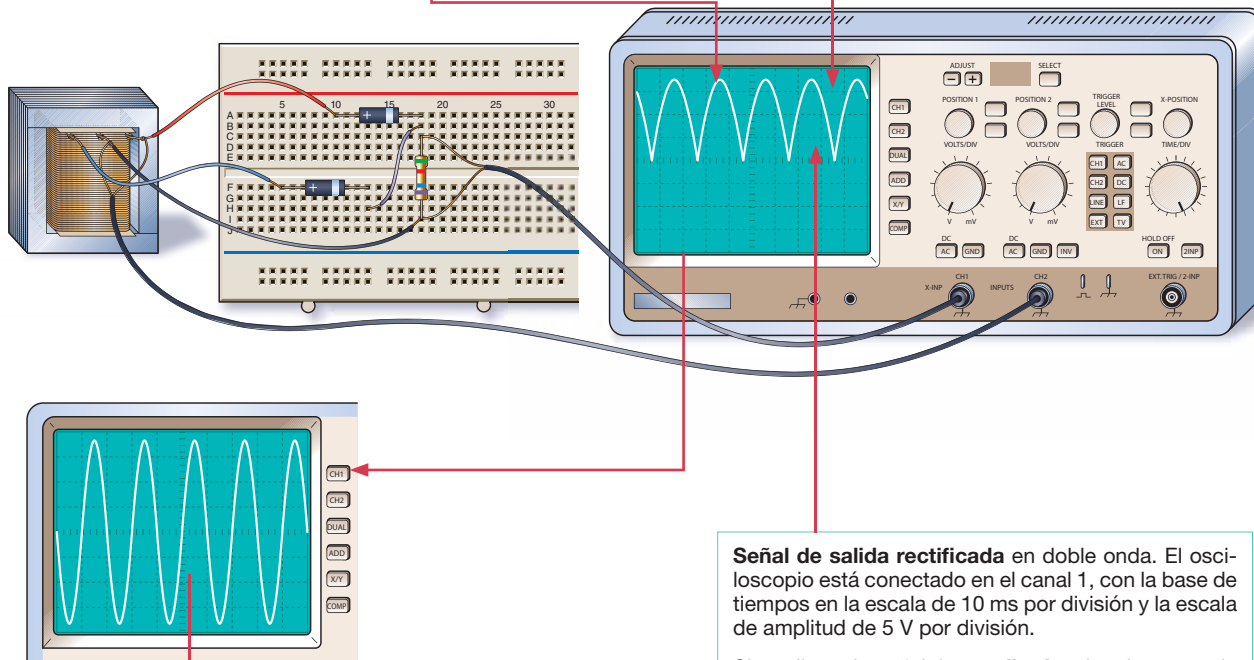
**Caso práctico 3: F. a. con transformador de toma intermedia y rectificador de onda completa**

(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:**  $3,4 \text{ div} \cdot 5 \text{ V/div} = 17 \text{ V}$
- **Periodo:**  $2 \text{ div} \cdot 10 \text{ ms/div} = 20 \text{ ms}$  (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 los de media onda, debemos considerar una serie de parámetros importantes a la hora 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.

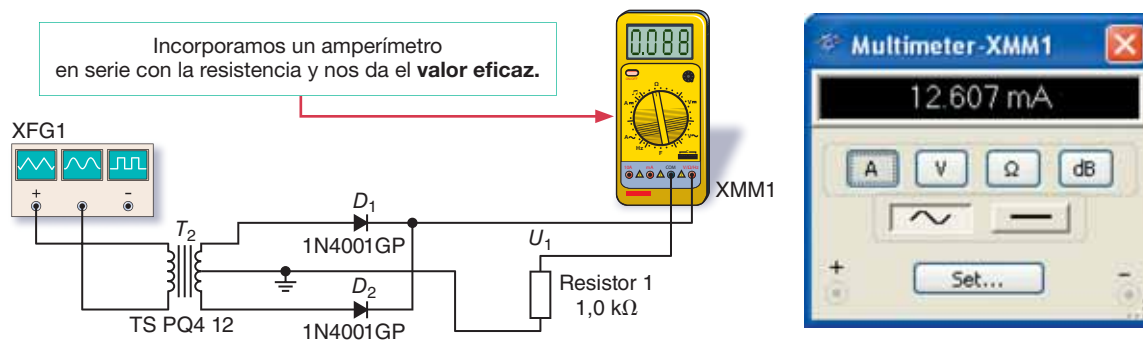


Fig. 8.10.

