

CURSO INTERACTIVO

Diploma

de

Operador

Radioaficionado

TEMA 1

Teoría eléctrica, electromagnética y radioeléctrica

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 comunicéis a la dirección:

<radioclub@salle.url.edu>

TEMA 1: Teoría eléctrica, electromagnética y radioeléctrica

1.1 Conductividad y el átomo

En este apartado vamos a explicar las bases de la electricidad, concretamente en qué se basa la conductividad eléctrica de ciertos materiales, los conductores, que permiten el paso de la electricidad por ellos.

Pero antes debemos comprender a fondo en qué consiste la electricidad y, para ello, debemos empezar explicando la estructura que tiene toda la materia, es decir, sus dos componentes básicos: átomos y moléculas.

El átomo y la molécula

Toda la materia está formada por partículas idénticas lo más pequeñas posibles que se clasifican en dos tipos. Por una parte, están los elementos simples (como el hidrógeno H) formados por átomos idénticos e iguales y, por otra parte, tenemos las sustancias compuestas (como el agua H₂O) formadas por las moléculas idénticas, que a su vez están formadas por determinadas combinaciones de diferentes átomos de elementos simples.

Si dividimos un átomo en sus componentes, por ejemplo, partimos un átomo de hidrógeno, dejaremos de tener hidrógeno, para tener protones y electrones, sus componentes. Ya no tendremos hidrógeno. Por eso decimos que el átomo de hidrógeno es la partícula más pequeña posible de hidrógeno.

Si dividimos una molécula en sus componentes (átomos), por ejemplo, una molécula de agua (H₂O), dejaremos de tener agua para tener dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno, tres átomos o elementos simples.

Átomos -> *elementos simples*

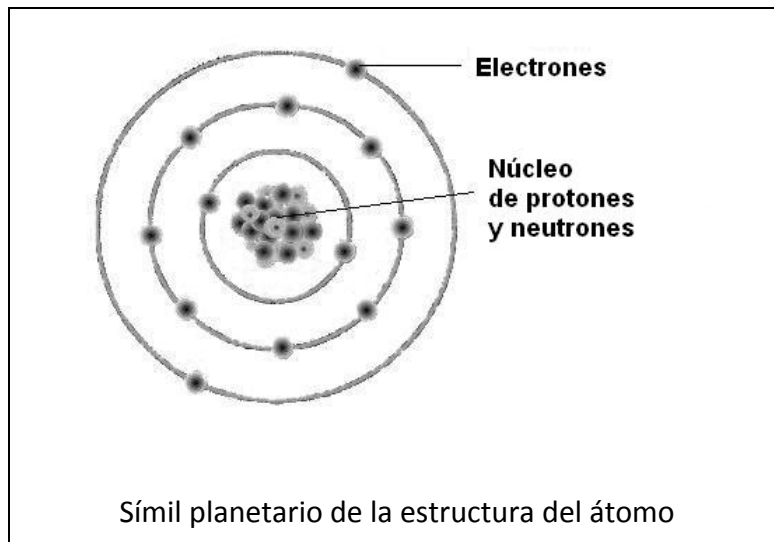
Moléculas -> *sustancias compuestas*

Algunas veces los elementos simples también se presentan en la naturaleza en grupos de átomos idénticos agrupados de alguna forma en moléculas. Por ejemplo, el hidrógeno, se encuentra siempre en forma de molécula H₂ como se puede ver en este vídeo.

<http://www.youtube.com/watch?v=FUKEx1IGpQ&feature=fvsr>

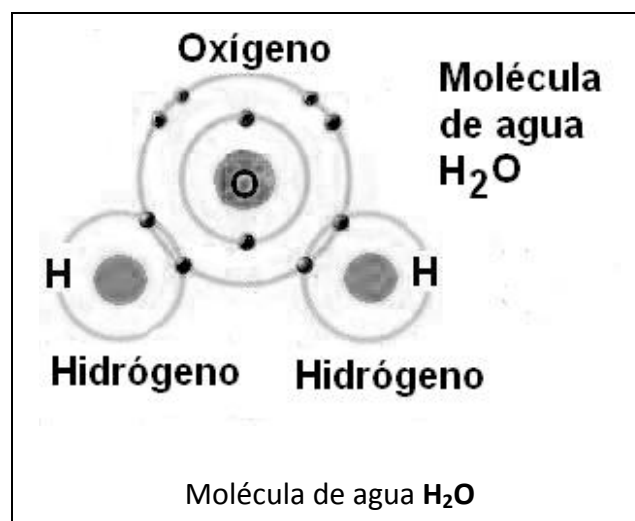
1.1.1.1 Partes del átomo

Un átomo de cualquier elemento simple está formado por un núcleo, en el que se encuentra un número fijo de protones (con carga positiva) y de neutrones (sin carga), y rodeado por una nube del mismo número exacto de electrones con carga negativa que de protones con carga positiva. Los electrones se mueven alrededor del núcleo de una forma parecida a la de los planetas alrededor del Sol.



1.1.1.2 La molécula

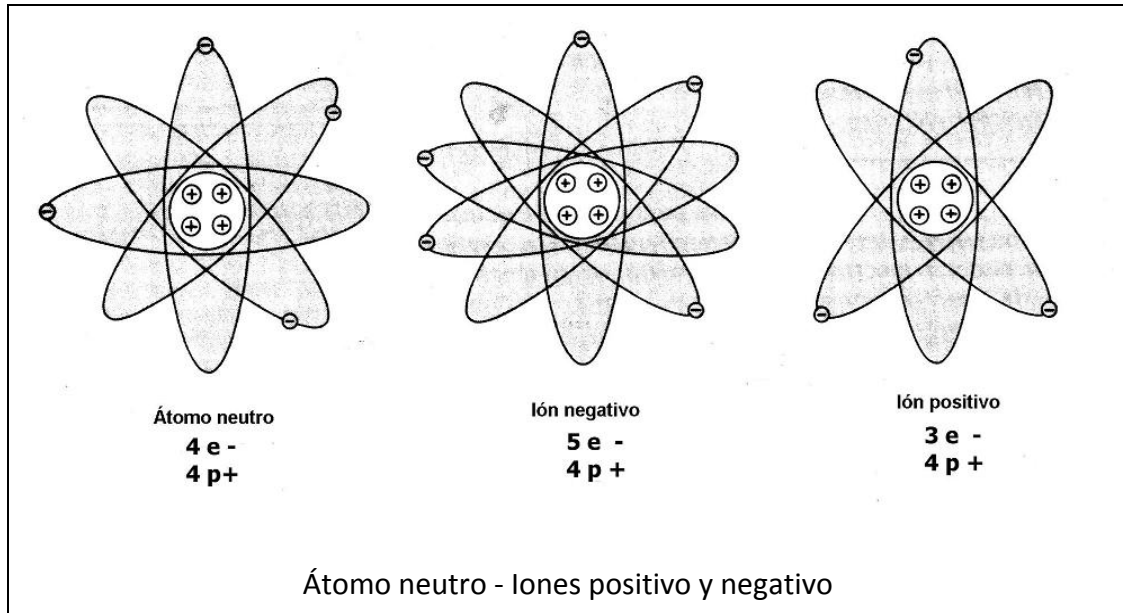
La partícula más pequeña posible de una sustancia compuesta como el agua se llama molécula y está formada por 2 átomos de hidrógeno y uno de oxígeno (H_2O). Otro ejemplo de sustancia compuesta sería el mármol, formado por moléculas de carbonato cálcico (CO_3Ca) y que constan de 1 átomo de carbono, 3 de oxígeno y 1 átomo de calcio.



Aquí tenemos un vídeo en que se nos explica cómo es la molécula de agua:
<http://www.youtube.com/watch?v=NDyCd0cVAwQ&feature=related>

1.1.1.4 Los iones

En estado normal, un átomo tiene el mismo número de electrones cargados negativamente que de protones cargados positivamente y su carga total es nula, es neutro. Pero si un átomo pierde un electrón, queda cargado positivamente y se convierte en un ión positivo.



Del mismo modo, si un átomo neutro (que tenía el mismo número de electrones en órbitas que de protones en el núcleo) gana un electrón a su alrededor, queda cargado negativamente y se convierte en un ión negativo.

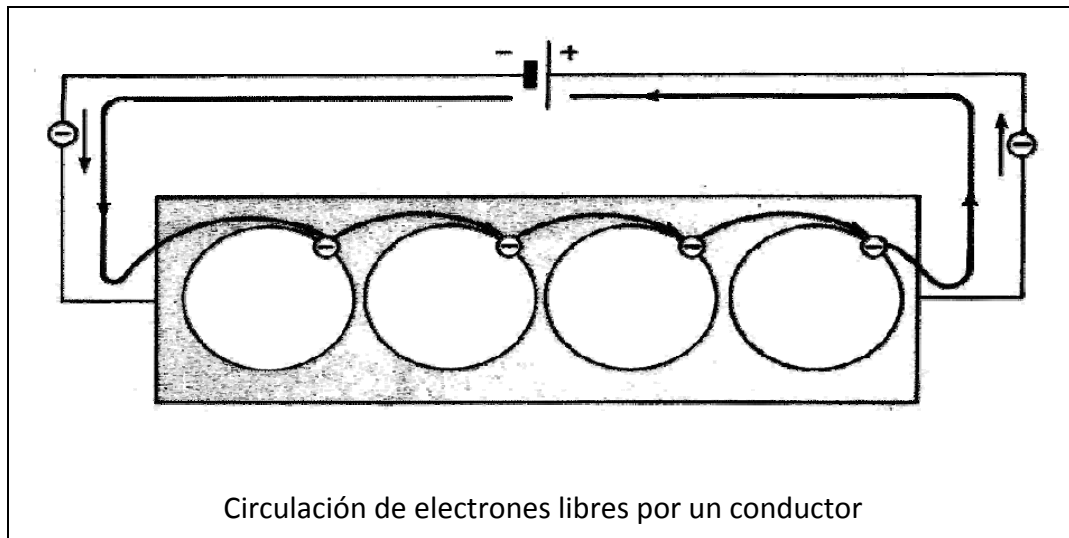
Como las cargas eléctricas de signo opuesto se atraen, en este vídeo podremos ver que la atracción entre iones de signo opuesto permite formar moléculas de sal común (ClNa) que están unidas o enlazadas con el llamado enlace iónico:

[http://www.youtube.com/watch?v= BsIF3FVYEK&feature=related](http://www.youtube.com/watch?v=BsIF3FVYEK&feature=related)

1.1.1.5 Conductividad

Llamamos conductividad a la propiedad que tienen algunas sustancias, a las que llamamos metales, por la que permiten a los electrones desplazarse por su interior saltando de un átomo y molécula a otro átomo o molécula vecina sin apenas dificultad.

