

CURSO INTERACTIVO

Diploma

de

Operador

radioaficionado

TEMA 3

Circuitos electrónicos

Temario ajustado al

HAREC

(Harmonized Amateur Radio Examination Certificate)

Certificado Armonizado del Examen de Radioaficionado

desarrollado por los miembros

del Radioclub La Salle

coordinados por

Luis A. del Molino EA3OG

Publicado en PDF en 11 de Junio de 2011 por el Radioclub La Salle
bajo la supervisión de Luis A. del Molino EA3OG
amparado por una licencia *Creative Commons*



Reservados algunos derechos:

No se permite ni el uso comercial de la obra, ni la generación de obras derivadas, ni la utilización parcial del texto

Agradecimientos:

Numerosas ilustraciones han sido cedidas por la Editorial Marcombo (www.marcombo.com), procedentes de su libro: *Radioafición y CB: Enciclopedia Práctica en 60 lecciones*

También hemos de agradecer la colaboración de Víctor Ballesteros en la realización de algunas de las ilustraciones, tarea en la que ha colaborado también Roger Galobardes.

Con tal de mejorar el texto y el contenido, os agradeceremos mucho que cualquier sugerencia de mejora o los errores que encontréis nos los comunicuéis a la dirección:
<radioclub@salle.url.edu>

TEMA 3: Circuitos electrónicos

3.1 Combinación de componentes en un circuito

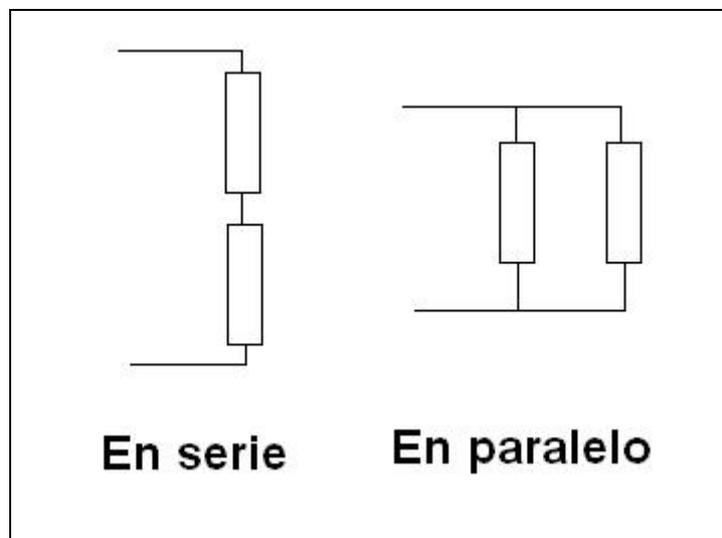
Los condensadores y las bobinas tienen un comportamiento absolutamente opuesto en cuanto a las corrientes y tensiones continuas, pues estas no pasan en absoluto por los condensadores, mientras que circulan sin problemas por las bobinas.

En cambio, las corrientes alternas pasan muy mal por las bobinas y circulan perfectamente por los condensadores. Esto nos permite separar unas de otras.

Concretamente este comportamiento opuesto de condensadores y bobinas nos permite separar las corrientes y tensiones continuas de polarización de los amplificadores, de las señales alternas que queremos amplificar.

3.1.1 Circuitos en serie y en paralelo de resistencias, bobinas y condensadores

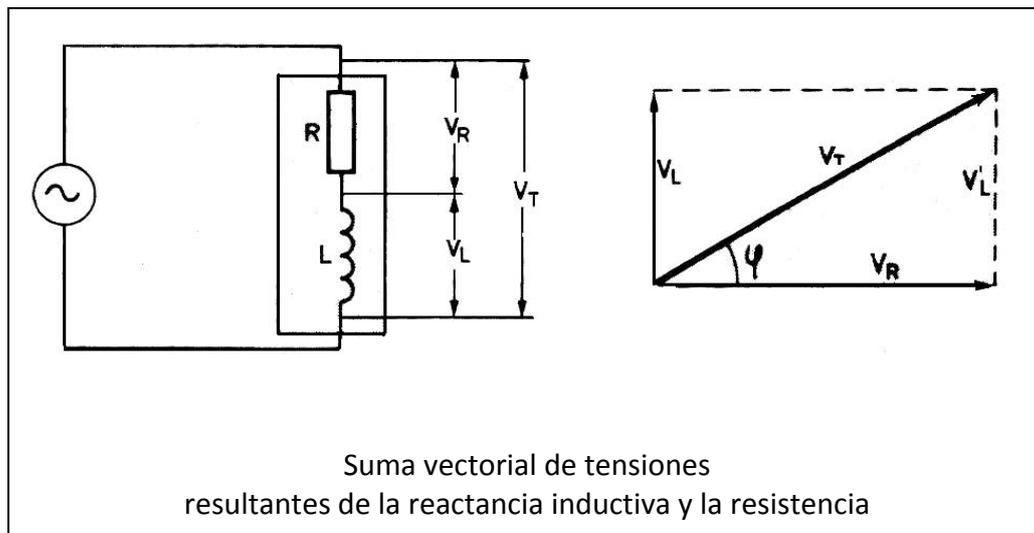
La conexión en serie de dos componentes significa que la corriente pase primero por uno de ellos y, a continuación, pase por el otro, de forma que circule la misma corriente por ambos componentes. En cambio la caída de tensión será diferente en cada uno de ellos.



La conexión en paralelo consiste en que se aplica la misma tensión a los bornes unidos entre sí de varios componentes, de forma que tengan la misma tensión aplicada, pero la corriente que circulará por cada uno de ellos será diferente, pues dependerá de su resistencia o de su reactancia ya sea inductiva o capacitiva, si la tuvieran.

3.1.1.1 Circuito con bobina y resistencia en serie, concepto de impedancia

Cuando una corriente alterna encuentra en su camino una resistencia y una reactancia (por ejemplo inductiva), encuentra dos oposiciones, la oposición resistiva de la resistencia y la oposición reactiva de la bobina y entonces esta suma de resistencia y reactancia se llama impedancia Z y se escribe: $Z = R + X_L$. Esta impedancia es un número complejo que no explicaremos aquí, porque no se pueden sumar como una suma aritmética normal, sino que es una suma vectorial de la resistencia y la reactancia inductiva.



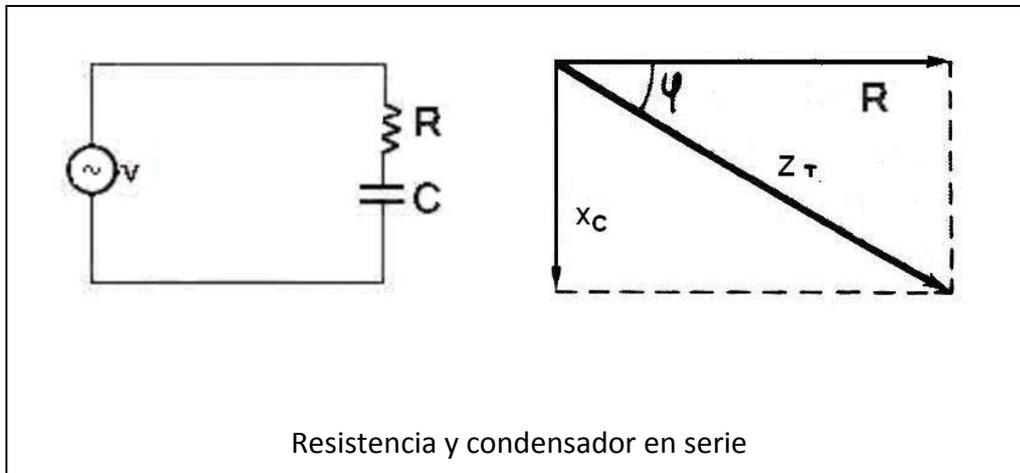
La suma vectorial da lugar a un triángulo rectángulo en que realmente se cumple que $Z_T^2 = R^2 + X_L^2$

Una resistencia sola no introduce ningún desfase entre la tensión alterna aplicada y la corriente que circula, pero en cambio, si le añadimos en serie una bobina o autoinducción, su reactancia inductiva atrasará la corriente en relación a la tensión, por lo que el resultado es que circulará una corriente con un retraso intermedio, siempre menor que 90 grados, respecto a la tensión aplicada, inferior al que se produciría si estuviera solamente la bobina.

3.1.1.2 Circuito con condensador y resistencia en serie

De un modo análogo a lo que ocurre cuando una corriente alterna encuentra en su camino una resistencia y una bobina que presenta reactancia inductiva, cuando una corriente alterna encuentra una resistencia y un condensador en serie, encuentra dos oposiciones distintas, la resistiva de la resistencia y la reactancia del condensador.

Entonces esta suma de resistencia y reactancia capacitiva se llama impedancia Z y se escribe: $Z = R + jX_C$. Esta impedancia es un número complejo que no explicaremos aquí, pero es una suma vectorial de resistencia y reactancia capacitiva, análoga a la que hemos visto para la resistencia y la inductancia en serie.



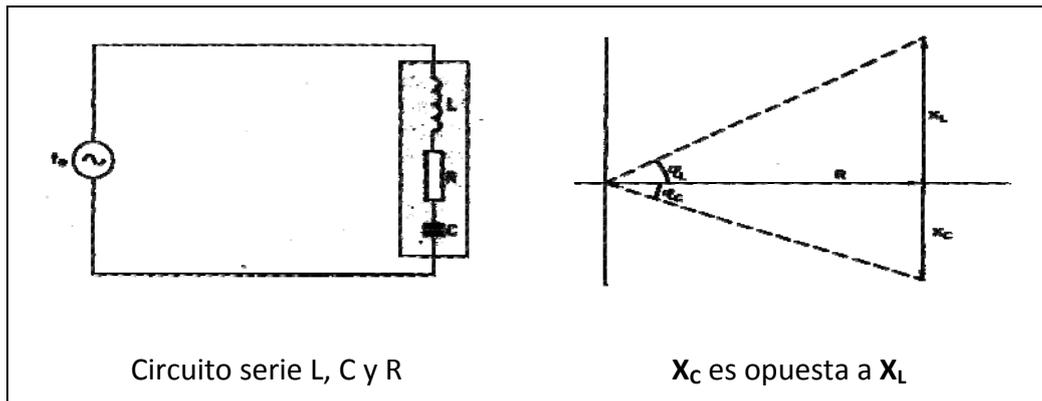
También la resistencia R y la reactancia X_C forman un triángulo rectángulo en el que se cumple $Z_T^2 = R^2 + X_C^2$

Una resistencia sola no modificaría la fase entre tensión alterna aplicada y la corriente que circula, pero en cambio, si añadimos un condensador en serie, su reactancia capacitiva adelantará la corriente en relación a la tensión, por lo que el resultado final será que circulará una corriente adelantada algo menos de 90 grados respecto a la tensión aplicada, menor al que se produciría si estuviera solo el condensador.

3.1.1.3 Circuito con condensador, bobina y resistencia en serie

Si imaginamos que la resistencia de una bobina es despreciable porque es solamente la pequeña resistencia del hilo de la bobina, podemos afirmar que el condensador pretenderá adelantar la corriente 90° , mientras que la bobina pretenderá retrasarla 90° .

Por tanto, si es mayor la reactancia inductiva de la bobina que la capacitiva del condensador, el circuito se comportará como una bobina y atrasará la corriente, pero si es mayor la reactancia capacitiva que la inductiva, el circuito se comportará como un condensador con una pequeñísima resistencia en serie.

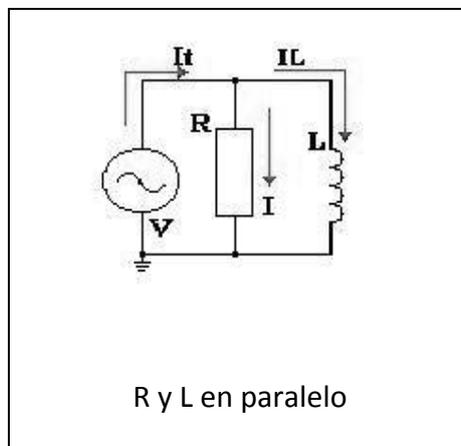


Un caso particular se produce cuando la reactancia inductiva de la bobina X_L y la reactancia capacitiva del condensador X_C son iguales. Esto se produce solamente para una determinada frecuencia de la tensión alterna aplicada que se llama frecuencia de resonancia. Como sus efectos en la corriente son opuestos sus reactancias opuestas se cancelan, de forma que solamente queda la resistencia interna de la bobina en serie como resultante de oposiciones producidas por los tres componentes.