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:

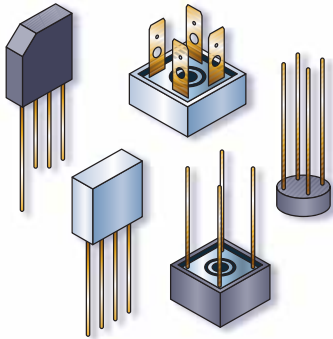
$$I_{med.} = \frac{V_{med.}}{R} = \frac{5,18}{1 \cdot 10^3} = 0,00518 \text{ A}$$

#### 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  $\Omega$ .

**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 está 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:

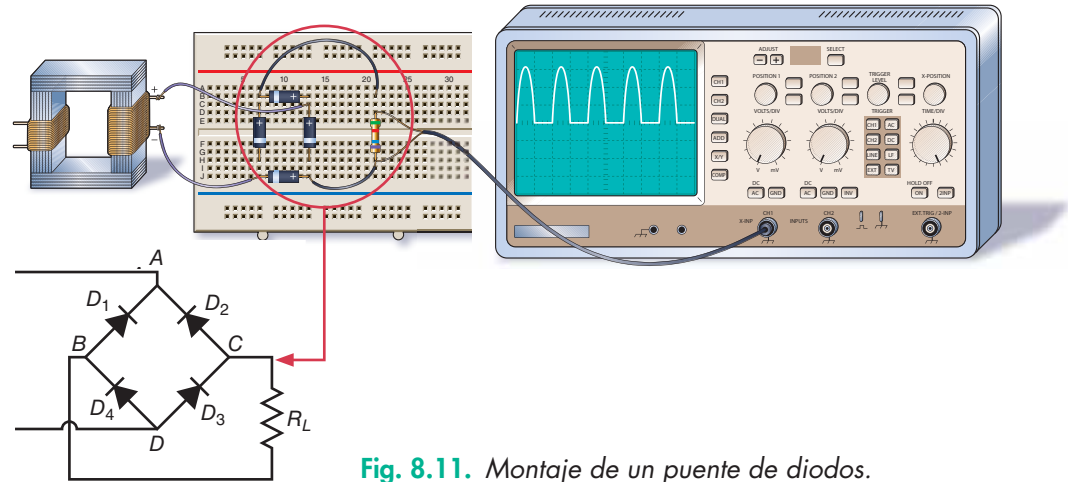


Fig. 8.11. Montaje de un puente de diodos.

**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):

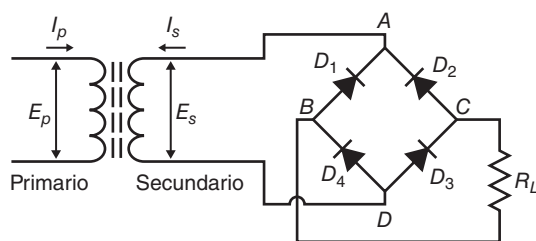


Fig. 8.12.

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  $\Omega$ , 1/4 W.
- Osciloscopio.
- Placa BOARD.

Los **pasos** que tenemos que seguir son los siguientes:

1. Montamos el puente de diodos sobre la placa BOARD, 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 que obtenemos a la salida del rectificador.
4. Conectamos el secundario del transformador (la parte 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.

(Continúa)



## Caso práctico 5: Rectificador de onda completa con puente integrado de diodos

(Continuación)

El **circuito** montado nos queda de la siguiente manera:

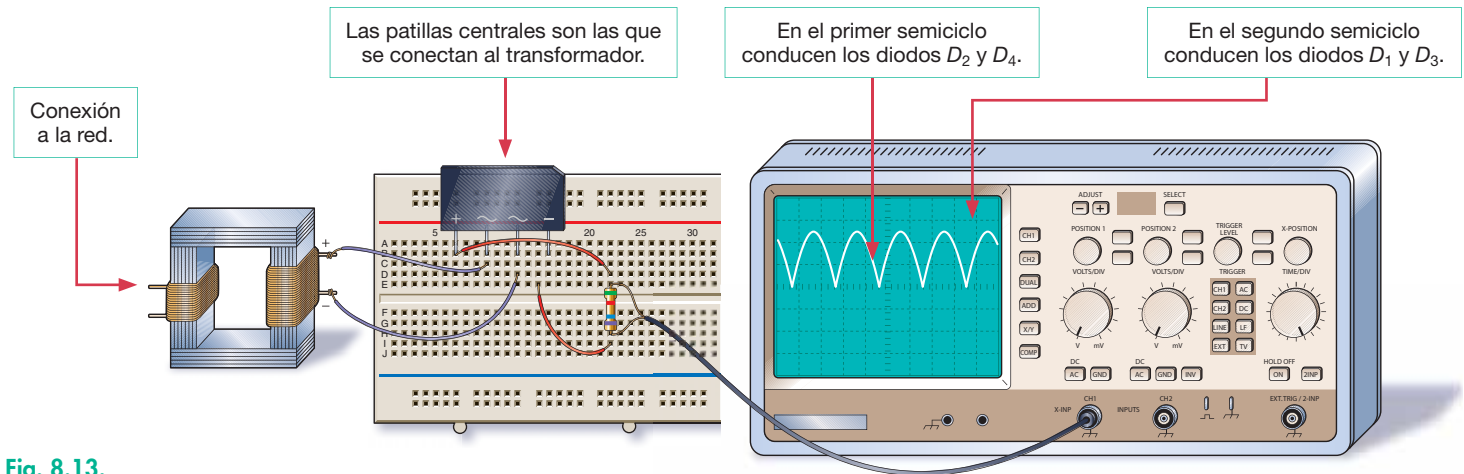


Fig. 8.13.

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:

$$I_p = \frac{V_p}{R} = \frac{12,72}{65} = 0,19 \text{ A}$$

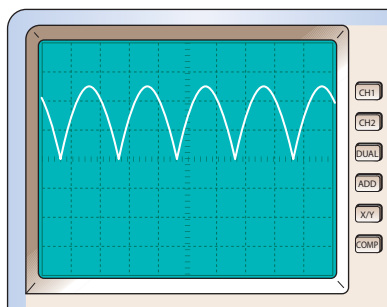
Vamos a calcular la **tensión media**, teniendo en cuenta el valor de la tensión de polarización de los diodos. Como en este caso son dos los que conducen a la vez, y cada uno de ellos necesita 0,7 V para estar polarizado en directo, la fórmula es la siguiente:

$$V_{med.} = \frac{2 (V_{m\acute{a}x.} - 1,4)}{\pi} = 7,2 \text{ V}$$

La **intensidad media** la calculamos aplicando nuevamente la ley de Ohm:

$$I_{med.} = \frac{V_{med.}}{R} = 0,11 \text{ A}$$

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.

### Actividad

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 la 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 ambos 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 como radios, 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):

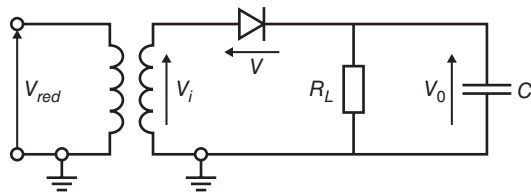


Fig. 8.15.

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  $C = 100 \text{ }\mu\text{F}$ .

#### 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  $27 \text{ nF}$ :

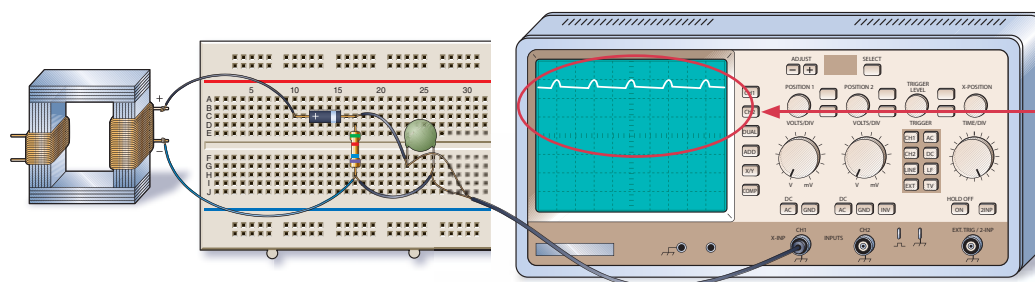


Fig. 8.16.