Podemos decir que es como si los átomos de los metales (cuando son elementos simples) o sus moléculas (cuando son sustancias compuestas) compartieran los electrones de la última órbita.. A este tipo de unión se le llama enlace metálico.



Aquí tenemos un vídeo en el que podemos ver cómo permite el movimiento de electrones el enlace metálico de los metales:

<http://www.youtube.com/watch?v=5aBHrcv-fh4>

1.1.1.6 Conductores, semiconductores y aislantes

Conductores

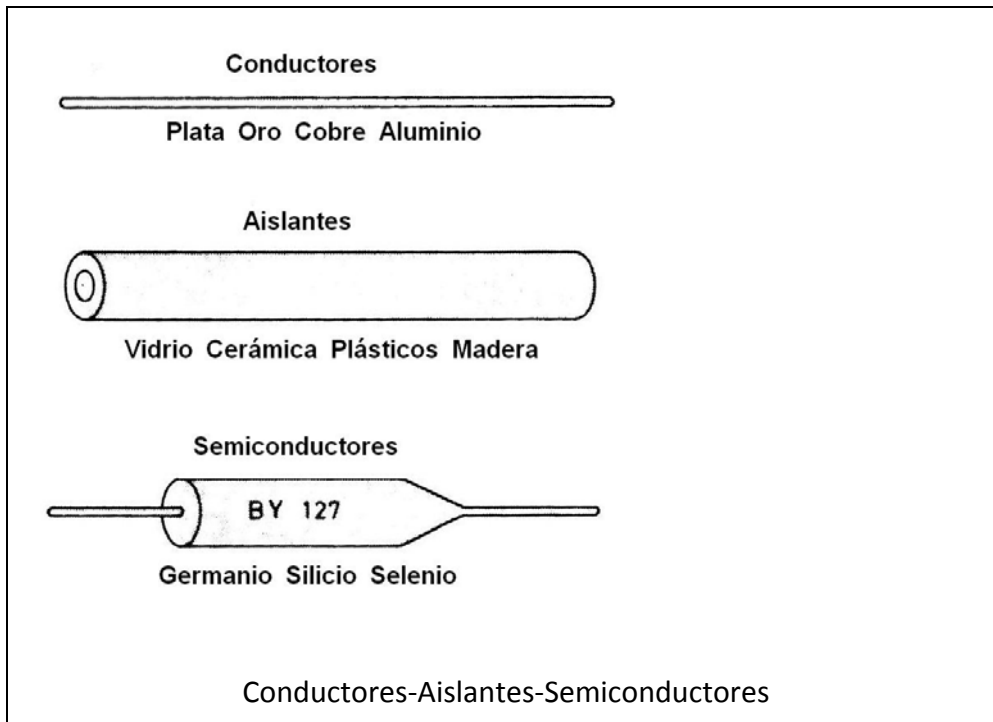
Los átomos y las moléculas de los metales están enlazados entre ellos de tal forma que los átomos y moléculas que los componen puedan compartir entre ellos los electrones de la última órbita de sus átomos, de forma que no se sabe bien a qué átomo o molécula pertenece cada electrón y éste puede trasladarse de uno a otro átomo o molécula y desplazarse por todo el metal como si estuviera libre. Ejemplos: Plata, oro, cobre, aluminio.

Aislantes

Los átomos o moléculas de las sustancias aislantes están unidos entre sí por medio de **enlaces** rígidos (llamados enlaces covalentes) mediante los cuales comparten algunos electrones de la última órbita y no dejan que esos electrones se muevan por el material libremente. Ejemplos: vidrio, cerámica, plásticos, madera.

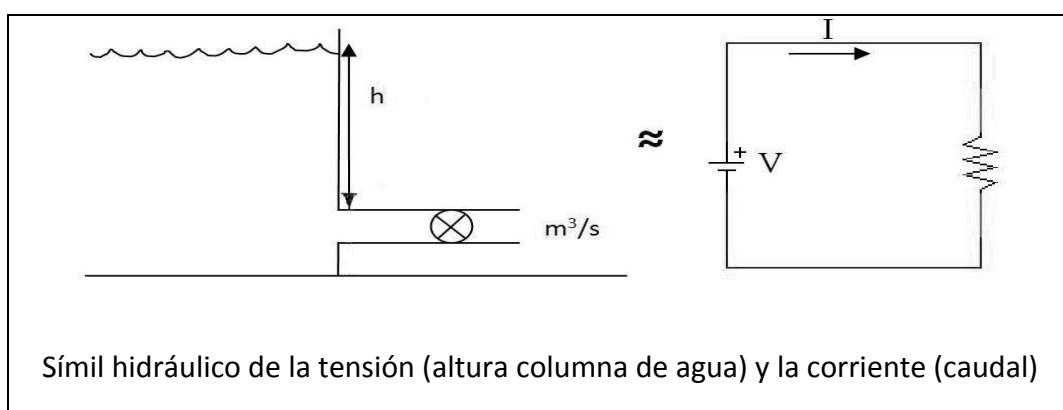
Semiconductores

Las sustancias semiconductoras, como el silicio, el germanio y el selenio, normalmente no dejan a sus electrones libres, pero si se les añaden sustancias dopantes, con diferente número de electrones en su última órbita, sus átomos no consiguen enlazar bien alguno de sus electrones sobrantes o faltantes de un modo perfecto como los átomos del silicio o del germanio puro. Estos electrones sobrantes o faltantes (huecos) en su estructura proporcionan una cierta conductividad al material semiconductor y permiten su movimiento por todo el material semiconductor como si fueran electrones libres, aunque su conductividad sea algo inferior a la de un metal.



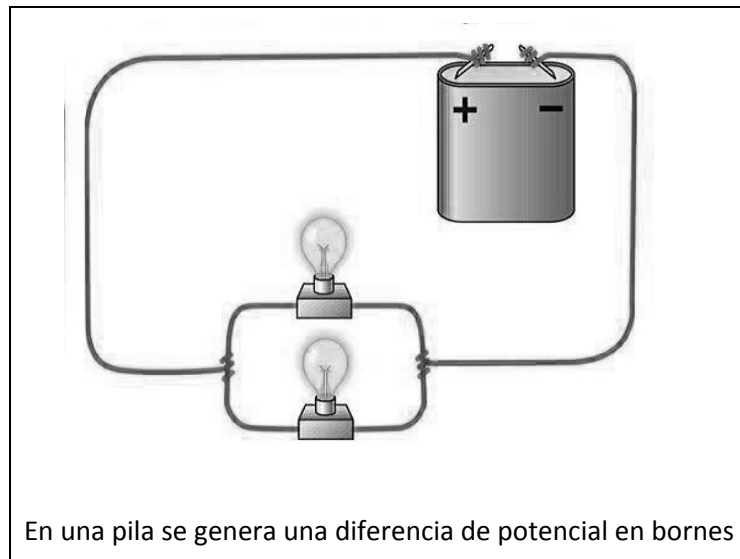
1. 1.2 Tensión y corriente continua

Para que circulen electrones, primero debemos acumularlos en un electrodo, es decir, debemos apretarlos con una presión eléctrica a la que llamamos tensión o diferencia de potencial, pues los electrones se repelen entre sí y se resisten a juntarse, igual que para que circule el agua necesitamos aumentar la presión ya sea por medio de una bomba de agua o por la diferencia de alturas entre dos recipientes. Es precisamente la diferencia de presión o de tensión la que produce el movimiento ya sea del agua o de los electrones.



Alejandro Volta descubrió la pila eléctrica al ver que se encogían unas ancas de rana cuando tocaban cables metálicos diferentes, y fue el primero en lograr producir una

corriente eléctrica constante por un conductor, dando paso al comienzo a la era de la electricidad, por lo que en honor suyo a la unidad de tensión se le dio el nombre de voltio.



1.1.4 El amperio y el culombio

La cantidad de electricidad no se mide en electrones, pues son demasiado pequeños, sino en culombios, una unidad mucho mayor: el culombio.

Cantidad de electricidad

Un **Culombio** equivale a una cantidad de electrones igual a 6,28 trillones de electrones o lo que es lo mismo a $6,28 \times 10^{18}$ o también $6,280.000_2000.000_1000.000$ electrones. Sí, hay una barbaridad de electrones en cada culombio.

Corriente eléctrica: el amperio

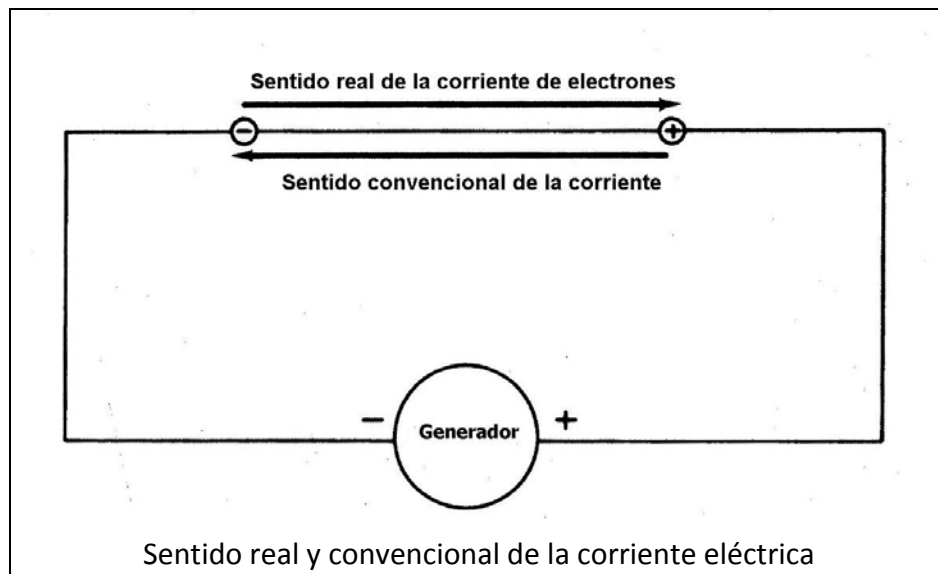
La corriente eléctrica es la medida de la cantidad de electricidad que circula por un cable en un segundo. La cantidad de electricidad ya sabemos que se mide en culombios. La unidad de medida de la corriente se llama Amperio (A).

Un amperio es la corriente que circula por un cable por el que pasa un culombio de electrones en un segundo. También se llama intensidad de la corriente y siempre se representa por la letra I mayúscula de Intensidad.

Como puedes ver, la intensidad es equivalente a medir el caudal de un río en metros cúbicos por segundo..

1.1.4.b Sentido de la corriente continua

El sentido de circulación convencional que aparece en todos los esquemas es de positivo a negativo. Digamos que antiguamente quedó establecido por convenio que la electricidad circulaba siempre de (+) a (-). La realidad es exactamente justo al revés, todo lo contrario, porque realmente sólo son los electrones los que circulan del negativo (-) al positivo (+), pero las flechas y los signos ya se habían puesto en todas las fórmulas cuando esto se descubrió y se decidió no cambiarlo, ya que todo el mundo lo sabía que era exactamente al revés.