La impedancia compleja Z de una resistencia, condensador y bobina en serie se escribe $Z = R + jX_L - jX_C$. En este caso en particular de la resonancia, cuando la reactancia de la bobina X_L es igual y opuesta a la reactancia del condensador X_C , ambas se cancelan y la impedancia resultante es únicamente $Z = R$. Esto se produce únicamente a una determinada frecuencia de resonancia.

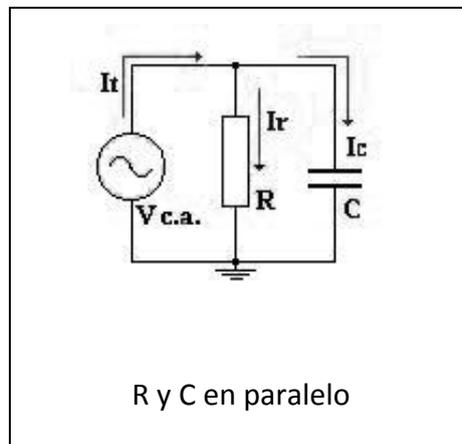
3.1.1.4 Circuito con bobina y resistencia en paralelo

La corriente que circule por el circuito será la suma de la corriente que pase por la resistencia y la que pase por la bobina. La corriente en la resistencia estará en fase con la tensión y la de la bobina estará retrasada prácticamente 90° de fase respecto a la tensión, de forma que la corriente suma de ambas tendrá un retraso intermedio menor de 90 grados.



3.1.1.5 Circuito con condensador y resistencia en paralelo

La corriente resultante será la suma de la corriente que pase por la resistencia y la corriente que pase por el condensador. La de la resistencia estará en fase con la tensión y la del condensador estará adelantada 90° respecto a la tensión, de forma que la suma de ambas corrientes tendrá un adelanto intermedio menor de 90 grados.

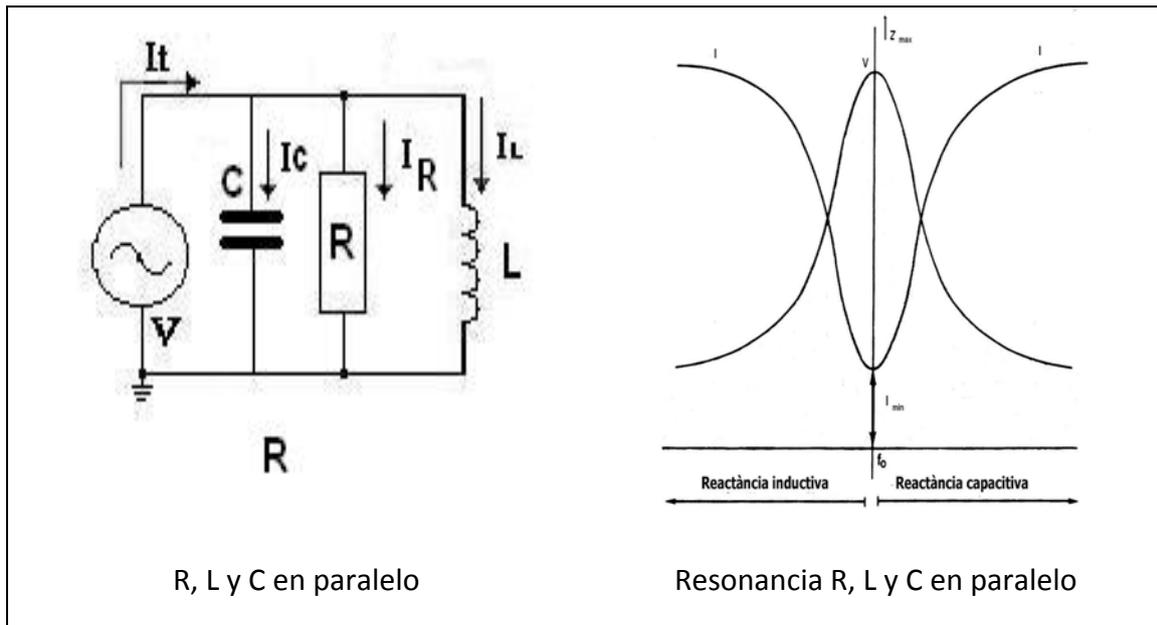


3.1.1.6 Circuito con condensador, bobina y resistencia en paralelo

Cuando se combinan condensador y bobina y resistencia en paralelo, circula una corriente que es suma de la corriente en la bobina que se retrasa 90° y de la que pasa por el condensador que adelanta 90° y la corriente en la resistencia que pulsa en fase.

Un caso particular se produce cuando la reactancia inductiva de la bobina y la reactancia capacitiva del condensador son iguales ($X_L = X_C$). Esto sólo se produce para una determinada frecuencia de la tensión alterna aplicada que se llama frecuencia de resonancia.

Sus efectos en las corrientes que pasan por condensador y bobina son opuestos y se anulan las dos corrientes opuestas, de forma que solamente queda la corriente que pasa por el tercer componente, la resistencia, que está en paralelo con ellos, mientras que el condensador y la bobina se comportan como una impedancia elevadísima en este caso.



La resultante de una impedancia infinita en paralelo con una resistencia R es también aquí solamente el valor de la resistencia, es decir, $Z = R$, y esto se cumple únicamente a la frecuencia que se llama frecuencia de resonancia de un circuito L-C resonante en paralelo.

3.1.2 Comportamiento de resistencias, condensadores y bobinas reales en altas frecuencias

Resistencias

Si la resistencia está formada por un hilo de cobre, al aumentar la frecuencia se nos manifiesta también el efecto pelicular o *skin*, que disminuye la sección conductora útil del hilo de cobre con la frecuencia, con lo que aumenta su resistencia.

Si además la resistencia está formada por un hilo enrollado, aparecerá también una reactancia inductiva que se incrementará con la frecuencia y, finalmente, las pequeñas capacidades entre espiras del arrollamiento pueden producir un camino capacitivo que cancela la inductancia al aumentarse la frecuencia.

Bobinas

En una bobina, al aumentar la frecuencia, por un lado el efecto pelicular en el hilo aumenta la resistencia de pérdidas y disminuye el Q de la bobina.

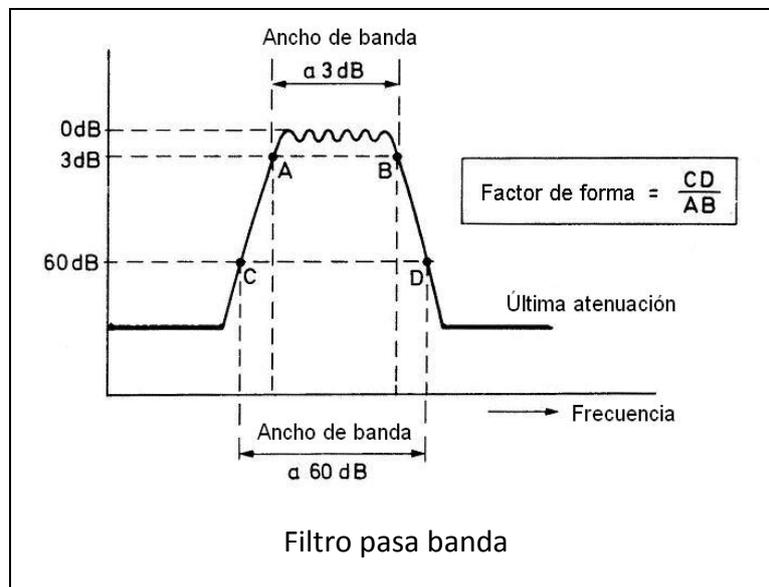
Por otro lado, la capacidad entre espiras hace aparecer una corriente y una reactancia capacitiva, que ocasiona que la reactancia inductiva disminuya con la frecuencia, así como el efecto inductivo de la bobina.

Condensadores

Al aumentar la frecuencia, llega un momento que la reactancia inductiva de las patillas del condensador empieza a ser apreciable y se manifiesta en contra de la reactancia capacitiva del condensador.

3.2 Filtros

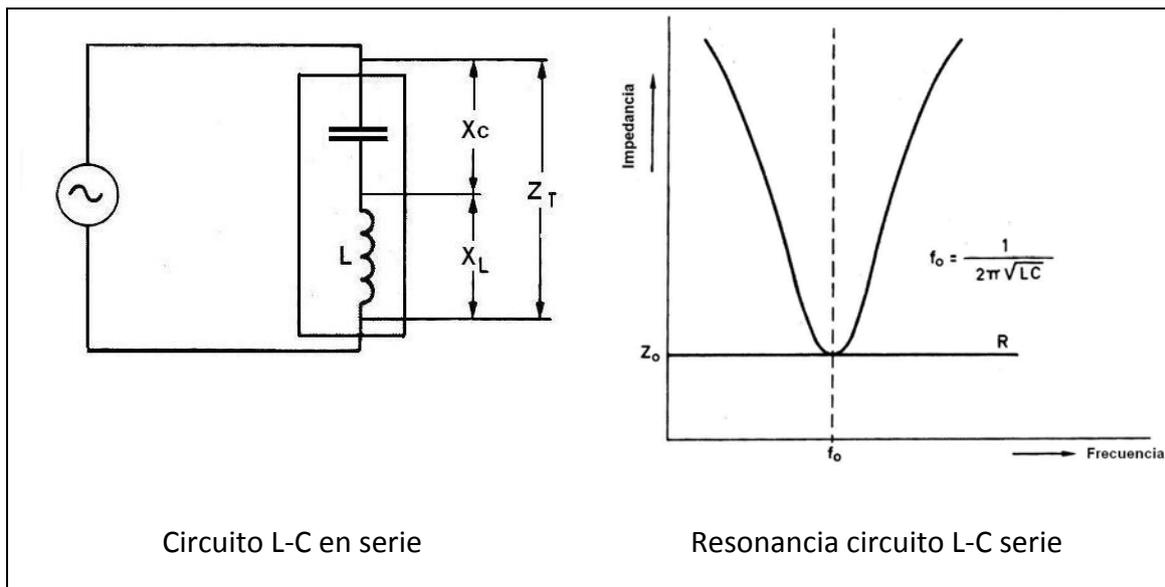
Un filtro nos sirve para seleccionar y favorecer algunas frecuencias en detrimento de otras; es decir, lo utilizamos para eliminar o atenuar una serie de frecuencias determinadas y dejando pasar a través del mismo unas frecuencias que son de nuestro interés, o derivando a masa unas frecuencias que queremos eliminar y dejando pasar las restantes.



3.2.1 Circuito resonante en serie y en paralelo. Característica en frecuencia. Frecuencia resonante. Factor de calidad de un circuito sintonizado.

3.2.1 a Circuito L-C resonante en serie

Una bobina y un condensador en serie (con un terminal de la primera unido a un terminal del condensador), uno a continuación de otro, forman un circuito que a una determinada frecuencia (en que se igualan la reactancia inductiva y la capacitiva $X_L = X_C$) entra en resonancia y presentan una impedancia casi nula al paso de esta frecuencia (prácticamente la pequeña resistencia óhmica R de la bobina), mientras que dificultan mucho más el paso de todas las demás.