La onda de salida que obtenemos no es totalmente plana, sino que tiene un pequeño **rizado**. A pesar de todo, se podría utilizar como alimentación continua en muchos equipos.

(Continúa)

## 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:

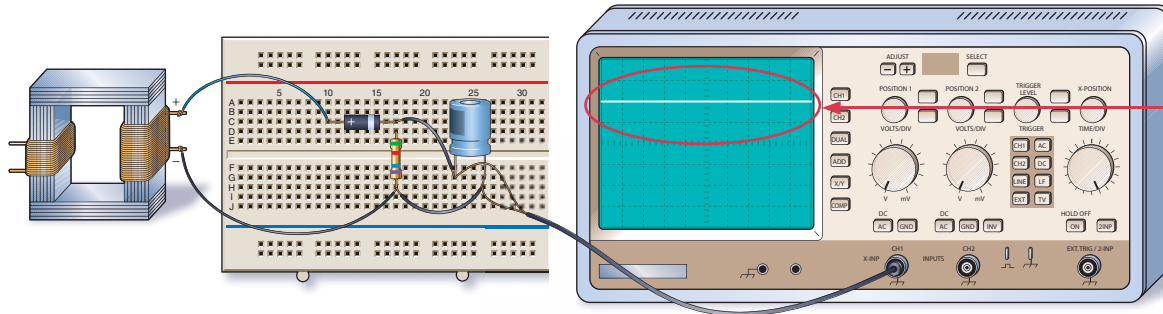


Fig. 8.17.

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:

$$V_0 = \frac{I}{fC}$$

Donde:  $V_0$  = tensión de rizado en voltios.

$I$  = intensidad de la corriente continua en amperios.

$f$  = 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 la **polaridad** de los condensadores electrolíticos en el filtro de la fuente a la hora de conectarlos en el circuito: el positivo debe ir hacia la salida del diodo y el negativo a la patilla de abajo de la resistencia.

## Actividades

- 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.
- 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 la 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, se 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):

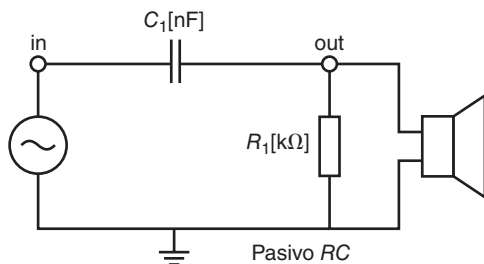


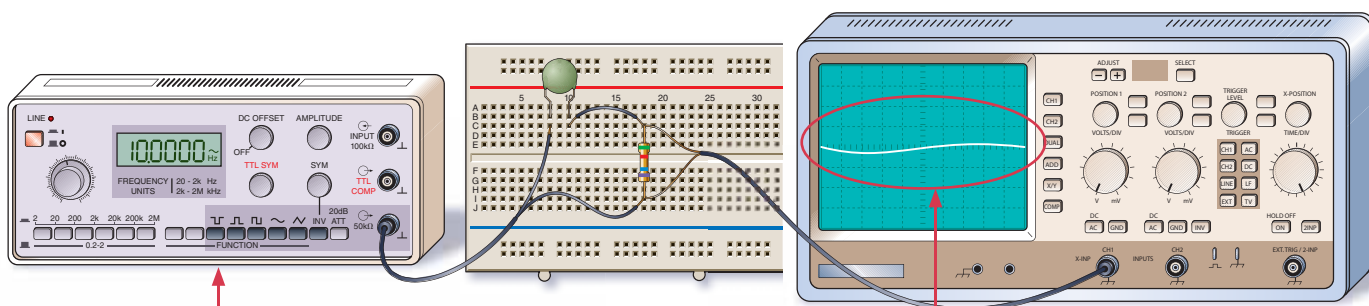
Fig. 8.18.

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<sub>p</sub>. 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.