¿Es un pequeño lío? Sí, pero ya te acostumbrarás. Todas las flechas van de positivo a negativo, pero tú y yo y todo el mundo sabemos que los electrones circulan en sentido contrario.

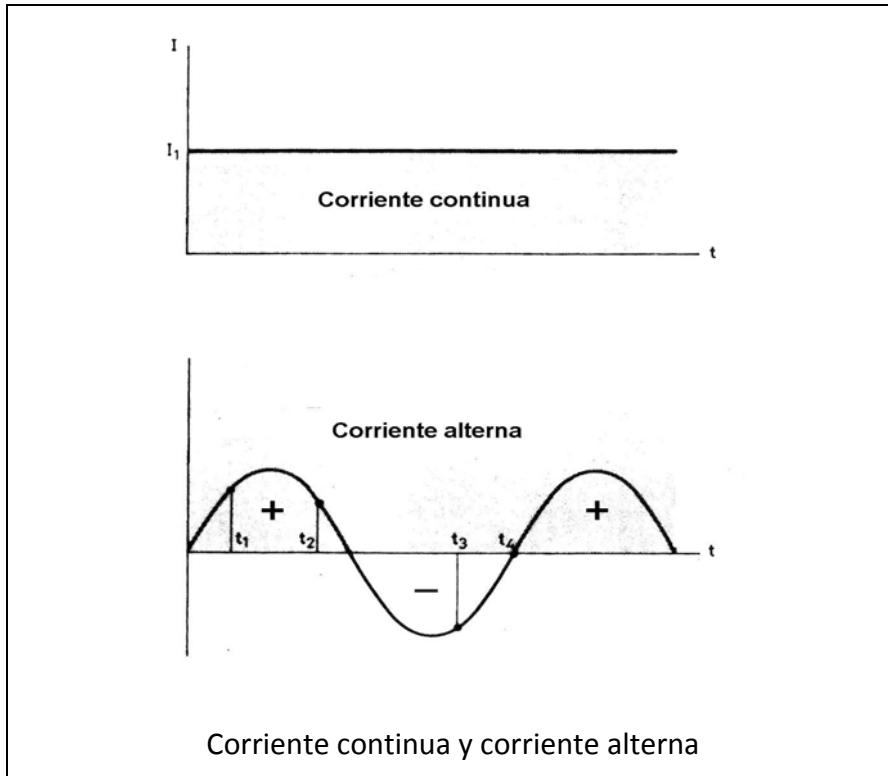
1.1.4.c Tensión y Corriente alterna

Tensión y corriente alterna

Hemos visto hasta ahora que la corriente continua, por convención, se considera que circula siempre en el sentido de positivo negativo, pero por ventajas relacionadas con el transporte de la energía eléctrica (transformadores elevadores de tensión) y que veremos más adelante, nos interesa muchas veces cambiar frecuentemente el sentido de la corriente y generar una que circule cambiando de sentido constantemente. Esta corriente y tensión que cambia de sentido repetidamente se llama corriente alterna.

Puedes encontrar una explicación más completa de la corriente alterna en el video:

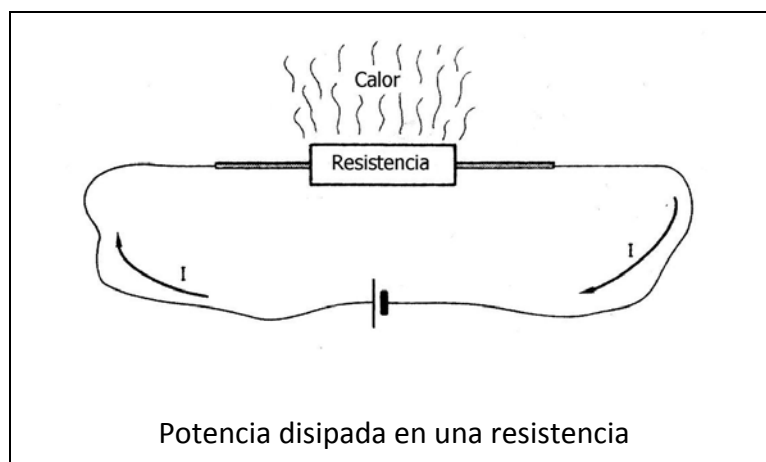
<http://www.youtube.com/watch?v=hfaGMkz5VPQ>



1.1.5 Resistencia eléctrica

Los electrones, en su avance por un conductor, como van pasando por diferentes átomos, al ser atraídos y repelidos por ellos, pierden energía y experimentan un freno a su avance al que llamamos resistencia eléctrica. Esta pérdida de energía se convierte en energía térmica que se desprende en forma de calor.

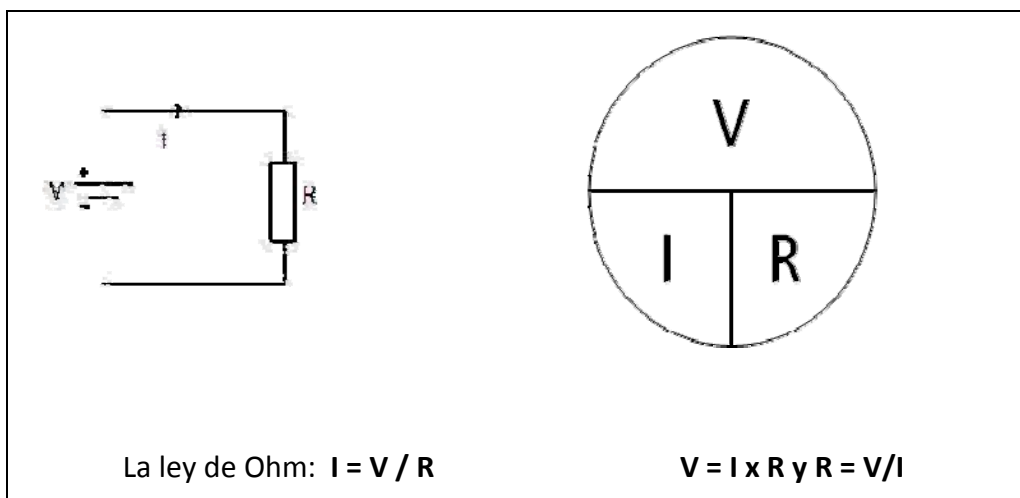
Este calor calienta el conductor que a veces presenta una resistencia considerable, y su tamaño debe ser bien calculado para que no se caliente excesivamente, de forma que llegara a fundirse (si es un hilo conductor) o se quemara o se carbonizara si fuera una pintura conductora.



1.1.6 Ley de Ohm de las resistencias

La corriente que circula por una resistencia es directamente proporcional a la tensión eléctrica con la que empujamos los electrones, pues cuanta mayor tensión o diferencia de potencial mayor corriente circulará, y esta corriente será inversamente proporcional al valor de la resistencia del conductor, pues cuanta mayor sea la resistencia, menor será la corriente o intensidad I que circule.

$$I = V/R \text{ o también } V = I \times R \text{ o también } R = V/I$$



Todas estas expresiones se deducen fácilmente de la aspirina que te adjuntamos.

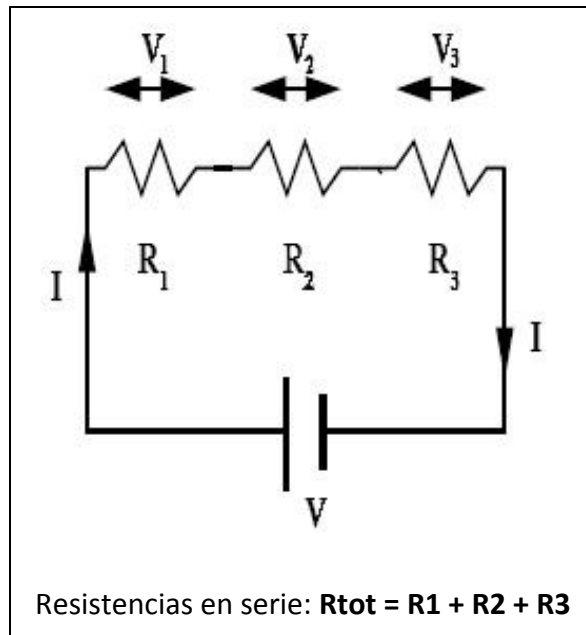
En honor a Ohm, que fue el primero que definió que siempre se cumplía esta proporción, a la unidad de resistencia se le bautizó con el nombre de Ohmio.

Te recomendamos que veas este vídeo para comprender mejor la Ley de Ohm:

<http://www.youtube.com/watch?v=6545CgXHleE>

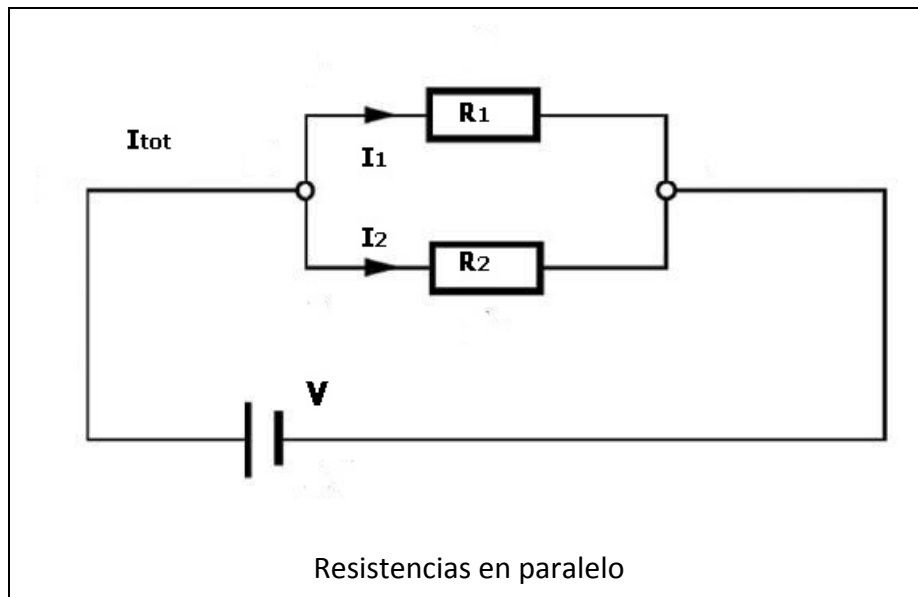
1.1.6.1a Agrupación de resistencias en serie

La resistencia total de dos o más resistencias en serie es mayor que la de cada una de las resistencias y exactamente igual a la suma de las resistencias conectadas en serie, pues la corriente tiene que circular primero por una y después por la otra, cuando se encuentra con un circuito en serie, y sufrirá el freno a la circulación de todas las resistencias, una detrás de otra.