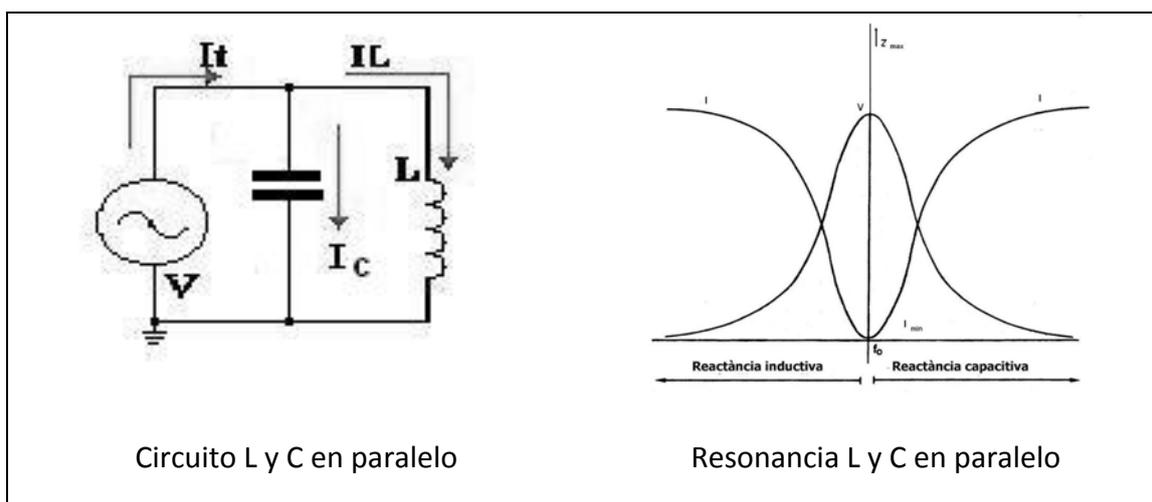


Puedes ver los efectos de la resonancia en serie de un circuito L-C en este vídeo:

<http://www.youtube.com/watch?v=NcY0MYyvG60>

3.2.1 b Circuito L-C resonante en paralelo

Una bobina y un condensador en paralelo (con sus dos terminales unidos dos a dos), forman un circuito que a una determinada frecuencia (en que se igualan la reactancia inductiva y la capacitiva porque $X_L = X_C$) entra en resonancia y se convierten en una **gran impedancia** al paso de esta frecuencia, mientras dejan pasar todas las demás.



La energía eléctrica oscila desde las cargas acumuladas en el condensador a la corriente que "carga" el campo magnético de la inductancia y a la inversa, de modo que esta oscilación de intercambio se mantiene cuando el circuito está en resonancia.

Podrás contemplar este fenómeno de la resonancia en el siguiente vídeo:

<http://www.youtube.com/watch?v=7R3bhrreZFO>

3.2.1 c Cálculo de la frecuencia de resonancia

Hemos visto que la frecuencia de resonancia, tanto de un circuito serie como la de un circuito resonante en paralelo L-C, es aquella frecuencia en la que se cumple que $X_L = X_C$.

Desarrollando la ecuación $X_L = X_C$ y sustituyendo sus valores respectivos, obtenemos que debe cumplirse:

$$2 \pi f_r L = 1 / (2 \pi f_r C)$$

con lo que operando obtenemos

$$f_r^2 = 1 / 4 \pi^2 LC$$

y sacando la raíz cuadrada del segundo término obtenemos que la frecuencia de resonancia es aquella en que se cumple:

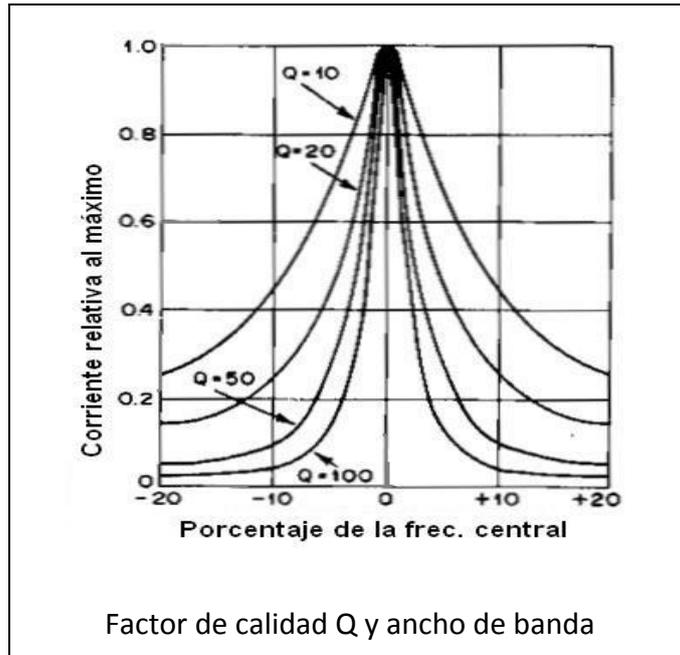
$$f_r = 1 / 2\pi\sqrt{LC}$$

3.2.1 d Factor de calidad de un circuito resonante

La calidad viene dada por las pérdidas del circuito resonante. Como el condensador no tiene pérdidas significativas, el factor de calidad viene determinado casi totalmente por la resistencia óhmica de la bobina. Así que el factor Q de calidad de un circuito resonante depende totalmente del factor de calidad Q de la bobina, que ya sabemos por haberlo visto en otras lecciones que viene dado por la relación entre la reactancia inductiva y la resistencia óhmica de la bobina.

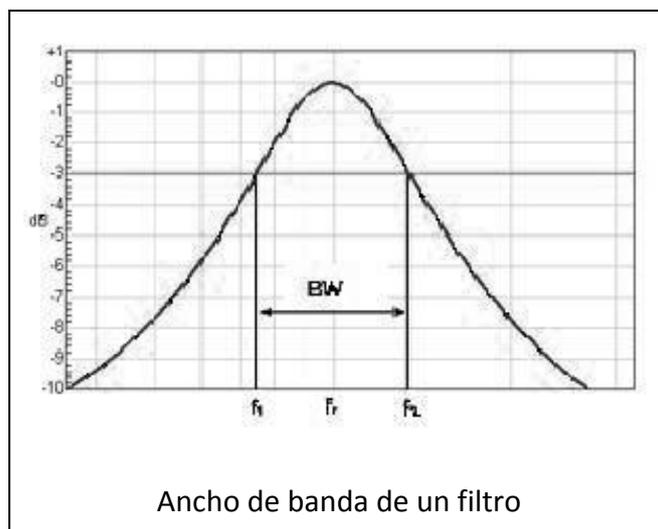
$$Q = X_L / r$$

Este Q es un número normalmente grande y, cuanto mayor es Q, mayor calidad tiene el circuito resonante y más aguda es la curva de resonancia. Se dice entonces que el circuito resonante es más selectivo, porque es más estrecho y deja pasar un ancho de frecuencias menor.



3.2.2 Ancho de banda

El ancho de banda de un circuito se define por las frecuencias superior e inferior que pasan bien por el circuito. Se considera que pasan bien aquellas frecuencias que quedan comprendidas entre las frecuencias f_1 y f_2 en las que ya se pierde la mitad de potencia (-3 dB) en relación a la que se atenúa a frecuencia de resonancia f_r del circuito.

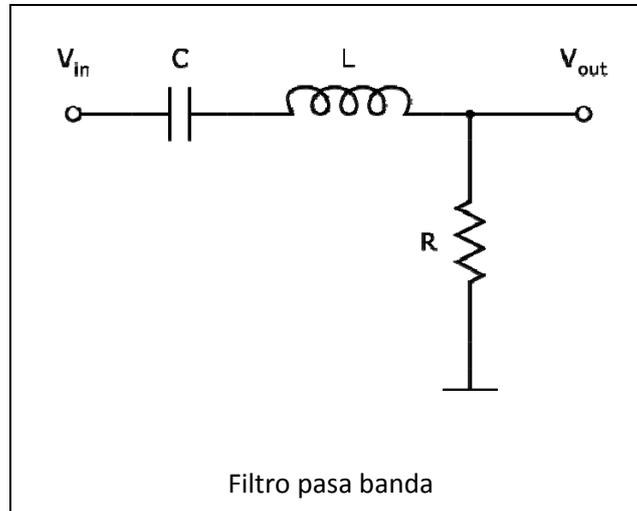


$$\text{BW (Band Width)} = f_2 - f_1 = f_r / Q$$

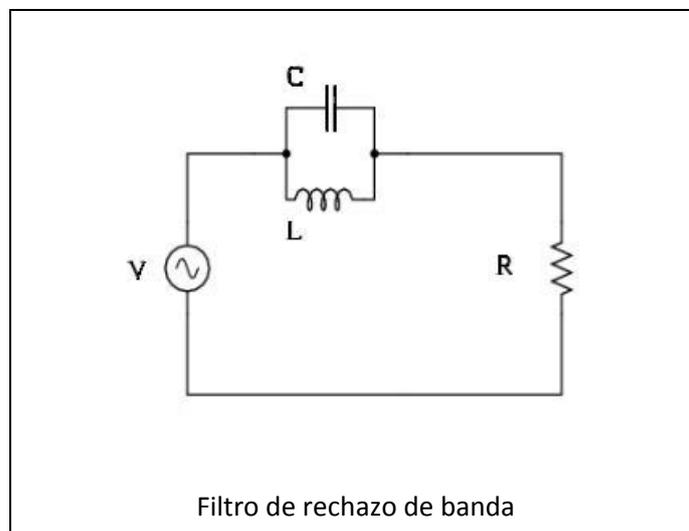
Se puede demostrar que **el ancho de banda** de un circuito resonante a -3 dB resulta de dividir la frecuencia de resonancia f_r por el **Factor de Calidad Q**.

3.2.3 Filtro pasa banda y filtro de rechazo de banda

Un filtro pasa banda es aquel que deja pasar bien una determinada banda de frecuencias y dificulta el paso de todas las demás.

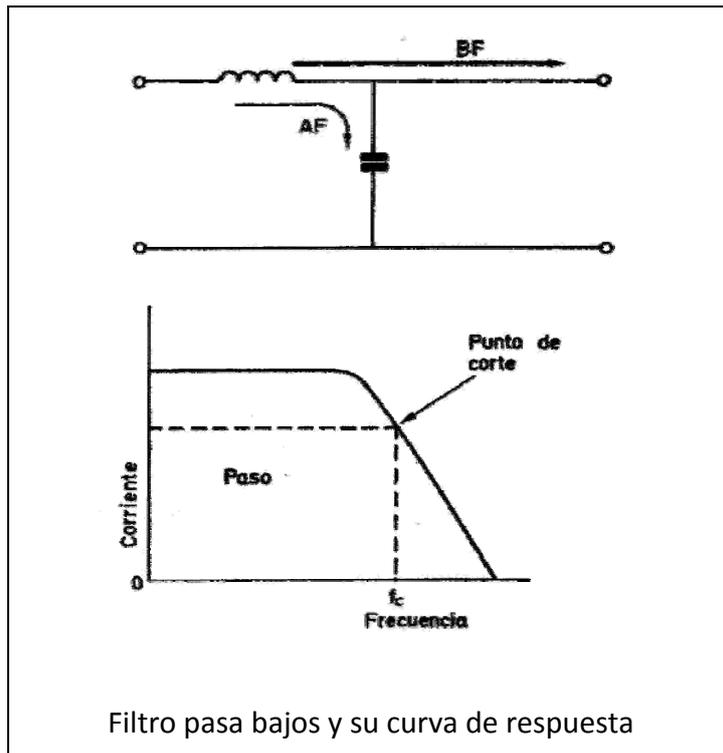


Un filtro de rechazo de banda es un filtro que impide el paso de una amplia gama de frecuencias que, por algún motivo, no nos interesa que pasen. Es justo todo lo contrario del filtro pasa banda.