(Continúa)

## Caso práctico 7: Separación de señales en la etapa de filtrado de una caja acústica

(Continuación)

Si ahora introducimos una señal de 10 kHz:

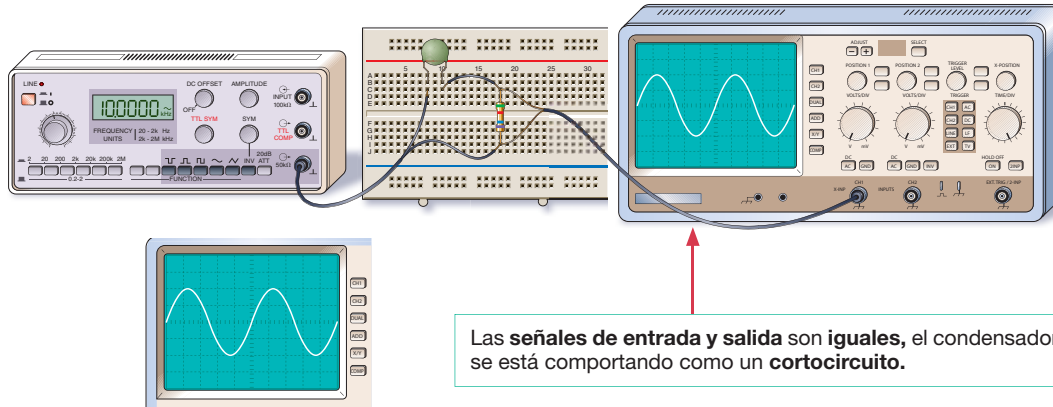


Fig. 8.20.

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 ( $\tau$ ). 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  $100 \Omega$  y condensador de  $100 \text{ mF}$ .
  - Resistencia de  $200 \Omega$  y condensador de  $200 \text{ mF}$ .
  - 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...?

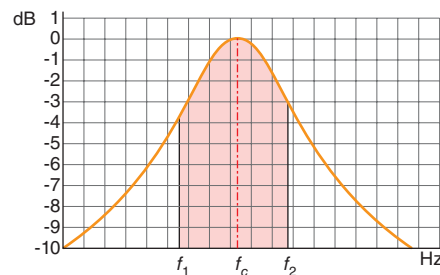
Un **ecualizador de audio** es un aparato que sirve para atenuar o resaltar ciertas frecuencias de una señal de sonido, de tal forma que podamos acomodar a nuestro gusto la música que queremos escuchar.

El aspecto de un ecualizador es como este:



El filtro deja pasar la **frecuencia de resonancia**, que sería la **frecuencia de corte** ( $f_c$ ) y los componentes de frecuencias próximas a la frecuencia de corte.

En este filtro existen dos frecuencias de corte, una inferior ( $f_1$ ) y otra superior ( $f_2$ ). Este 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 tanto, solo 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  $f_2$ .

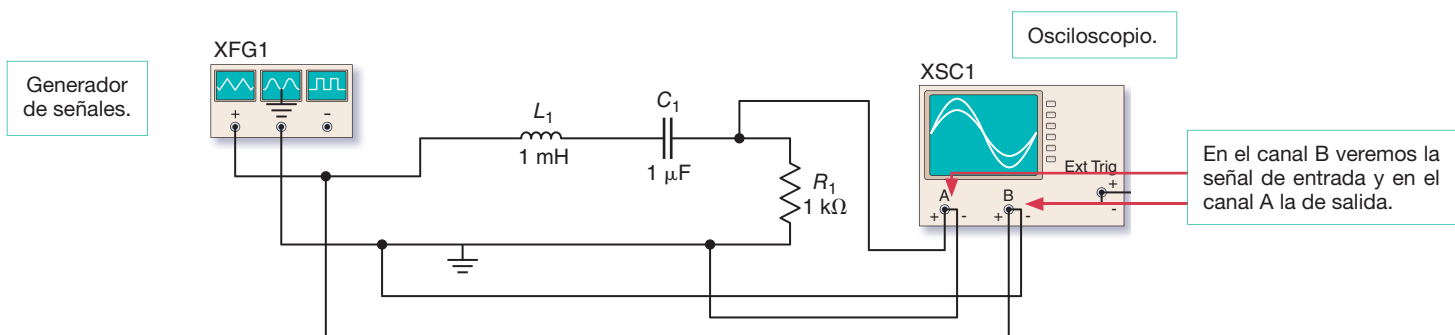
Como **aplicaciones** de este tipo de filtros podemos citar los ecualizadores de audio, que actúan como selectores de las distintas bandas de frecuencia de la señal de sonido; la eliminación de ruidos que aparecen junto a una señal, siempre que la frecuencia de ésta sea fija o conocida, etc.