1.1.6.1b Agrupación de resistencias en paralelo

Cuando las resistencias se conectan en paralelo, es decir, con las patillas de cada extremo de las resistencias juntas, la resistencia total resultante es inferior a la de cualquiera de las resistencias que hemos puesto en paralelo, pues ahora los electrones encuentran más caminos para pasar, o sea muchas más facilidades para circular, al disponer de caminos adicionales para circular por el circuito.



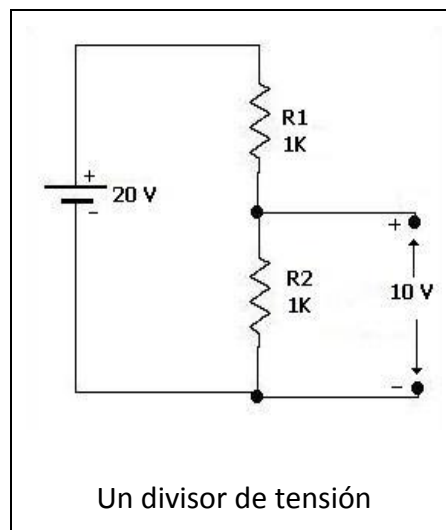
$$R_{tot} = (R_1 \times R_2) / (R_1 + R_2) \text{ y siempre } R_{tot} < R_1 \text{ o } < R_2$$

En el caso concreto de que las dos resistencias R1 y R2 son iguales, la resistencia resultante Rtot será igual a la mitad de la resistencia de cada una. Es lógico, pues si ahora hay dos caminos iguales para que circulen los electrones, ahora hay el doble de

facilidades para que circulen los electrones y es lógico que la resistencia a su paso sea la mitad que si estuviera colocada solamente una de ellas.

1.1.6.1c Divisor de tensión

Un divisor de tensión nos sirve para obtener una tensión inferior a la de la fuente de la tensión que alimenta un circuito, pues la corriente debe pasar por la resistencia superior del circuito divisor, donde se produce una caída de tensión que se calcula por el porcentaje de la resistencia inferior respecto a la suma total de las dos resistencias en serie.



La tensión de salida es proporcional al porcentaje correspondiente del total de la suma de resistencias.

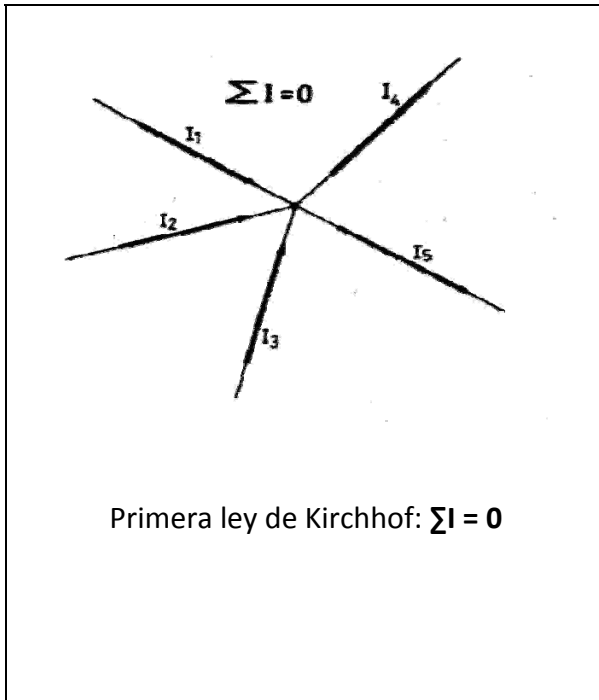
La proporción es:

$$V_s / V_p = (R_2) / (R_1 + R_2) \text{ es decir: } 10 / 20 = 1000 / (1000 + 1000)$$

$$\text{y por tanto } V_s = V_p \times R_2 / (R_1 + R_2) \text{ es decir: } V_s = 20 \times (1000 / 2000) = 10 \text{ V}$$

1.1.7 Primera ley de Kirchhoff

La suma de corrientes que entran en un nudo es nula. Como cualquier corriente o chorro de electrones que entre en un nudo ha de salir por alguna de los otros cables, podemos asegurar que todo que lo que entra por uno tiene que salir por otro. Una forma más matemática de decir lo mismo consiste en decir que la suma de lo que entra (con signo positivo) y sale (con signo negativo) en un nudo de conexiones tiene que ser cero. $\sum I = 0$.



Podemos escribirla de dos maneras:

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

O también:

$$I_1 + I_2 + I_3 - I_4 - I_5 = 0 \text{ o sea } \sum I = 0$$

En realidad, toda esta ley aparentemente tan compleja y abstracta, solo significa que los electrones que entran por un cable, tienen que salir por los otros cables y no se queda ninguno en el nudo. Es decir que si entran 10 amperios (+10 A) en un nudo por un cable, tienen que salir por los otros dos (-5 A y -5 A).

Comprobemos que la suma total de

corrientes que llegan al nudo es cero: $I_{\text{tot}} = 10 - 5 - 5 = 0$.

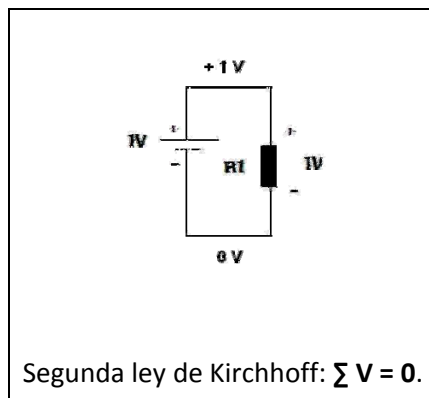
Podéis aprender más sobre las Leyes de Kirchoff en este vídeo:

http://www.youtube.com/watch?v=tZ4BcROOd_c&feature=related

1.1.7.b Segunda ley de Kirchhoff

En un circuito cerrado el recorrido de tensiones es nulo. Es decir que si recorremos un circuito completo cerrado, toda la tensión que se suba por la alimentación o la pila que lo alimenta se ha de perder en el resto del circuito para poder volver a la misma tensión inicial del punto de partida al recorrer todo el circuito y volver a la tensión de referencia cero.

Otra forma más matemática decir lo mismo es que la suma de tensiones al recorrer un circuito es nula, pues todo lo que se sube de tensión en los generadores luego hay que bajarlo para completar el circuito.



Podemos escribir $\sum V = 0$ o también $V1 - V2 = 0$ o lo que es lo mismo $+1V - 1V = 0$.

Si subimos un voltio (+1) debemos bajar uno (-1) para volver al punto de partida (0 V).

¿Ya habéis visto el vídeo que explica visualmente las leyes de Kirchoff?

http://www.youtube.com/watch?v=tZ4BcROOd_c&feature=related

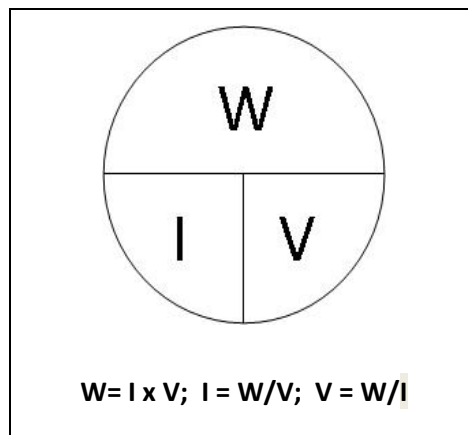
1.1.8 Potencia eléctrica

Potencia es la capacidad de realizar un trabajo. La potencia eléctrica es capaz de realizar muchos trabajos, gracias a la energía que son capaces de proporcionar los electrones en movimiento.

Los dos factores que nos proporcionan potencia eléctrica son los que afectan a la energía de los electrones, es decir a su empuje (tensión) y a su cantidad (corriente). Por tanto, en primer lugar, la potencia depende de una forma directamente proporcional de la tensión V con la que presionamos a los electrones (el empuje) y, en segundo lugar, también de la corriente I, la cantidad de electrones que conseguimos que pasen, de modo que el producto de ambos factores nos proporciona la potencia **W** en vatios:

$W = V \times I$ (Potencia = tensión en voltios x por intensidad en amperios)

También se puede escribir: $I = W / V$ y también $V = W / I$.



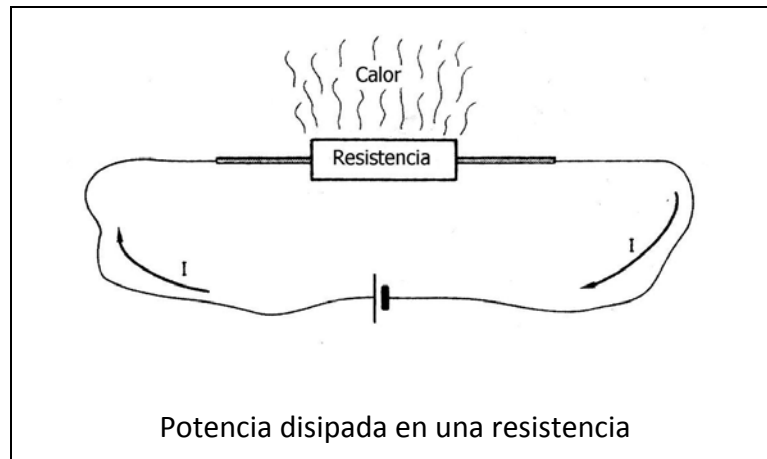
1.1.8.1 Potencia disipada máxima

La potencia disipada que puede soportar un componente electrónico tiene un límite, porque si sobrepasamos la potencia máxima de una resistencia o de cualquier otro componente, le proporcionamos demasiada energía y puede llegar a calentarse

excesivamente y alcanzar una temperatura superior a la máxima para la que ha sido diseñada, con su consiguiente destrucción y, si no hay suerte, incluso se nos quemará.

Por tanto, cuando compremos una resistencia, debemos indicar, además de su valor de resistencia en ohmios, la potencia máxima que debe disipar (con un amplio margen de seguridad) para estar seguros de que no se quemará.