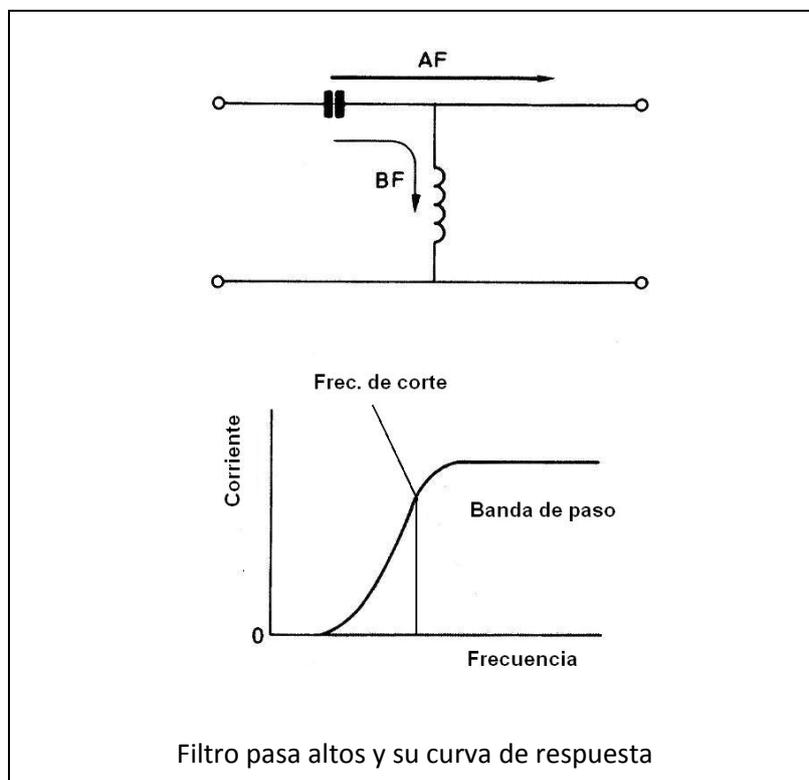


3.2.4 Filtro pasa bajos y pasa altos

Un filtro pasa bajos es un filtro que permite pasar bien las frecuencias más bajas y dificulta el paso de las frecuencias más altas a partir de una determinada frecuencia que se llama **frecuencia de corte**. A frecuencias mayores que la de corte, la amplitud de la señal alterna disminuye progresivamente con la frecuencia.



Un filtro pasa altos es un filtro que impide el paso de las frecuencias más bajas y permite que pasen bien las frecuencias más altas a partir de una **frecuencia de corte**. A frecuencias menores a la de corte, la amplitud de la señal sinusoidal es cada vez menor.



Se define como **frecuencia de corte** aquella frecuencia a la que la amplitud de la señal disminuye en 3 dB sobre la amplitud normal en la banda de paso.

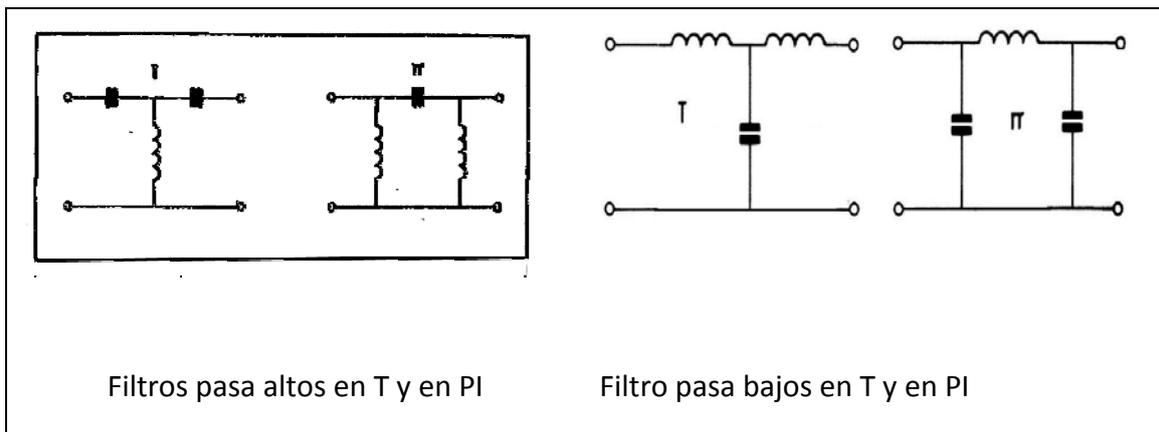
3.2.7 Filtros en PI y en T

Un filtro en PI es un filtro que tiene la forma de la letra π porque está formado por dos condensadores en paralelo al principio y final del filtro y una bobina en serie entre ambos. Tiene las propiedades de un filtro pasa bajos.

También el filtro en PI puede estar formado por dos bobinas en paralelo y un condensador en serie entre ambos y entonces tiene las propiedades de un filtro pasa altos

Un filtro en T es un filtro que tiene la forma de la letra T porque está formado por dos condensadores en serie al principio y final del filtro y una bobina en paralelo entre ambos. Tiene las propiedades de un filtro pasa altos.

También el filtro en T puede constar de dos bobinas en serie y un condensador a masa entre las dos bobinas, con lo que tendría una configuración en T, pero funcionando como filtro pasa bajos.

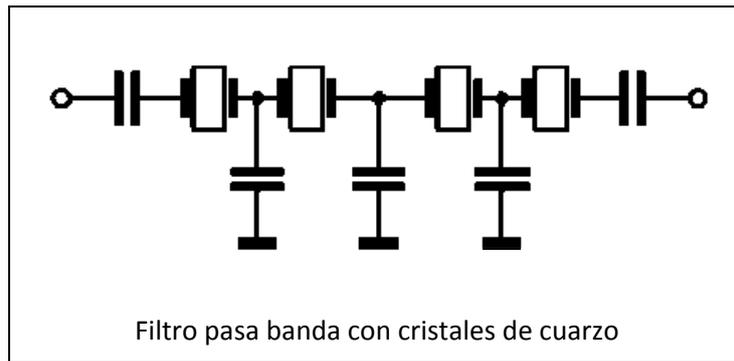


3.2.8 Filtro de cristal de cuarzo

El cristal de cuarzo tiene propiedades de un circuito resonante de muy alto Q y eso le permite ser utilizado para realizar **filtros pasa banda** que necesitan ser muy selectivos. Es decir, necesitan tener una forma con paredes muy abruptas.

La calidad de un filtro se mide por el llamado factor de forma que consiste en medir su ancho de banda de las frecuencias en las que ya produce una atenuación de -3 dB y compararlo con el ancho de banda de las frecuencias pasantes con una atenuación de -60 dB.

FF = BW (-60dB) / BW (-3 dB) y siempre da una cifra >1

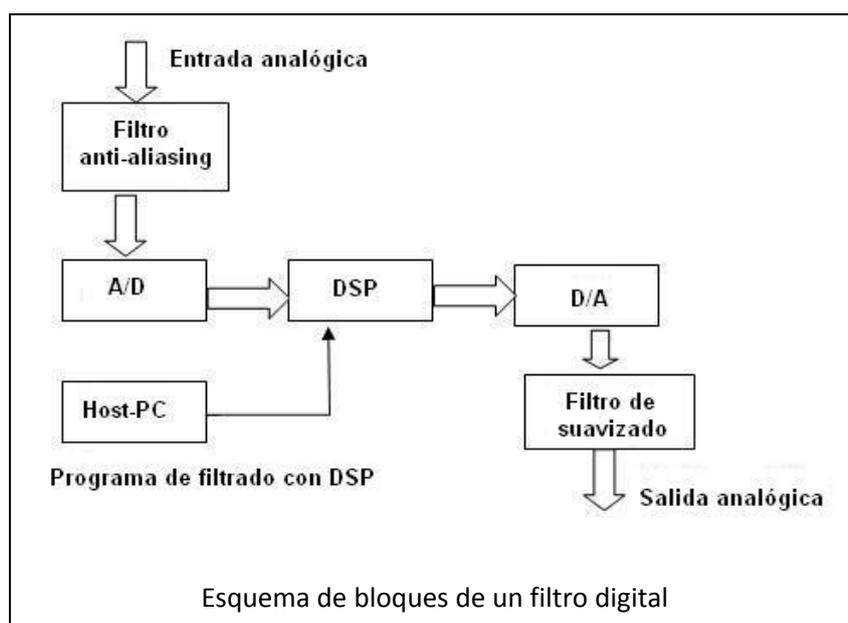


Con cristales de cuarzo se pueden conseguir filtros más estrechos con factores de calidad de 2-3, muy superiores a los que se consiguen con bobinas y condensadores (5-10).

Sus principales aplicaciones están en la supresión de la banda lateral no deseada en los transmisores de banda lateral única y proporcionar la selectividad adecuada a las frecuencias intermedias de los receptores.

3.2.9 Filtros digitales

Un filtro digital es un filtro que opera con señales numéricas a las que se les aplica un algoritmo matemático de filtraje y que permite obtener filtrados sofisticados mucho más complejos, complicados y precisos que los que se pueden realizar por medio de circuitos analógicos L-C o de cristal, por medio de los chips llamados DSP (*Digital Signal Processor*). Estos chips son microprocesadores con un juego de instrucciones muy reducido, pero capaces de ejecutarlas con grandísima velocidad, muy superior a la de las CPU de los ordenadores.



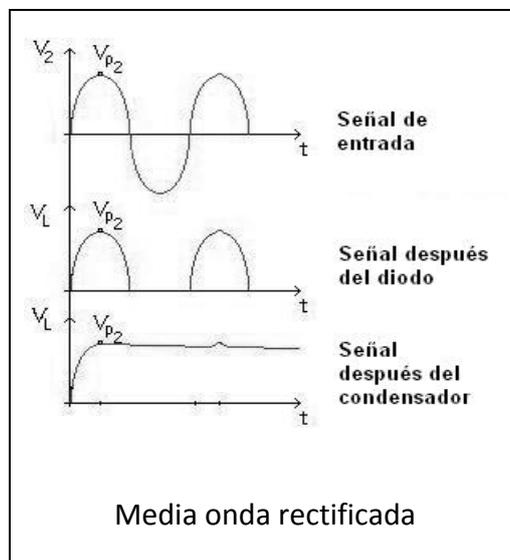
Para poder utilizar los filtros digitales, previamente se han de convertir las señales analógicas a digitales con un conversor A/D (Analógico a digital) y, luego del procesado digital realizado por el chip DSP (el auténtico filtrado digital), el resultado numérico se vuelve a convertir en una señal analógica por medio de un sintetizador al que se llama convertidor D/A (Digital a Analógico).

3.3 Fuentes de alimentación

Los amplificadores de todo tipo y otros circuitos electrónicos activos necesitan tensiones y corrientes continuas de polarización que podríamos obtener de pilas y baterías, pero que es más barato, fácil y práctico obtenerlas de la tensión alterna de la red, por medio de lo que llamamos fuentes de alimentación que convierten las tensiones y corrientes alternas en tensiones y corrientes continuas con los valores de tensión adecuados.

3.3.1 Circuitos de rectificación de media onda, onda completa y rectificador en puente de diodos

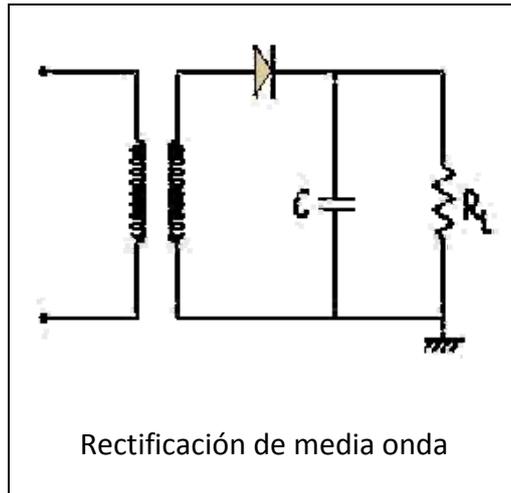
Para obtener corrientes continuas, utilizamos como rectificadores los diodos semiconductores o los diodos de vacío. Ambos sólo dejan pasar la corriente en un solo sentido: en los diodos de vacío, cuando el polo positivo se conecta al ánodo y el negativo al cátodo, y en los diodos semiconductores cuando el polo positivo se conecta al semiconductor P y el negativo al semiconductor N del diodo..