### 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.**

(Continúa)

## Caso práctico 8: Estudio de un filtro paso banda

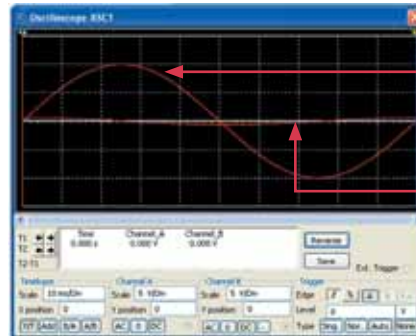
(Continuación)

Vamos a ver las **señales obtenidas** para cada uno de los tres casos:

## Caso 1:



Fig. 8.23.



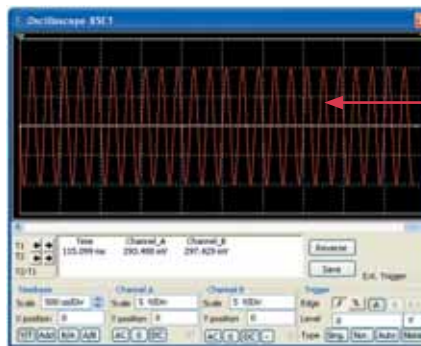
**Señal de entrada:** tal como está indicada en el generador de funciones (canal B).

**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.

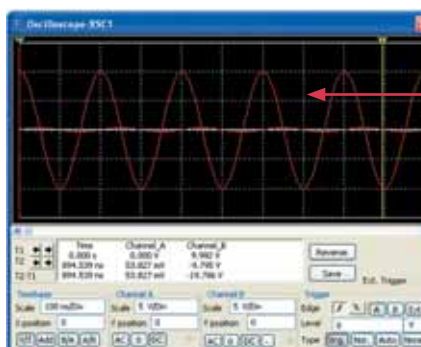


Cuando la frecuencia de la **señal de entrada** está muy próxima a la frecuencia de resonancia del filtro pasa sin ningún problema a la salida del mismo. En el osciloscopio se observan las señales de entrada y **salida** superpuestas, al ser las dos iguales.

## 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:

$$B = f_2 - f_1 \text{ (se mide en hertzios)}$$

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.

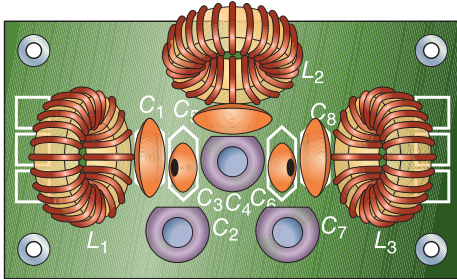


Fig. 8.26.

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.

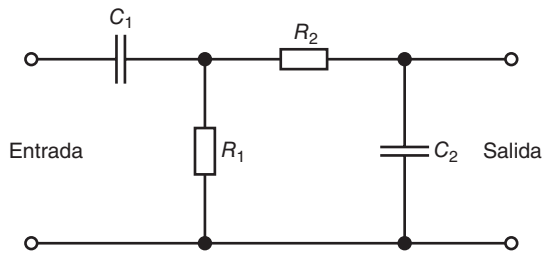


Fig. 8.27.

- 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:

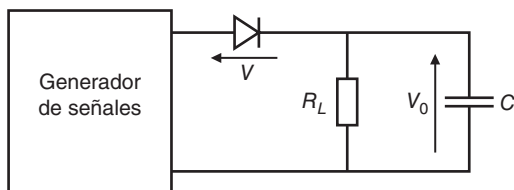


Fig. 8.28.

El generador de señales proporciona una onda senoidal de  $100 \text{ kHz}$  y  $10 \text{ V}_{\text{pp}}$ .

Los componentes que forman el circuito son una resistencia de  $100 \Omega$ , 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 a 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  $10 \text{ V}_{\text{pp}}$  y la frecuencia de  $1 \text{ kHz}$ .