Las resistencias de carbón se venden con potencias de 1/8, 1/4, 1/2, 1 y 2 W



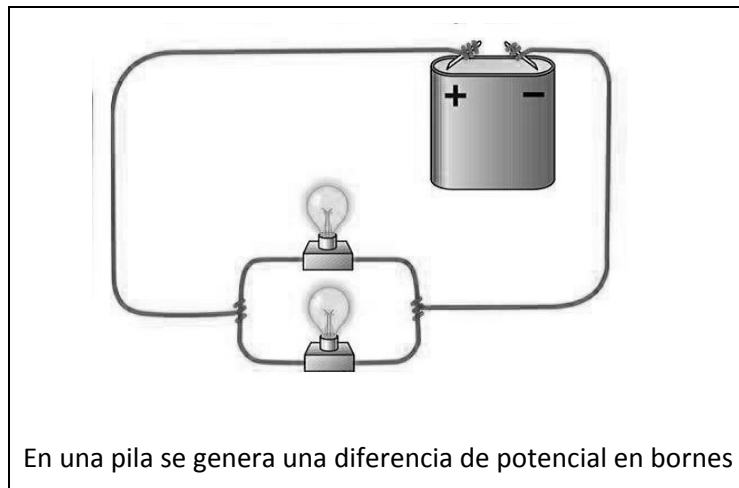
1.1.8.2 Potencia utilizada o energía consumida

La potencia es una capacidad o posibilidad de hacer un trabajo, pero la energía consumida es *esa potencia multiplicada por el tiempo que realmente la utilizamos*. De este modo, la potencia es sólo posibilidad, es decir la energía disipada que podemos obtener en cada segundo (una posibilidad), mientras que la potencia empleada es la energía realmente consumida y realmente utilizada, teniendo en cuenta el tiempo (en horas) en que la hemos aplicado o utilizado.

Por tanto, la potencia utilizada o energía consumida se mide en kilovatios x horas = kilovatios-hora. $E = W \times t$ (**horas**). Por eso también se llama energía consumida. Es la que nos cobra la compañía eléctrica.

1.1.9 Pilas y baterías

Las pilas y baterías son fuentes químicas de energía eléctrica. Las pilas son las que se tiran cuando se gastan; en cambio, las baterías se pueden recargar. Esta distinción sólo se efectúa en español, porque en inglés siempre utilizan la palabra *battery* para los dos tipos: pilas y baterías. Pero nosotros las distinguimos porque esa diferencia que permite la carga y recarga es muy importante.



1.1.9.1 Las pilas

En el interior de una pila, hay una solución química que reacciona con los dos electrodos distintos de la pila, que están sumergidos en un líquido o pasta viscosa. en cuyo seno los iones polarizados realizan un transporte de electrones de un electrodo a otro, de modo que en un borne se produce una acumulación de electrones y en el otro borne una falta de electrones, lo que da lugar a una tensión o diferencia de potencial permanente entre sus dos bornes.

La reacción química interna de una pila normal, la que nos proporciona en sus bornes esa acumulación de electrones o tensión o diferencia de potencial eléctrico, no es una reacción reversible y, si intentamos recargarla, se pueden producir gases que la podrían hacer explotar.

1.1.9.2 Las baterías

En una batería la reacción que proporciona tensión y acumula electrones en el borne negativo no es una reacción espontánea y primero debemos someterla a un período de carga para disociar los iones componentes de la disolución y acumular la energía química antes de poder utilizarla. Luego recuperaremos esa energía posteriormente. Es una reacción química reversible.

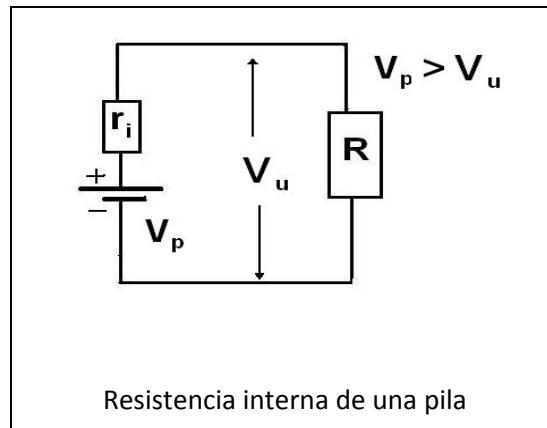
De todos modos, algunas baterías cuando se recargan desprenden gases, por lo que esas baterías no pueden ser herméticas y deben permitir la expansión y salida de gases cuando se forman en su interior por la recarga.

1.1.9.3 Resistencia interna de la fuente

Tanto las pilas como las baterías tienen una pequeña resistencia interna que queda en serie con el circuito cuando se cierra y, al circular una corriente, se produce una pequeña caída de tensión en ella, lo que hace que el voltaje útil V_u en bornes de la pila

disminuya cada vez más al aumentar la corriente suministrada y siempre sea inferior a la tensión V_p nominal de la pila o batería sin carga.

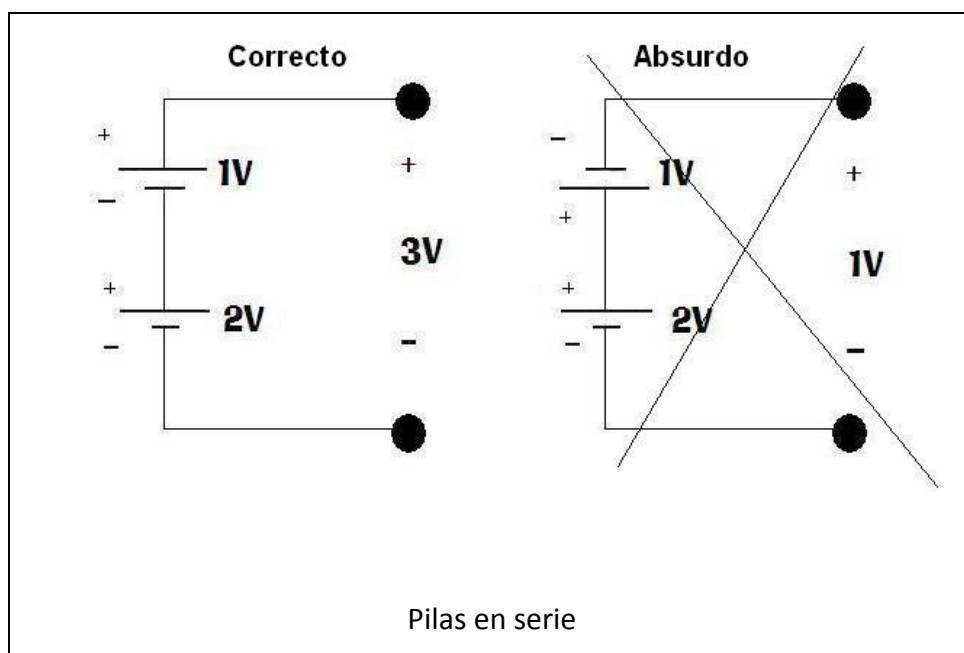
$$V_u = V_p - r_i \times I$$



1.1.9.4 Conexión de baterías

1.1.9.4.a Conexión de baterías en serie

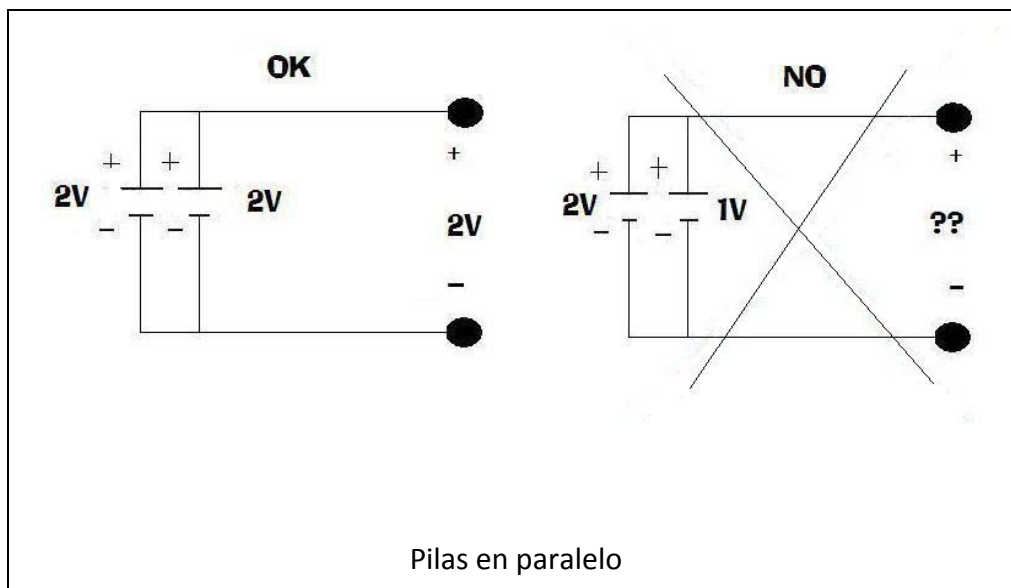
Se pueden conectar pilas y baterías en serie. De hecho las baterías de coche de 12 voltios se componen de seis elementos o células de 2 V en serie. La única precaución es que sean de la misma capacidad para que se carguen igual con la misma corriente de carga y se agoten también al mismo tiempo en la descarga.



Hay que conectarlas en serie siempre positivo con negativo para que las tensiones se sumen, porque sería absurdo conectarlas para que su tensión se restara.

1.1.9.4 b Conexión de baterías en paralelo

Se pueden conectar en paralelo, pero cuidado que deben ser exactamente de la misma tensión, pues no se pueden conectar baterías de distinta tensión en paralelo. Si lo hicieras, la de mayor tensión se descargaría en la otra a gran velocidad y con gran corriente, hasta igualarse la tensión en bornes, lo que sería peligroso si fueran de tensiones muy diferentes. Tampoco es muy aconsejable que no sean de la misma capacidad, pues la recarga conjunta sería problemática. Habría que recargarlas por separado.

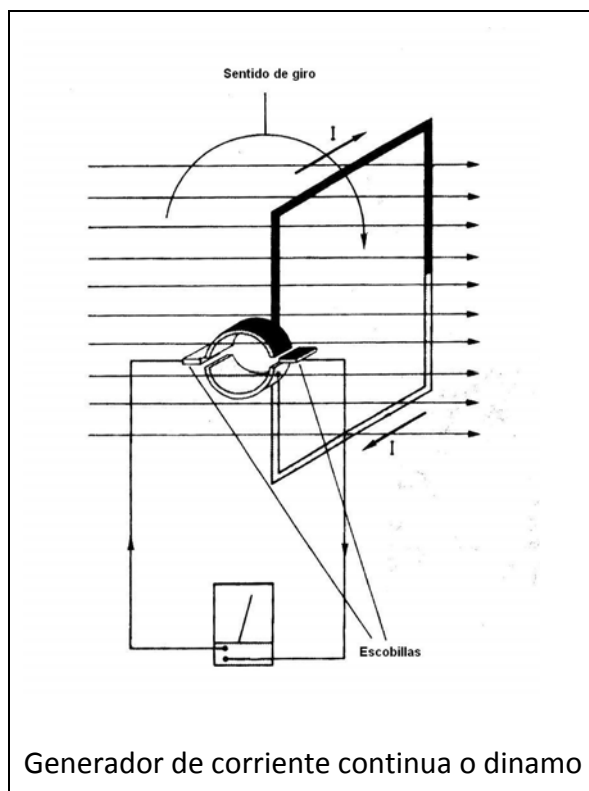


1.2 Fuentes de electricidad

Las fuentes de electricidad conocidas en la actualidad son:

- Reacciones químicas (las pilas)
- El frotamiento de materiales aislantes (electricidad estática)
- La presión intermitente (piezoelectricidad)
- El efecto fotoeléctrico (radiación solar sobre paneles solares)
- El calentamiento de la unión de dos metales distintos (termopar)
- El magnetismo o inducción magnética (generadores eléctricos rotativos)

De todas ellas, la más importante es la electricidad generada por magnetismo o inducción magnética, que es la que nos permite generar una fuerza electromotriz (**fem**) o tensión alterna en los bobinados de un generador eléctrico llamado alternador, cuyo eje es movido por cualquier tipo de energía mecánica y produce la corriente alterna que se distribuye a todos los hogares.