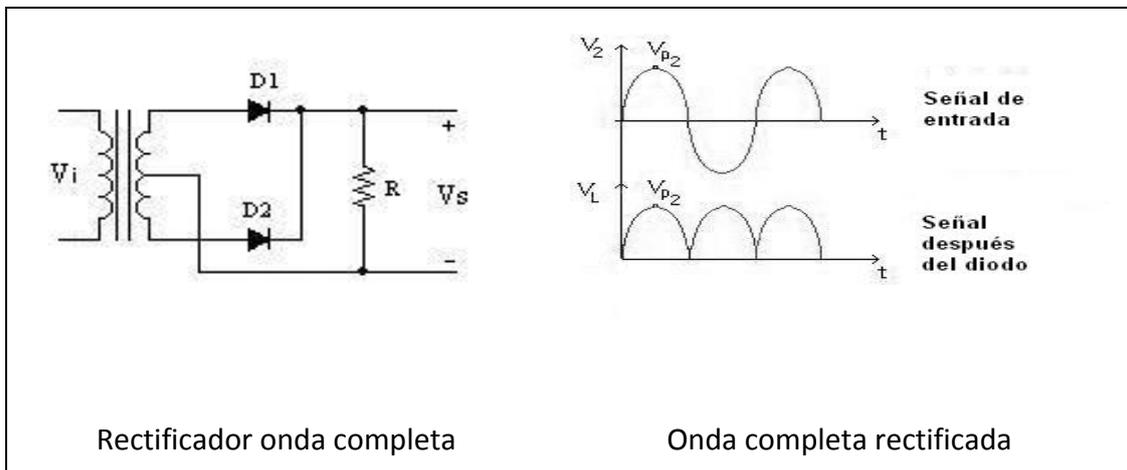
De la media onda con ciclos positivos y negativos, sólo dejamos pasar los ciclos positivos mediante algún sistema de diodos rectificadores que sólo dejan pasar las corrientes en un solo sentido.

Circuitos rectificadores con diodos:

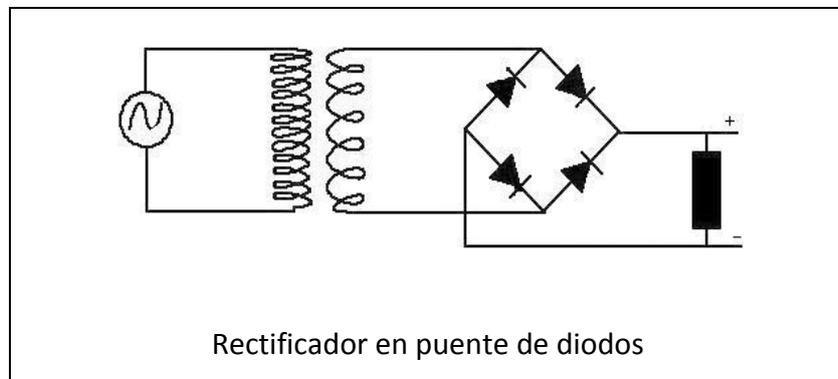
En primer lugar, tenemos que el más sencillo es el rectificador de **media onda con un solo diodo**. Exige un filtro más complejo para quitar el zumbido de la media onda.



En segundo lugar viene el rectificador de **onda completa con dos diodos**, que utiliza un transformador con doble bobinado y toma intermedia.



En tercer lugar está el rectificador **en puente con cuatro diodos**, que también es de onda completa, pero utiliza un transformador más sencillo con un solo secundario.

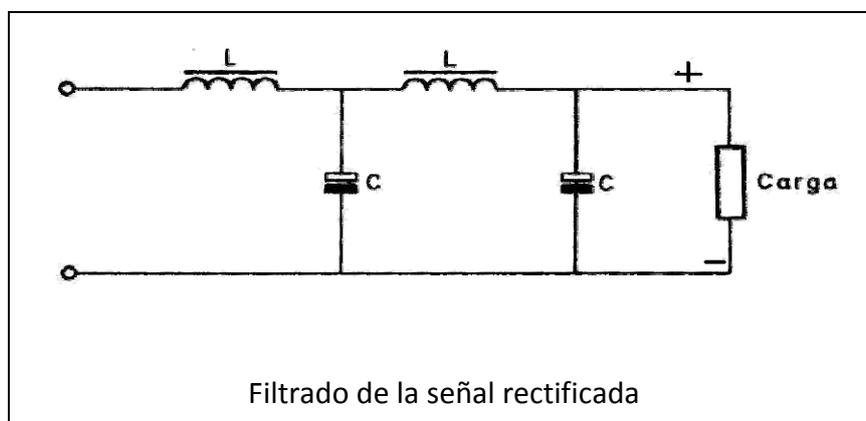


3.3.2 Circuitos de filtrado

Se necesita un sistema de filtrado porque la tensión rectificada que sale de los diodos es pulsante y necesitamos filtrarla por medio de condensadores en paralelo.

El condensador de filtro se carga cuando la tensión de la media onda rectificada aumenta y se descarga cuando disminuye la tensión de la media onda a cero, rellenando los huecos que deja la onda rectificada.

Cuando la rectificación es de media onda, tenemos un zumbido provocado por el pulso de 50 Hz de la media onda positiva rectificada que debemos suprimir. Cuando la rectificación es de onda completa, tenemos un zumbido de 100 Hz que debemos eliminar con un filtrado.



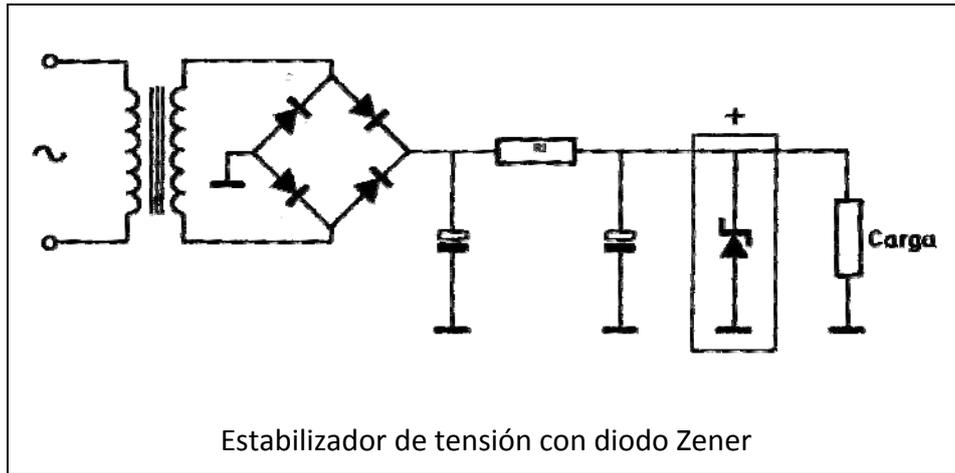
Normalmente se utilizan condensadores electrolíticos de gran capacidad que se cargan hasta el pico del máximo de la media onda o de la onda completa y apenas se descargan entre picos, rellenando los huecos y dejando una tensión continua filtrada sin zumbido apreciable.

3.3.3 Circuitos estabilizadores de tensión en fuentes de bajo voltaje

Generalmente, necesitamos estabilizar la corriente continua para que no nos varíe con las variaciones de tensión de la red y para que no varíe con las variaciones de la carga de los amplificadores.

Para conseguirlo, uno de los medios más simples es la conexión de un diodo Zener en paralelo con su polaridad invertida respecto a la de la fuente, que debe disponer de una tensión superior a la de avalancha del diodo, de modo que éste conduzca, pero a través de una resistencia de caída de tensión.

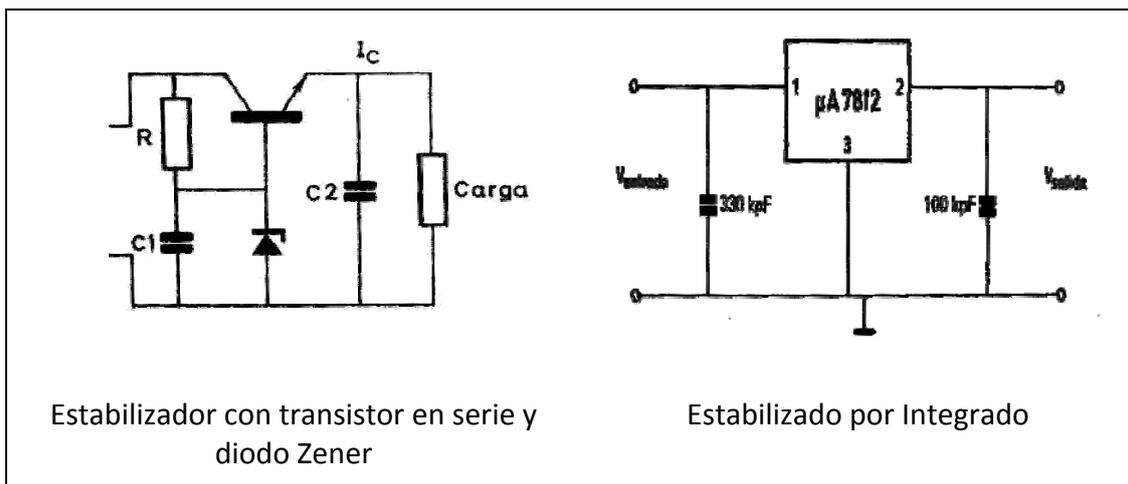
El diodo Zener en este estado proporciona una tensión muy constante entre sus patillas, aunque sólo estabiliza para consumos de corriente muy pequeños de la carga.



3.3.3.b Fuentes reguladas dinámicamente

Para mejorar la regulación ante las variaciones de consumo de la carga, comparamos la tensión de salida con una tensión de referencia (normalmente proporcionada por un diodo Zener) y utilizamos las diferencias para regular la conducción de unos transistores de potencia en serie con la corriente, de modo que proporcionen una tensión lo más constante posible a la carga conectada. Esto proporciona una regulación dinámica más activa, pues introducimos un elemento que mejora la regulación de la tensión por el factor Beta de la ganancia del transistor.

También se fabrican circuitos integrados especializados en regular la tensión que llevan internamente todos los elementos de comparación para mantener constante la tensión de salida.

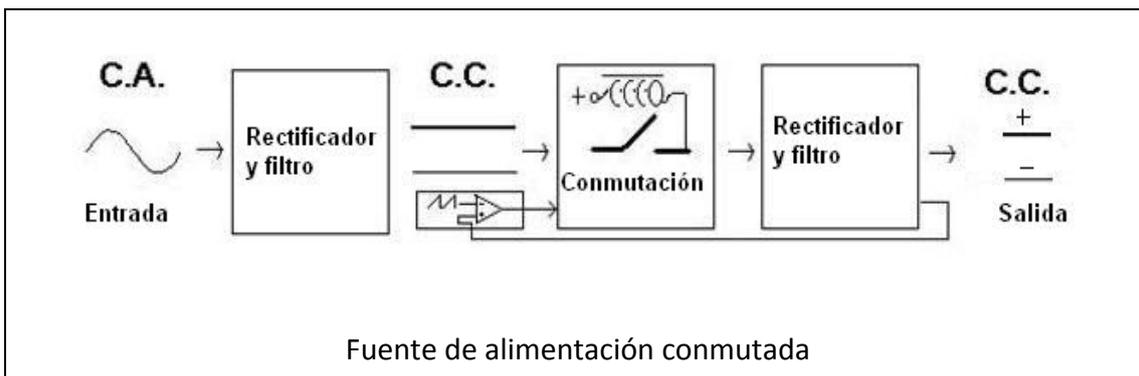


Puedes aprender más sobre fuentes de alimentación, mirando el vídeo:

<https://www.youtube.com/watch?gl=NG&feature=plcp&hl=en-GB&v=IZGh86L38b4>

3.3.4 Fuentes de alimentación conmutadas, aislamiento y compatibilidad electromagnética

Las fuentes de alimentación conmutadas contienen un oscilador de ondas cuadradas con frecuencias mucho más elevadas que la de la red (50 Hz) y que pueden oscilar entre 20 kHz y 100 kHz. Esto les permite utilizar transformadores o autoinducciones con núcleos de ferrita que son mucho más ligeros y pequeños que los núcleos de hierro dulce de los transformadores de red, y de este modo se consiguen varias tensiones continuas de salida que pueden proporcionar corrientes muy elevadas, con mucho menor peso y volumen.