- 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 en la señal de entrada una frecuencia de  $2 \text{ MHz}$ ?



## 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.

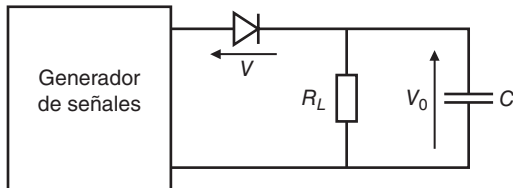


Fig. 8.29.

### 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  $10\text{ pF}$ .
- Un condensador de  $47\text{ nF}$ .
- Un condensador electrolítico de  $470\text{ }\mu\text{F}$ .
- Osciloscopio.
- Cables.
- Diodo 1N4001.

### 3. Técnica

- a) Ajusta en el generador una señal para que nos dé una onda senoidal de amplitud  $10\text{ V}_{pp}$  y una frecuencia de  $500\text{ Hz}$  y:
1. Realiza el montaje con un condensador de  $10\text{ pF}$  y un resistor de  $1\text{ k}\Omega$  (Figs. 8.30 y 8.31).
  2. Conecta el generador de señales a la entrada del circuito.
  3. Conecta el osciloscopio y observa la señal de salida (Fig. 8.32).
  4. Dibuja la señal en un cuaderno.



Fig. 8.30.

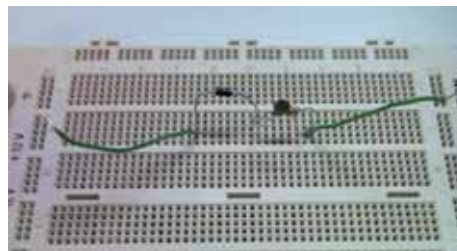


Fig. 8.31.



Fig. 8.32.

5. Realiza la operación cambiando el condensador por el de  $47\text{ nF}$  y el resistor de  $1\text{ k}\Omega$ .
6. Dibuja la señal obtenida y compárala con la anterior.
7. Realiza la misma operación cambiando el condensador por el de  $47\text{ nF}$  y el resistor de  $1\text{ k}\Omega$ .
8. Repite la operación cambiando el condensador por el de  $470\text{ }\mu\text{F}$  y el resistor de  $1\text{ k}\Omega$ .
9. Dibuja la señal obtenida con este nuevo condensador.
10. 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  $5\text{ kHz}$  y con  $10\text{ V}_{pp}$ . 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  $100\text{ kHz}$  y una amplitud de  $15\text{ V}_{pp}$ .

Realiza las mismas acciones que en el caso c) e indica qué ocurre en la señal de salida.

### 4. Cuestiones

- a) Explica cuál es el mejor filtro que hemos montado, justificando la respuesta.
- b) ¿Por qué el circuito deja de funcionar cuando aumentamos la frecuencia?
- c) ¿A partir de qué valor de frecuencia deja de funcionar?
- d) Consultando un catálogo, elige un diodo que responda a las altas frecuencias para poder montar el mismo rectificador.



## 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 darse 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 onda 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.

**Soluciones:** 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.

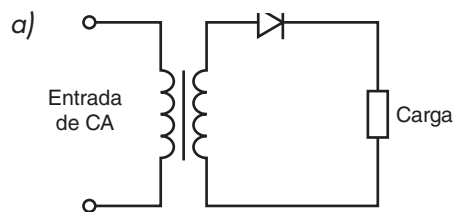


Fig. 8.33.

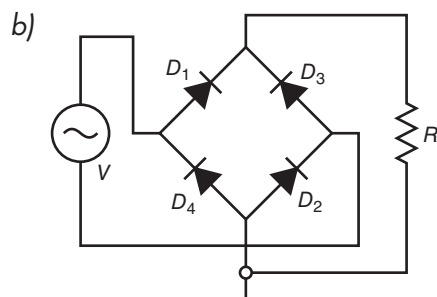


Fig. 8.34.