En la dinamo, la espira, al girar en el interior de un campo magnético, experimenta un desplazamiento de los electrones de un extremo a otro, lo que produce una presión eléctrica (tensión) que podemos recoger mediante unas escobillas en contacto con unas delgas conectadas a las espiras, en el generador eléctrico llamado dinamo que es un generador de tensión continua.

1.2.b Fuentes de energía

La energía mecánica giratoria de movimiento que hace girar los ejes de los alternadores, los cuales, gracias al magnetismo, generan electricidad se puede obtener de muchos modos, pero las principales fuentes de energía mecánica giratoria en España en el 2010 han sido:

- Giro de turbinas por vapor de agua generado en las centrales térmicas: 69% de la electricidad generada
 - gas natural 23%
 - energía nuclear 21%
 - fuel-oil 15%
 - carbón 8%
 - energía termosolar 2%
- Giro de generadores eólicos en los molinos de viento 16% del la electricidad generada
- Giro de turbinas hidráulicas por la caída y presión del agua en los embalses: 14% del la electricidad generada

- Movimientos ondulatorios y lineales obtenidos de corrientes marinas en el mar 0,?% (aún en fase experimental)

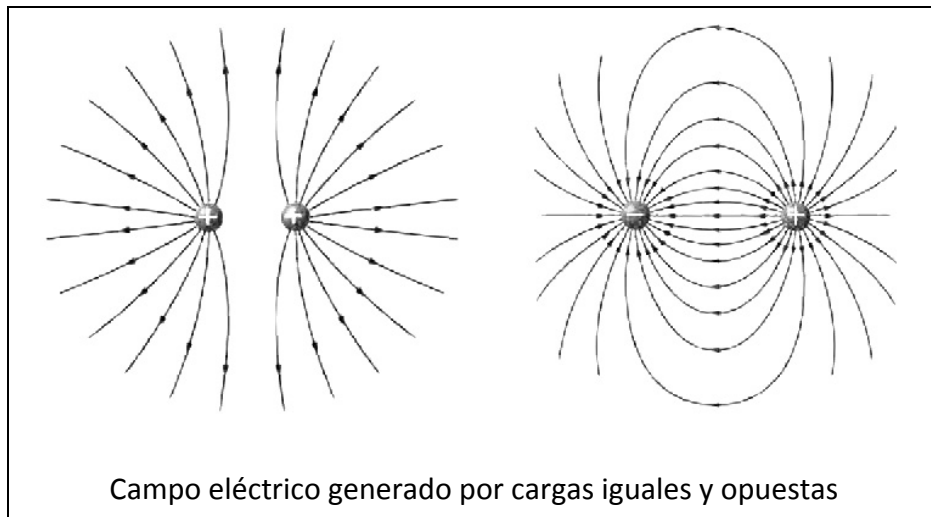
(Porcentajes obtenidos del informe publicado en el Periódico de Catalunya de 6 de Marzo de 2011)

De todos ellos, en el momento actual, las fuentes de energía más importantes en España para la generación de electricidad son el gas que se utiliza en las centrales de ciclo combinado, seguido por la energía nuclear, la generación eólica y el fuel-oil obtenido del petróleo, por este orden, quedando la hidráulica ligeramente detrás de todas ellas.

1.3 Campo eléctrico

1.3.1 Concepto básico de campo eléctrico y magnético

En teoría, las partículas que poseen la propiedad de tener carga eléctrica son tanto los **protones** (con carga positiva) como los **electrones** (que tienen carga negativa). En la práctica, como las únicas partículas que tienen movilidad son **los electrones** y son las únicas que permiten cambiar el estado neutro de un cuerpo y variar la carga eléctrica, puesto que los protones están fijos en los núcleos de los átomos y no se pueden desplazar, de forma que, en la práctica, las cargas eléctricas que crean campos de fuerza son producidas por el exceso de electrones (carga negativa) y la falta de electrones (carga positiva).

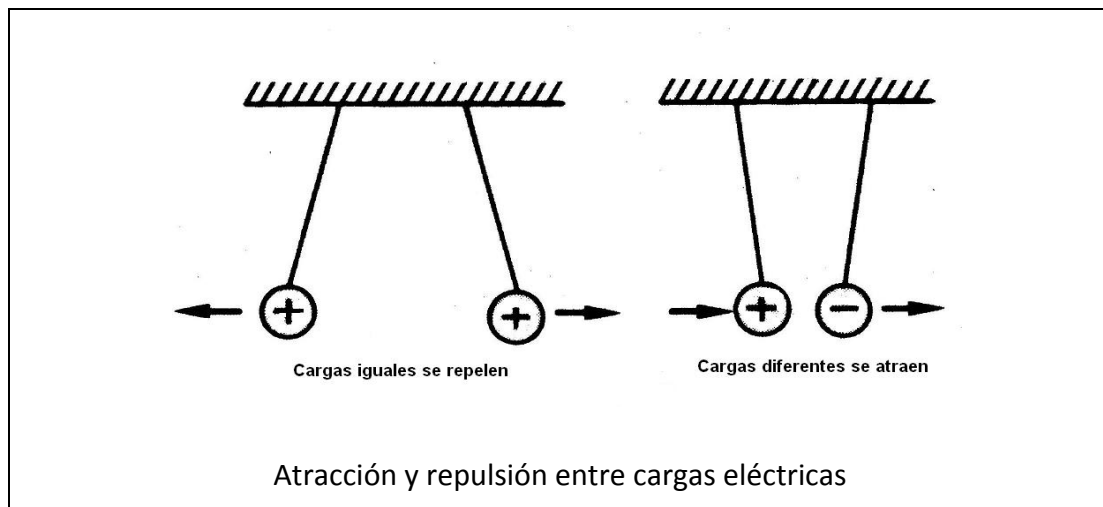


1.3.1. b Leyes fundamentales de la electrostática

Las dos leyes fundamentales de la electrostática son:

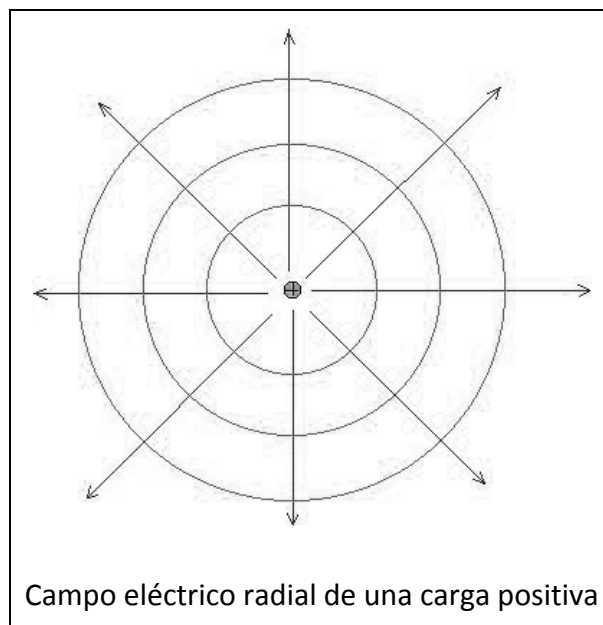
1. Cargas del mismo signo **se repelen**. Los cuerpos cargados con exceso de electrones negativos se repelen entre sí.

2. Cargas de signos opuestos **se atraen**, porque el exceso de electrones en un cuerpo lo carga negativamente y atrae a cualquier otro cuerpo al que le falten electrones y, por tanto, tenga carga positiva.



1.3.2 Campo eléctrico radial

Si un cuerpo pierde electrones, queda cargado positivamente y crea un campo eléctrico positivo en el espacio a su alrededor. Si un cuerpo gana electrones, queda cargado negativamente, y produce un campo eléctrico negativo a su alrededor.



El campo eléctrico que crea un cuerpo cargado eléctricamente tiene forma radial y lo representamos por unas llamadas líneas de fuerza que salen como radios de una esfera en cuyo centro se encuentra el cuerpo cargado eléctricamente y del que se alejan en línea recta hacia el infinito.

1.3.3 Intensidad de campo eléctrico. Unidad de campo eléctrico

La intensidad del campo eléctrico creado por una carga se mide por la fuerza que es capaz de ejercer sobre una partícula de carga única (1 electrón). $F_e = q_1/d^2$. El campo eléctrico es radial y disminuye con el cuadrado de la distancia.

El campo eléctrico se mide en la unidad Voltios por metro [V/m].

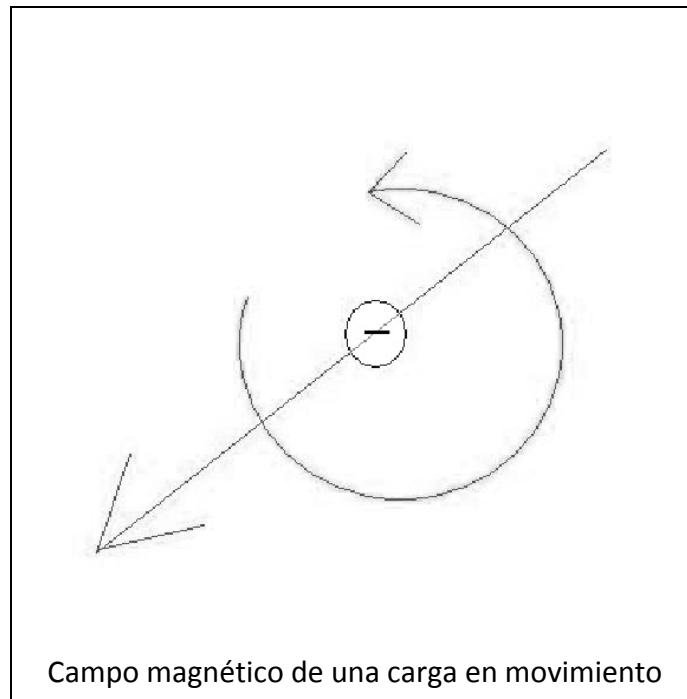
1.3.4 Apantallamiento de campos eléctricos

Para apantallar los campos eléctricos de un aparato, debemos rodearlo de una carcasa metálica conductora de la electricidad que prácticamente anula el campo eléctrico al otro lado de la plancha metálica.