Las frecuencias de la onda cuadrada de conmutación generan gran cantidad de armónicos que, si no están debidamente filtrados, aparecen como ruido en las bandas de radioaficionado a intervalos múltiplos de su frecuencia de conmutación, como por ejemplo cada 70 kHz. Tienen que estar muy bien filtradas y desacopladas para que no radien ruidos de conmutación en todas las bandas de radioaficionado.

3.4 Amplificadores

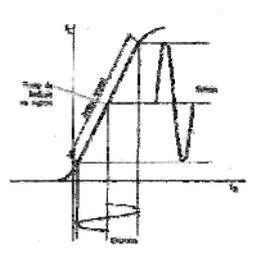
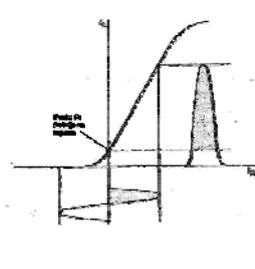
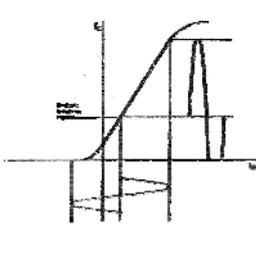
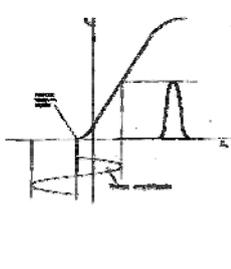
La función principal de un amplificador es aumentar la potencia de una señal de cualquier tipo, pero de forma que aparezca fielmente ampliada a la salida, con la menor deformación posible, cualidad que denominamos linealidad de un amplificador.

Para conseguir que la amplificación sea lineal, deberíamos hacer funcionar el transistor o la válvula en una zona de su curva de amplificación que sea lo más recta posible, pero eso no nos proporciona una buena eficiencia en la amplificación y puede ser que nos interese sacrificar la linealidad, para obtener una amplificación más eficiente.

Así pues, atendiendo al punto de polarización del amplificador, los amplificadores se clasifican en cuatro clases:

Las cuatro clases de amplificación clásicas son: Clase **A**, clase **B**, clase **AB** y clase **C**.

Aquí vemos la curva de respuesta de corriente de colector de un transistor en función de la corriente de entrada, para las cuatro clases de amplificación, según se polarice la corriente media del transistor en reposo, en el punto que se llama Punto de Trabajo.

			
Amplificación en clase A	Amplificación en clase B	Amplificación en clase AB	Amplificación en clase C

La clase de amplificación con mayor linealidad es la clase A, en la que el transistor o válvula conduce durante el 100% del ciclo de la señal amplificada, aunque desgraciadamente eso hace que sea muy poco eficiente, pues su eficiencia está por debajo del 50%.

La clase de amplificación con mayor eficiencia es la clase C en la que el transistor o válvula sólo conduce durante un 25-30% del ciclo, y gracias a esto consigue una eficiencia del 79-80%. Pero es la que tiene peor linealidad, pues distorsiona mucho la forma de la señal

3.4.1 Amplificadores de baja frecuencia (BF) y radiofrecuencia

Las bajas frecuencias o señales de audio deben amplificarse con la máxima fidelidad, por lo que como amplificadores de audiofrecuencia deben utilizarse siempre los amplificadores de clase A, que son los más lineales, con el fin de conseguir la mayor fidelidad posible en la amplificación.

En cambio, para la amplificación de radiofrecuencia muchas veces, aunque no siempre, se pueden utilizar amplificadores clase C de mejor rendimiento, porque aunque amplifiquen sólo una pequeña parte del ciclo de la onda, los circuitos resonantes L-C reconstruyen el resto del ciclo de la señal de salida. Es la más utilizada en los equipos de FM.

Sin embargo, para la amplificación de señales de Banda Lateral Única (BLU o SSB) es indispensable utilizar los amplificadores polarizados en clase A o, como mucho, los de clase AB utilizados a pares en contrafase.

3.4.2 Ganancia

Normalmente la ganancia de un amplificador se mide en decibelios, una unidad logarítmica, que sirve para comparar la potencia de salida con la potencia en la entrada del amplificador. Al cociente de potencias le aplicamos logaritmos para obtener belios y el resultado se multiplica por 10 para obtener decibelios.

$$G \text{ (dB)} = 10 \times \log (W_s/W_e)$$

La potencia, aparte de medirla en vatios, también se puede medir en decibelios relativos a una potencia de referencia. Esta potencia de salida, si la referimos a 1 vatio, la expresaremos en dBW (que significa dB referidos a 1 W), aunque para potencias pequeñas es mejor referirla a 1 milivatio en dBm (que significa dB referidos a 1 mW) y entonces la potencia se proporciona en dBm.

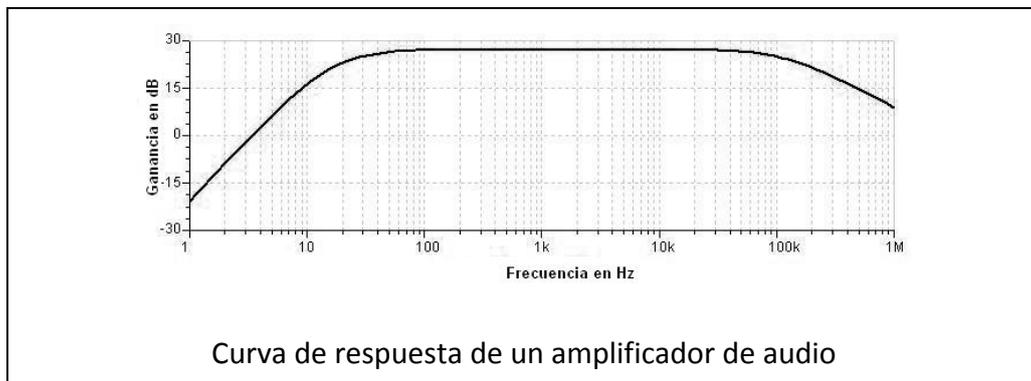
$$G(\text{dBW}) = 10 \times \log [W_s \text{ (vatios)}] - 10 \log (1\text{vatio}) = 10 \log [W_s \text{ (vatios)}]$$

Y también

$$G \text{ (dBm)} = 10 \times \log [W_s \text{ (milivatios)} - 10 \log (1\text{milivatio})] = 10 \log [W_s(\text{milivatios})]$$

3.4.3 Características de amplitud/frecuencia y ancho de banda

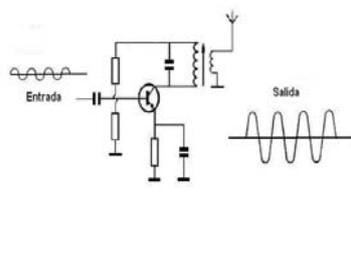
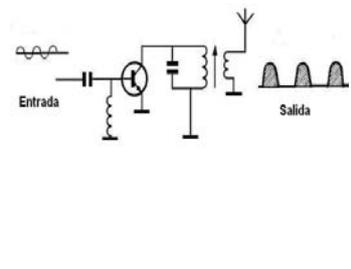
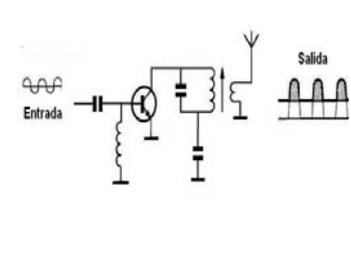
La ganancia de un amplificador se puede representar en un gráfico ganancia/frecuencia, gráfico que nos indicará el ancho de banda del amplificador. Éste se define por la diferencia entre las dos frecuencias en las que la ganancia ya disminuye 3 dB en relación a la máxima central. Siempre se considera que, dentro de este margen de 3 dB, la curva de respuesta es suficientemente plana para reproducir por igual todas las frecuencias dentro del ancho de banda.



3.4.4 Polarización en clases A, B, AB y C

Un amplificador funciona en clase A cuando la corriente de polarización y la amplitud máxima de la señal de entrada poseen valores tales que hacen que la corriente de salida circule durante todo el ciclo de la señal de entrada.

El transistor polarizado en clase B amplifica solamente la mitad del ciclo, es decir, durante uno solo de los semiciclos, es decir, el 50% del ciclo. Normalmente solo se utiliza en la combinación de dos transistores amplificadores en contrafase, para que cada uno amplifique medio ciclo linealmente y sin problemas de transición.

		
Amplificador clase A	Amplificador clase B	Amplificador clase C

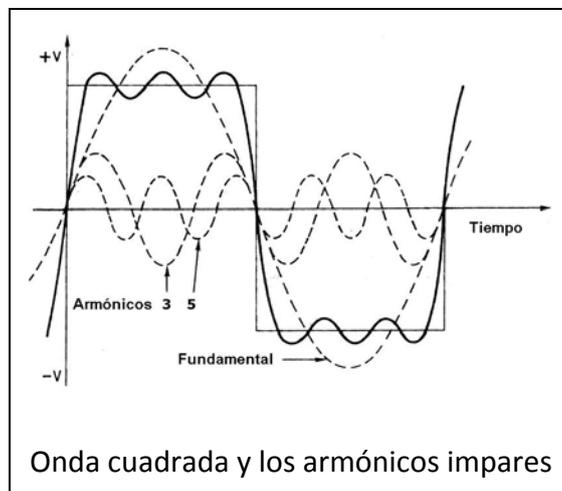
La polarización de los transistores en un amplificador clase AB se fija para que los transistores conduzcan algo más de medio ciclo o sea por lo menos durante el 60% del ciclo. Normalmente sólo se utilizan en la combinación de dos transistores amplificadores en contrafase, para que cada uno amplifique medio ciclo linealmente y sin problemas en la transición a la otra mitad.

El transistor polarizado en clase C es un amplificador de potencia que está polarizado de forma que sólo conduzca durante un cuarto del ciclo o sea alrededor de un 25% del ciclo. Sólo se utiliza para amplificar radiofrecuencia en FM y en AM.

3.4.5 Armónicos y distorsión por intermodulación, sobrecarga de etapas amplificadoras

La intermodulación es la distorsión que se produce cuando dos o más señales atraviesan simultáneamente un amplificador no lineal. La falta de linealidad ocasiona que las señales se mezclen entre ellas, generando otras frecuencias sumas y restas de las señales de entrada, así como la mezcla de cada una de ellas con los armónicos de las otras.

La sobrecarga es la distorsión que se produce cuando las señales de entrada alcanzan el nivel máximo que es capaz de manejar un amplificador, lo que se llama el nivel de saturación, con lo que sus crestas quedan recortadas, convirtiéndose en unas ondas cuadradas con gran cantidad de armónicos.



Los armónicos también son la distorsión producida por la amplificación poco lineal de una señal y que ocasiona la aparición simultánea de frecuencias múltiples de la frecuencia de la señal de entrada.

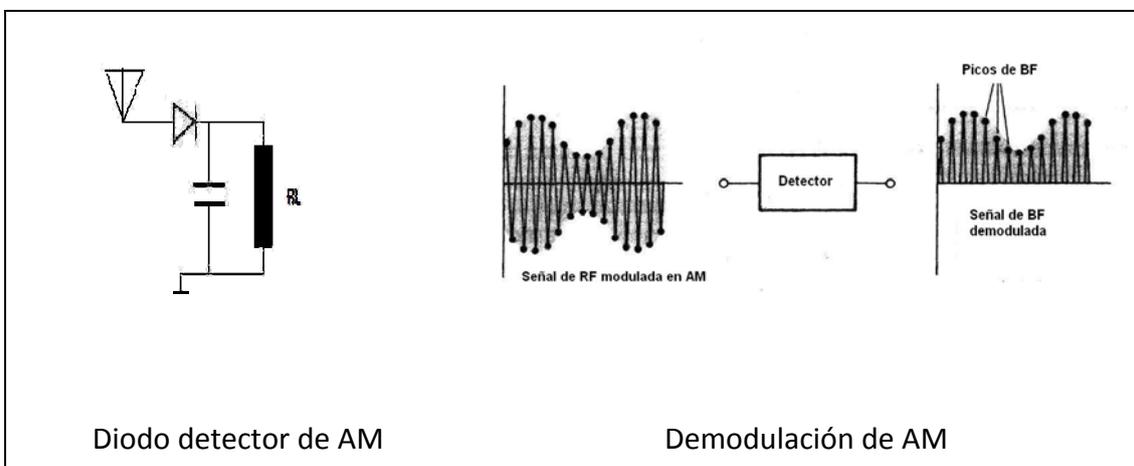
3.5 Detectores y demoduladores

¿Es lo mismo detección que demodulación?