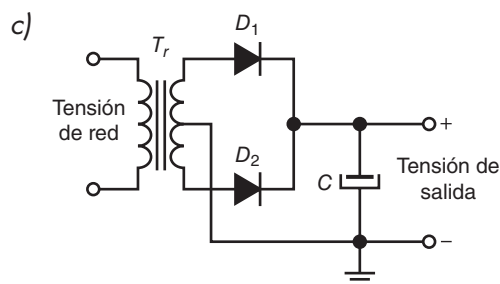


Fig. 8.35.

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.

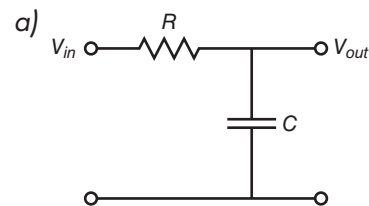


Fig. 8.36.

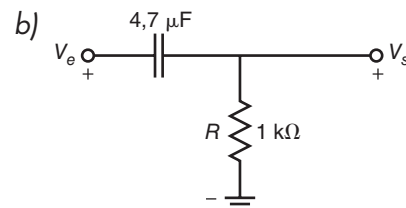


Fig. 8.37.

5. El componente de la figura es un rectificador integrado. Corresponde al modelo 005S:

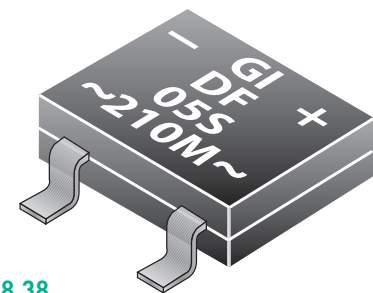


Fig. 8.38.

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.

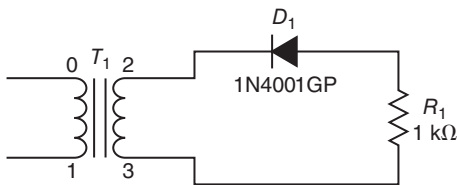


Fig. 8.39.

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.

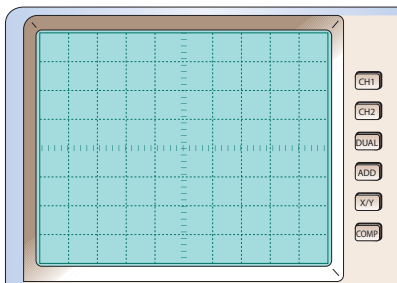


Fig. 8.40.

7. Dibuja sobre la pantalla del osciloscopio la señal de salida que se obtiene en el resistor del circuito de la figura:

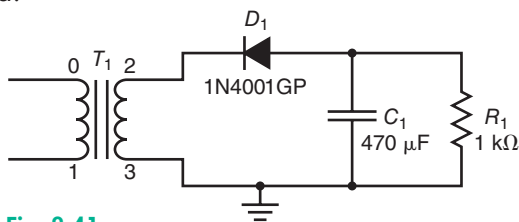


Fig. 8.41.

Explica cómo configurar los mandos del osciloscopio para realizar la medida de forma correcta.

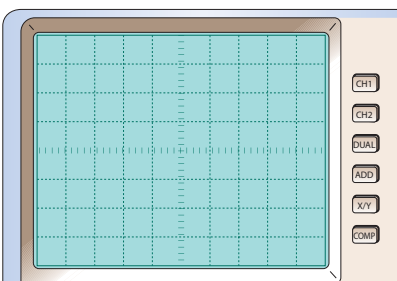


Fig. 8.42.

## 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 ( $f_c$ ).
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 de  $1 nF$  y comprueba cómo es la señal de salida. Haz lo mismo con un condensador de  $470 \mu F$ . 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 2000 y 3000 Hz hasta 20000 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 las bajas frecuencias en un altavoz o caja acústica. ¿Qué tipo de filtro utilizaremos para limitar la señal que le llega?

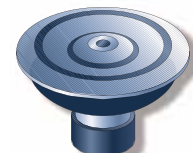


Fig. 8.44.

12. Un **squawker** o **midrange** es el transductor de un altavoz encargado de reproducir frecuencias medias entre 300 y 5000 Hz. ¿Qué filtro utilizaremos para que solo deje pasar las frecuencias medias al altavoz?

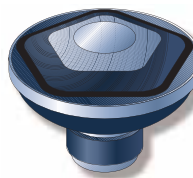


Fig. 8.45.