La plancha metálica, al ser conductora, anula al otro lado el campo eléctrico en todos los puntos de su superficie y por tanto el campo eléctrico desaparece totalmente al otro lado de la plancha.

1.4 Campo magnético

El movimiento de las partículas llamadas electrones produce un campo magnético circular. No importa que el electrón se mueva por el espacio o por un conductor, en ambos casos se produce a su alrededor un campo magnético circular en el sentido del sacacorchos que avanza con el electrón.



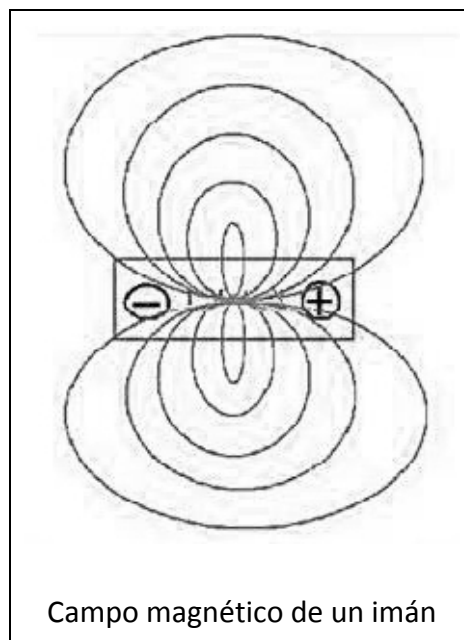
1.4.1 Imanes, polos magnéticos y magnetismo terrestre

Imanes naturales

En la naturaleza existe un mineral de óxido de hierro, la magnetita, que posee la propiedad de formar imanes que son capaces de atraerse y repelerse entre sí de un modo natural y en los que se distinguen dos polos.

Los polos de un imán

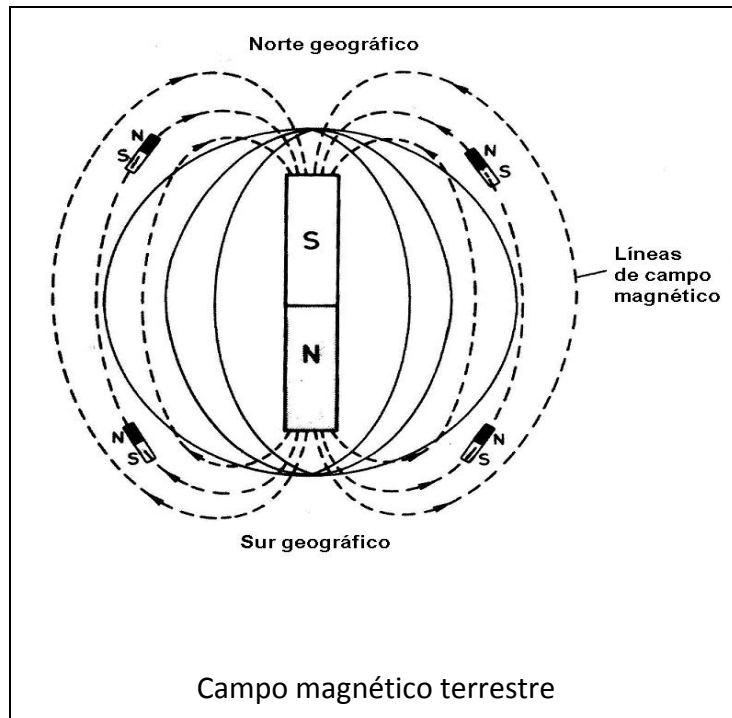
Todos los imanes poseen dos polos opuestos a los que llamamos polo norte y polo sur. Las líneas de fuerza del campo magnético, a diferencia del campo eléctrico, son líneas cerradas que salen por el polo norte del imán y vuelven por el polo sur. Igual que con las cargas eléctricas se cumple que polos opuestos se atraen y polos iguales se repelen. Siempre se atraen un polo norte con un polo sur. Si los dos son norte o ambos son sur, ambos se repelen.



1.4.1.b Magnetismo terrestre

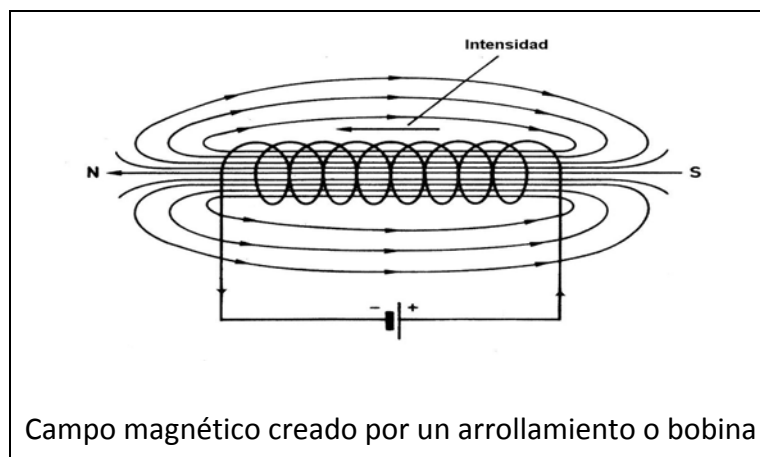
La Tierra posee en su interior un centro o núcleo de hierro líquido giratorio cuyo movimiento produce un campo magnético terrestre que convierte a la Tierra en un gigantesco imán que es capaz de orientar la aguja imanada de las brújulas.

Llamamos polo norte magnético al polo de la aguja magnética que es atraído hacia el Polo Norte geográfico y, como se atraen los polos opuestos, el Polo Norte de la Tierra es por consiguiente un polo sur magnético.



1.4.2 Solenoides y electroimanes

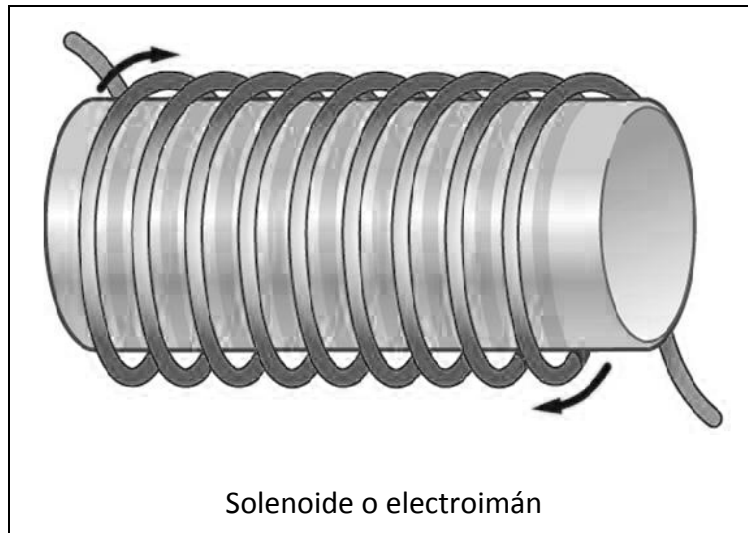
El campo magnético de cada una de las espiras de un conductor enrollado o solenoide por el que pasa una corriente, es decir, el magnetismo generado por el movimiento de los electrones que circulan por cada espira, tiene en cada una de ellas la misma dirección y el campo magnético generado por una espira se suma con el generado por la siguiente, de forma que así se multiplica el campo magnético creado por el número de espiras.



1.4.2 b Solenoides y electroimanes

Si en el eje del arrollamiento colocamos un núcleo de hierro dulce, la permeabilidad magnética del hierro multiplica por centenares de veces el campo magnético inductor

de la bobina, al alinearse las moléculas del hierro con el campo magnético y reforzarlo enormemente con su propio magnetismo inducido, consiguiendo de este modo un campo magnético muy superior al campo magnético que se produciría en el aire o en el vacío.



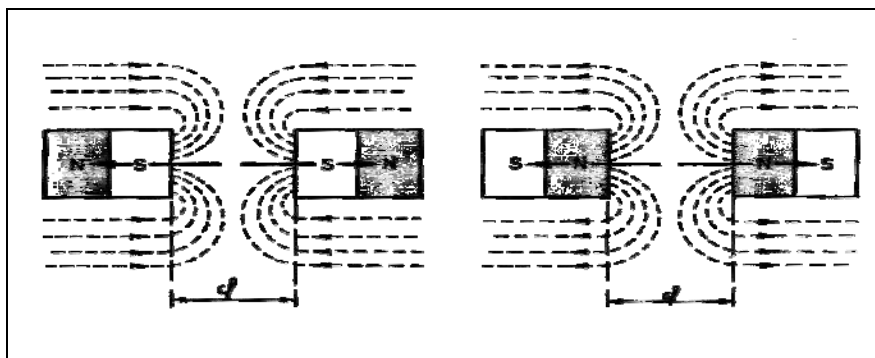
Al arrollamiento con un núcleo de hierro dulce se le llama solenoide y, si utilizamos su magnetismo para mover un elemento mecánico, como por ejemplo un interruptor, lo llamamos electroimán.

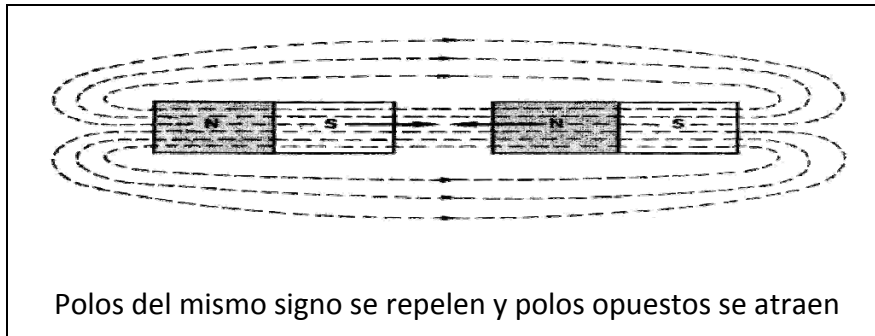
1.4.3 Fuerzas de atracción magnéticas

La fuerza de atracción magnética depende en primer lugar del material de que están hechos los imanes, y es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que los separa y directamente proporcional a las masas magnéticas de cada uno de los polos.

$$F = m_1 \times m_2 / d^2$$

Pero hay que tener en cuenta que polos opuestos se atraen y polos iguales se repelen.





Deben estar muy cerca para que se ejerza una fuerza de atracción, porque ésta disminuye con el cuadrado de la distancia. Por otra parte, cuanto más fuerte sea cada imán, más fuerte se atraerán si los polos son opuestos.