No exactamente. Se llama detección exclusivamente a la demodulación de una señal de AM, con la que obtenemos una tensión proporcional a la señal de RF recibida, mientras que el concepto de demodulación se aplica a la recuperación de la información de cualquier señal modulada, cualquiera que sea el sistema utilizado para incorporarle la información.

3.5.1 Detectores de AM. El diodo como detector, el detector de envolvente

La detección de AM consiste generalmente en recuperar la envolvente de RF mediante un diodo y un condensador que rectifican y recuperan la señal alterna de alta frecuencia y la convierten en una tensión continua variable que sigue la amplitud de la señal recibida, con lo que recuperamos una tensión proporcional a la modulación de amplitud o AM.



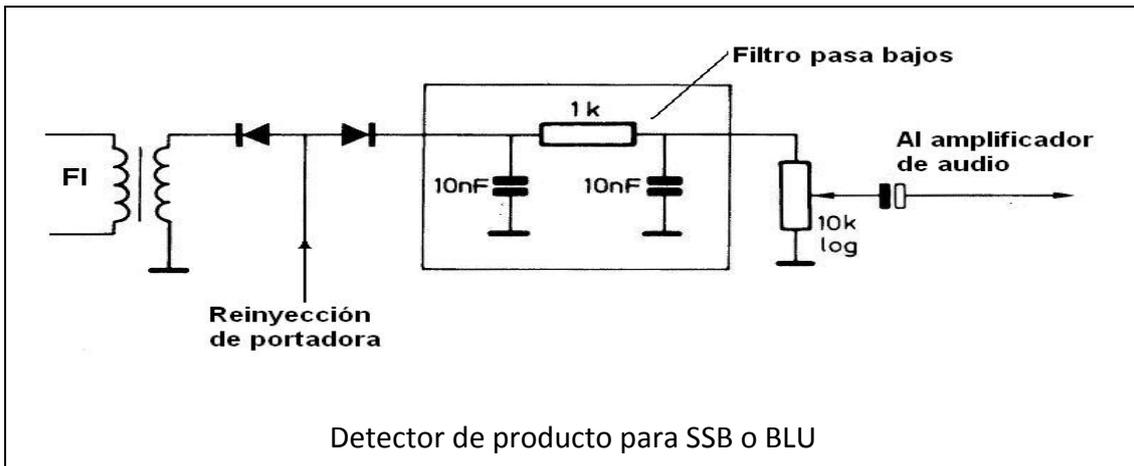
Necesitamos solamente un diodo detector y un condensador para que éste se cargue a la tensión de pico de RF para recuperar la tensión envolvente de la señal modulada y que seguirá fielmente su amplitud.

3.5.2 Detectores de producto y osciladores de batido

Un detector de producto se utiliza para la recepción de señales de banda lateral única o BLU. Consiste en un mezclador de frecuencias que realiza la mezclad, por un aparte,

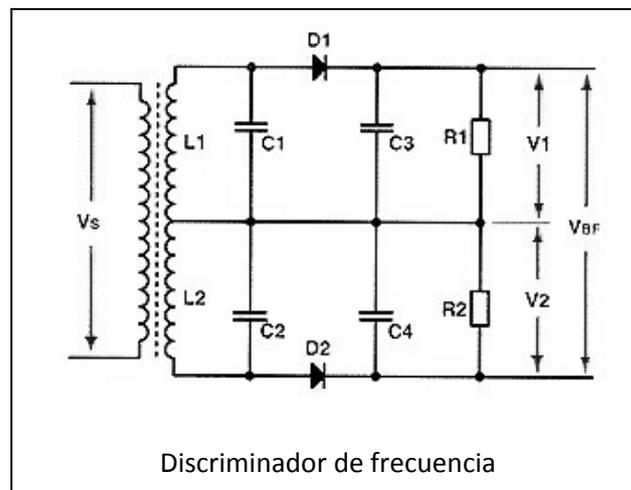
la señal de radiofrecuencia recibida (la banda lateral) y, por otra parte, la frecuencia que genera un oscilador, llamado también oscilador local, que se reinyecta en el lugar exacto en que estaba la portadora suprimida.

Esta mezcla da lugar a la aparición de las frecuencias suma y diferencia de las dos señales. La suma se desprecia, pero se aprovecha la diferencia, que es una señal de audio, que luego se amplificará y reproducirá la modulación original que generó la banda lateral en el emisor.



3.5.3 Detectores de FM: Discriminador

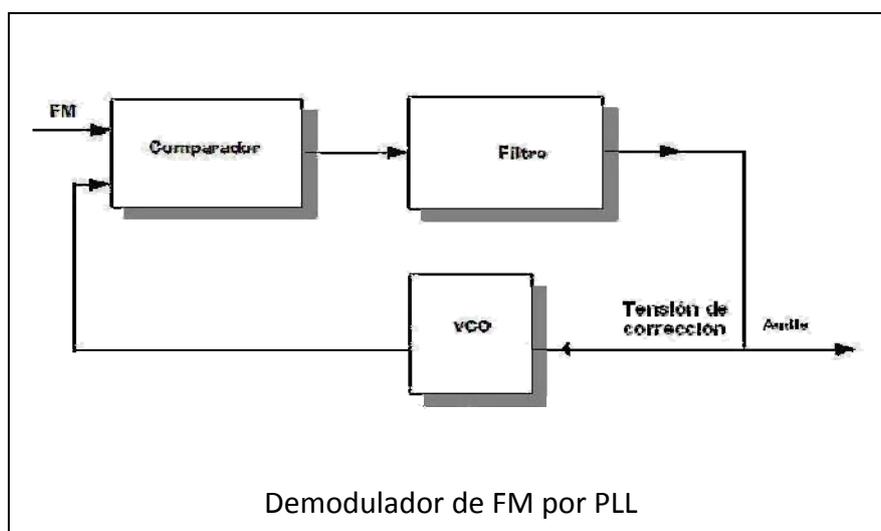
Un discriminador de FM consta de dos circuitos resonantes en serie que resuenan en dos frecuencias, una por encima y otra por debajo de la desviación máxima de la señal modulada en FM, de modo que, al moverse la señal de FM entre estas dos frecuencias, las tensiones detectadas mediante un diodo en cada uno de los dos circuitos resonantes, se suman y dan una tensión que será proporcional a la desviación de la frecuencia central de la señal de FM.



3.5.3.b Detector de FM: Circuito P.L.L.

Un demodulador de FM por PLL (del inglés *Phase Locked Loop* = Bucle por enclavamiento de fase) está compuesto por un oscilador VCO (de *Voltage Controlled Oscillator*), o sea un oscilador controlado por tensión, un comparador de frecuencias y un filtro de audio.

El comparador de frecuencias se utiliza para que el oscilador siga exactamente las desviaciones de la frecuencia de la señal recibida y, en consecuencia, proporciona una tensión de corrección en el comparador, tensión que corrige la frecuencia del oscilador, y que sigue exactamente la modulación de frecuencia original de la señal recibida.

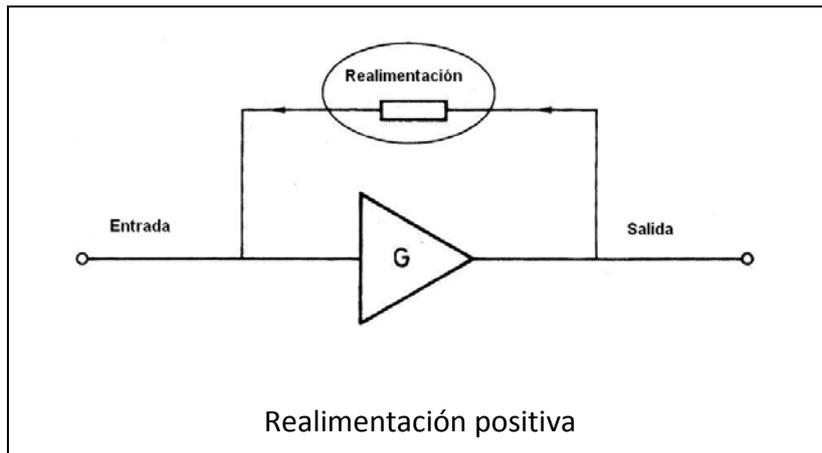


3.6 Osciladores

Un oscilador es simplemente un circuito que genera normalmente una señal sinusoidal de la frecuencia deseada y con amplitud constante, aunque se aplica también a un generador de señales con cualquier forma no sinusoidal, como triangular, cuadrada o en forma de diente de sierra.

3.6.1 Realimentación, oscilación intencionada y no intencionada

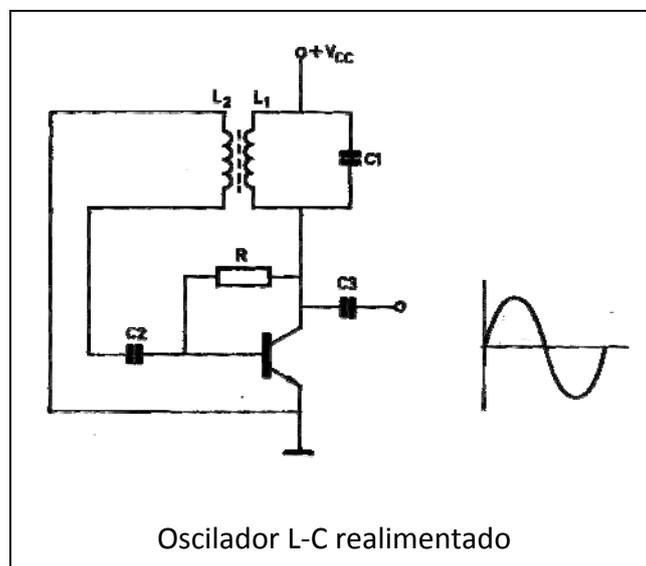
Para que una oscilación se mantenga constante, es necesario disponer de un amplificador que proporcione una realimentación positiva, que reinyecte parte de la salida a la entrada del amplificador para compensar las pérdidas en los circuitos resonantes.



Se producen oscilaciones no intencionadas cuando, por un defecto de diseño, en un amplificador se produce una realimentación positiva no deseada y el amplificador se pone a oscilar en contra de nuestra voluntad. Hay que evitarlas a toda costa y, para ello, debemos alejar y blindar la salida del amplificador tanto como sea posible de la entrada.

3.6.2 Oscilador L-C

Un oscilador L-C está formado por una bobina y un condensador en paralelo. Su funcionamiento se basa en el almacenamiento de energía en forma de carga eléctrica en el condensador y en forma de campo magnético en la bobina.

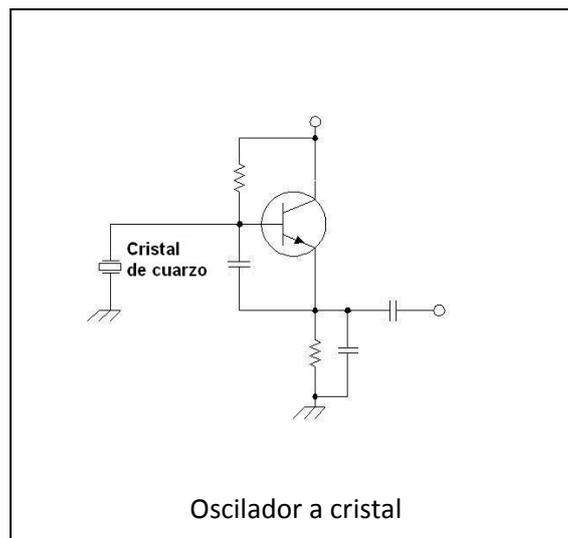


A partir de la conexión a una tensión inicial, la bobina y el condensador en paralelo se intercambian la energía recibida alternativamente de uno a otro. Este vaivén produce una oscilación sinusoidal que se amortiguaría rápidamente (por las pérdidas en la resistencia interna de la bobina), si no lo realimentamos con la misma oscilación,

previamente amplificada por medio de un dispositivo amplificador, ya sea un transistor bipolar, un FET, un MOSFET o una válvula.

3.6.3 Osciladores controlados a cristal y osciladores de sobretono

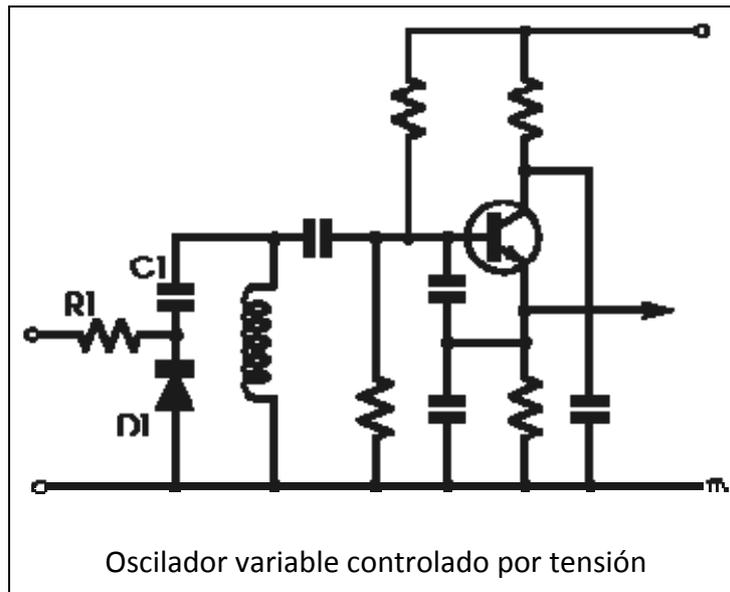
Como el cristal de cuarzo resuena mecánicamente (por el llamado efecto piezoeléctrico) como una bobina y un condensador en serie o en paralelo con un factor de calidad Q muy alto y con una gran estabilidad de frecuencia, se puede utilizar en osciladores en sustitución del circuito L-C paralelo o serie.



También un cristal puede hacerse oscilar mecánicamente en modos múltiples de su frecuencia natural de oscilación piezoeléctrica, y estos modos de funcionamiento se llaman sobretonos.

3.6.4 Osciladores controlados por tensión (VCO)

Se puede controlar la frecuencia de un oscilador por medio de la utilización de un diodo varicap, un diodo especial polarizado inversamente, que se comporta como un condensador cuya capacidad varía con la tensión. La tensión inversa produce un vacío de portadores de carga en la zona de la unión del diodo y la amplitud de la zona sin portadores depende de la tensión inversa aplicada. Contra mayor tensión inversa aplicada, menor capacidad en el varicap. De este modo se puede variar la capacidad en paralelo de un circuito oscilante LC y modificar su frecuencia de resonancia y, en consecuencia, su frecuencia de oscilación natural.



3.6.5 Ruido de fase

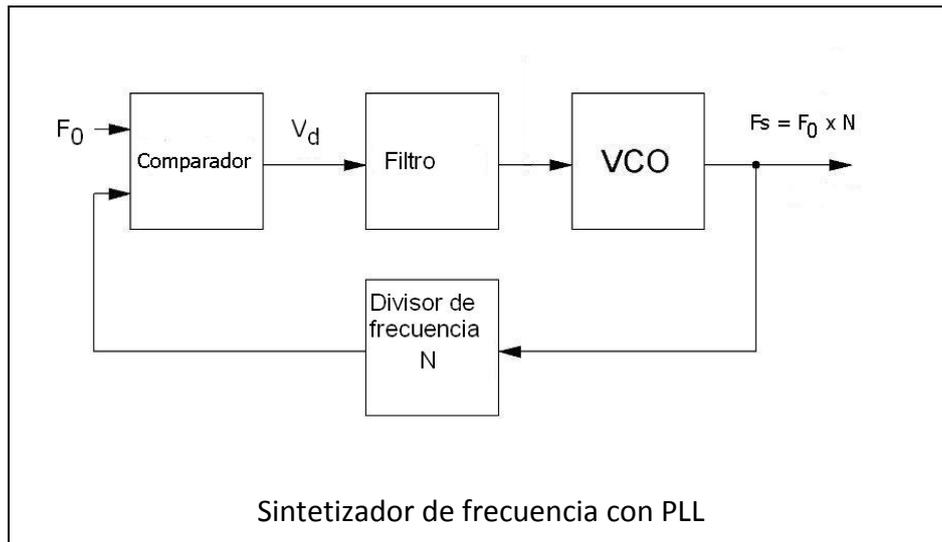
La frecuencia sinusoidal generada por un oscilador a primera vista parece sinusoidal pura, pero si la miramos bien con una lupa superpotente, observaremos que tiene ciertas irregularidades que se deben a pequeñas irregularidades de las corrientes electrónicas y que se superponen a la oscilación principal en lo que se llama ruido de fase del oscilador.

Eso es un problema, pues hay que tener en cuenta que toda amplificación posterior o cualquier mezcla con otra señal, amplificará también el ruido de fase que contenga la señal de un oscilador y lo añadirá al resultado de cualquier mezcla, haciendo imposible su eliminación posterior. Por tanto minimizar el ruido de fase es un objetivo primordial de diseño de un oscilador.

El ruido de fase se mide comparando la amplitud del ruido en decibelios con la amplitud de la señal sinusoidal de la oscilación generada y se especifica diciendo, por ejemplo, que el ruido aleatorio de *fase* del oscilador está a -100 dB de la máxima amplitud de la oscilación generada.

3.7 Circuitos sintetizadores de frecuencia (PLL). Lazo de control de comparación de fase. Sintetizador con divisor programable.

Para realizar un sintetizador de frecuencias PLL, necesitamos comparar la frecuencia de salida generada por un oscilador sinusoidal controlado a tensión por un varicap, convenientemente dividida por un divisor programable, con una frecuencia de referencia F_0 dada por un oscilador a cristal de gran estabilidad y generando una tensión correctora V_d que hace variar la frecuencia del oscilador variable VCO a varicap. Al variar las cifras del divisor N , variamos la frecuencia deseada de salida F_s a un múltiplo N deseado de la frecuencia de referencia F_0 .



3.8 Circuitos con procesadores digitales de señal (DSP)

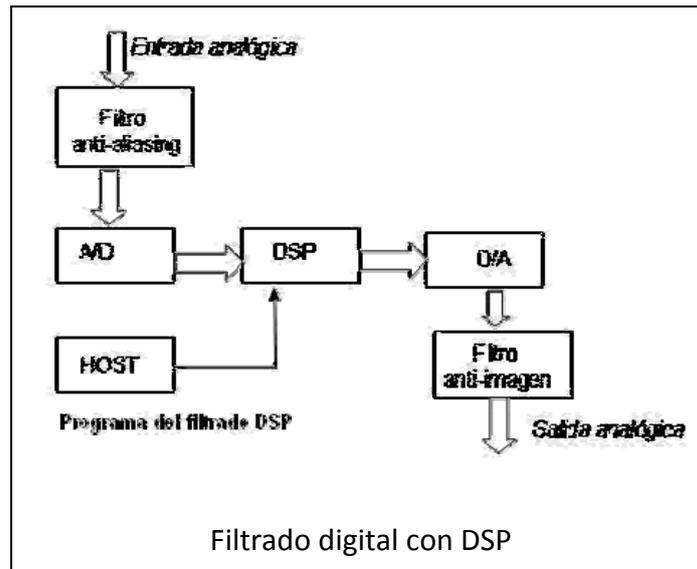
Un microprocesador DSP (del inglés *Digital Signal Processor*) es un chip con un juego de instrucciones mucho más reducido y simple que una CPU (*Central Processor Unit*) de un ordenador, pero que es capaz de realizar unas pocas operaciones matemáticas a velocidades muy superiores a las de una CPU.

Esto le permite procesar señales de audiofrecuencia digitalizadas en las tarjetas de sonido de los ordenadores personales y actualmente incluso procesar señales de radiofrecuencia directamente digitalizadas en los receptores SDR (Software Designed Receiver).

3.8.1 Filtros digitales

Es un filtro que opera con señales numéricas a las que se les aplica un algoritmo matemático de filtraje y que permite obtener prestaciones muy superiores a los analógicos utilizando los chips llamados DSP (*Digital Signal Processor*).

Para utilizarlos, previamente se han de convertir las señales analógicas a digitales (numéricas) por medio de un conversor A/D (Analógico a digital), que toma muestras de la señal con una elevada frecuencia de muestreo y, después del procesado digital por el chip DSP (filtrado digital), el resultado numérico se vuelve a convertir en una señal analógica que se sintetiza en un convertidor D/A (Digital a Analógico).



3.8.2 Topología de los filtros digitales

Las prestaciones de los filtros digitales dependen de la frecuencia de muestreo y del tamaño del buffer que utilizamos para procesar la señal y de los algoritmos utilizados. Para conseguir unos flancos de un filtro digital muy verticales, hace falta analizar la señal con una gran resolución temporal, es decir, poniéndola en un almacén muy largo (buffer) para estudiar su evolución, pero esto aumenta el tiempo necesario para el procesado y produce un retardo considerable en proporcionar el resultado.

También si utilizamos una frecuencia de muestreo alta, tendremos gran cantidad de información sobre la señal, pero necesitaremos un buffer (almacén) más grande, y tardaremos mucho más tiempo en el procesado.

Así que si queremos obtener mejor resolución y mejor filtrado, debemos utilizar la menor frecuencia de muestreo posible y el buffer (almacenado) más grande posible, siempre que necesitemos que el retardo debido al procesado (latencia) no aumente excesivamente.

Si quieres comprender mejor cómo se realiza la conversión de señales analógicas en digitales, puedes ver el siguiente vídeo:

<https://www.youtube.com/watch?v=T0cfhryNxKM>

3.8.3 Transformada de Fourier (DFT, FFT)

La transformada de Fourier es un algoritmo matemático que nos sirve para analizar el espectro de una señal cualquiera digitalizada que evoluciona en el tiempo y descomponerla en sus componentes frecuenciales, de forma que podamos determinar su despliegue en el espectro de frecuencias.

Esto es lo que nos permite la transformada de Fourier, es decir, la (*Discreet Fourier Transform* o Transformada discreta de Fourier) y la FFT (*Fast Fourier Transform* o Transformada rápida de Fourier), que nos permiten pasar de una señal analógica

digitalizada que varía en un eje de tiempos, o sea en el dominio temporal, a ver la misma señal en un dominio frecuencial o sea ver su espectro de frecuencias desplegado en un eje de frecuencias.

Si quieres ver mejor cómo se realiza el proceso de análisis de una señal para ver su espectro, te recomendamos que veas el vídeo:

<https://www.youtube.com/watch?v=xnn8T8zaBoU>

Te explicamos estos conceptos porque, mediante este procesos, los modernos receptores SDR (*Software Defined Radios* = radios definidos por Software) permiten visualizar en la pantalla en tiempo real las emisoras que hay presentes en un amplio espectro de frecuencias, pues se consigue que analicen el espectro de todas las señales recibidas y nos lo muestren en la pantalla, con lo que vemos todas las emisoras activas.

3.8.4 Sintetizadores digitales de señal (DDS)

Un sintetizador directo DDS es un generador de la señal que queremos obtener de manera digital, entrándole un valor numérico de la frecuencia deseada.

El sintetizador calcula todos los valores de cada fracción de tiempo de una onda uno por un método matemático, para luego reconstruir y proporcionar intervalo a intervalo, punto a punto, la amplitud de la señal analógica deseada, usando lo que se llama un convertidor digital/analógico.

La calidad y estabilidad de la señal obtenida dependerá de la estabilidad y bajo ruido de fase del oscilador de referencia patrón que marca los tiempos del sintetizador.