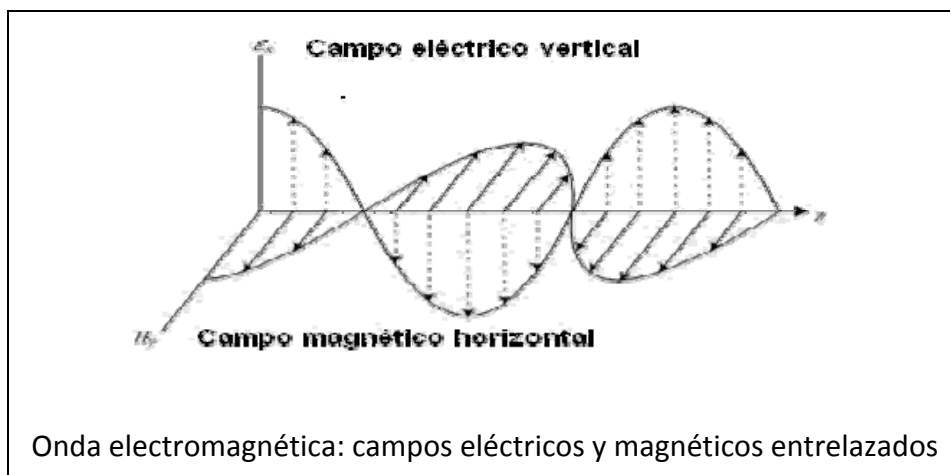
1.4.4 Apantallamiento magnético

No es tan fácil de realizar un apantallamiento magnético como un apantallamiento electrostático, porque algunas líneas de fuerza magnéticas siguen cerrándose por el aire, aunque confinemos los imanes y electroimanes dentro de un material ferromagnético que los envuelva totalmente.

Por consiguiente, debemos mantenernos a una buena distancia de las máquinas que utilizan campos magnéticos muy intensos, como por ejemplo las escáneres de resonancia magnética nuclear o RMN y las líneas de muy alta tensión, porque se considera que los campos magnéticos intensos son perjudiciales para la salud.

1.5 Campo electromagnético

Un campo electromagnético es el generado por una antena o sistema radiante y que da lugar a las ondas electromagnéticas, que se componen de campos magnéticos y eléctricos entrelazados entre sí y que se van generando uno a otro enlazados mutuamente al propagarse por el espacio.



En el siguiente vídeo podrás contemplar el avance de una onda electromagnética de polarización vertical (E):

<http://www.youtube.com/watch?v=4CtnUETLIFs>

1.5.1 Las ondas de radio como ondas electromagnéticas

Las ondas de radio no las podemos ver, pero sí podemos ver las ondas electromagnéticas de otras frecuencias a los que nuestros ojos son sensibles y a las que llamamos luz visible. Otras ondas electromagnéticas, las ondas infrarrojas, aunque no las podamos ver, las podemos sentir en nuestra piel, pues las emiten todos los cuerpos con una temperatura superior al cero absoluto y aquellas que proceden de un cuerpo que está a mayor temperatura que nuestra piel, las podemos notar fácilmente.

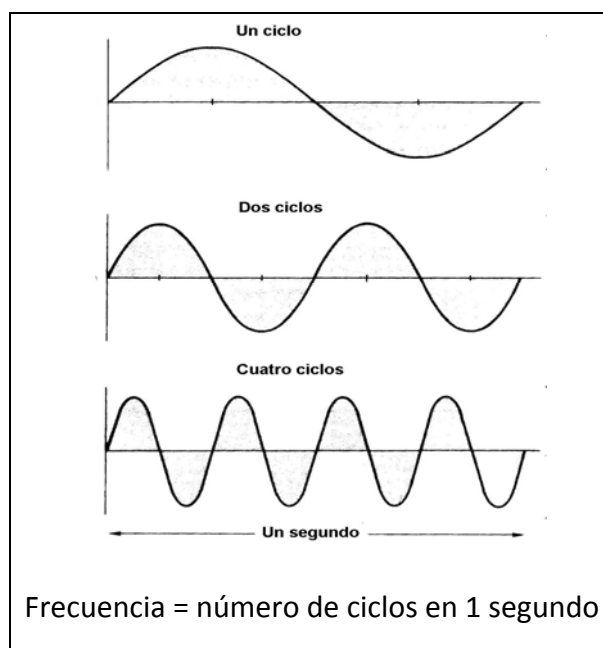
1.5.2 Velocidad de propagación de la onda electromagnética

Todas las ondas electromagnéticas que llamamos ondas radioeléctricas tienen la misma naturaleza que la luz y, por tanto, recorren también el vacío y el aire con la misma velocidad de 300.000 kilómetros en un segundo, la llamada velocidad de la luz.

1.5.2.b Frecuencia

Llamamos frecuencia de una onda electromagnética al número de ciclos completos que efectúa la onda en un segundo y, por tanto, al multiplicar la frecuencia (f) por la longitud que recorre en cada ciclo (λ = longitud de onda), nos da la velocidad de avance de la onda en el vacío y que ya sabemos que siempre es igual a la velocidad de la luz.

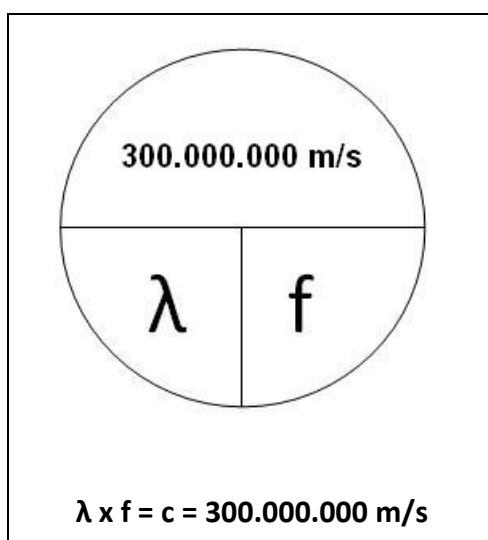
Por tanto, aquí tenemos una relación fundamental entre frecuencia y longitud de onda: **$f \times \lambda = 300.000.000 \text{ m/s}$** .



1.5.2.c Longitud de onda

Las ondas electromagnéticas en un ciclo completo recorren una distancia que se llama longitud de onda λ y esta se calcula dividiendo la velocidad de propagación o distancia que recorren en un segundo (velocidad de la luz) por el número de ciclos que realizan en ese segundo, es decir, por la frecuencia (f).

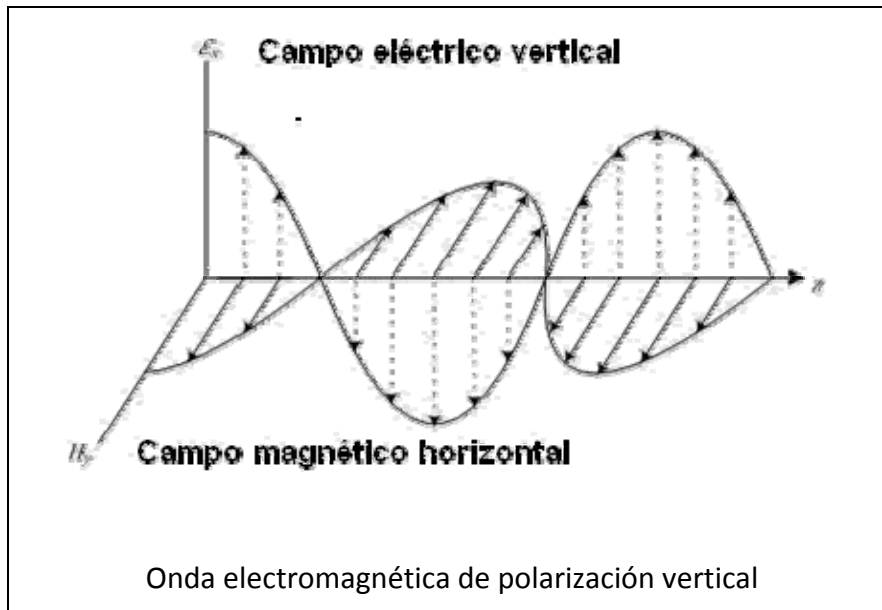
$$\lambda = 300.000.000 \text{ metros} / \text{frecuencia.}$$



También se cumple que $f = 300.000.000/\lambda$ (en metros) y que $\lambda \times f = 300.000.000 \text{ m/s} = \text{velocidad de la luz}$

1.5.3 Polarización

Una onda electromagnética consiste en un campo eléctrico que varía sinusoidalmente y que es perpendicular a la dirección de avance de la onda, y que avanza encadenado y entrelazado con un campo magnético sinusoidal, también perpendicular a la dirección de avance y al campo eléctrico. Si la onda avanza en la dirección del eje de las X, una onda polarizada verticalmente tiene su campo eléctrico en dirección al eje de las Z y el campo magnético en la dirección del eje de las Y.



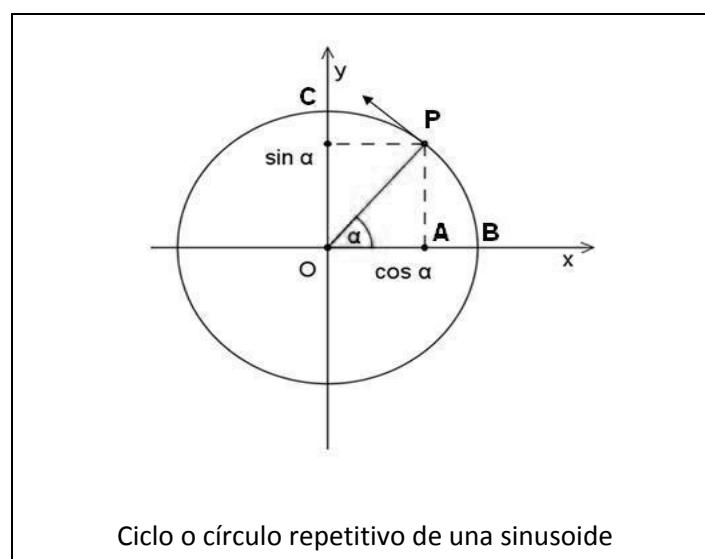
Se llama polarización de una onda electromagnética al plano en el que vibra o varía el campo eléctrico. Este campo eléctrico puede variar en un plano vertical solamente (polarización vertical), en un plano horizontal (polarización horizontal) o en un plano giratorio alrededor del eje que coincide con su avance y se llama polarización circular.

1.6 Señales sinusoidales

Las ondas sinusoidales se llaman así porque su valor variable en el tiempo se puede representar geoméricamente por el cateto PA (paralelo al eje de las Y) del triángulo rectángulo que forma el radio que une un punto P que gira alrededor del círculo de centro O en sentido anti-horario.

Cada vuelta del punto P al círculo es un ciclo completo de la onda sinusoidal:

$$E = PA = PO \text{ sen } \alpha = E_{\text{max}} \text{ sen } \alpha$$



1.6.2 Período, frecuencia y el hercio

Período

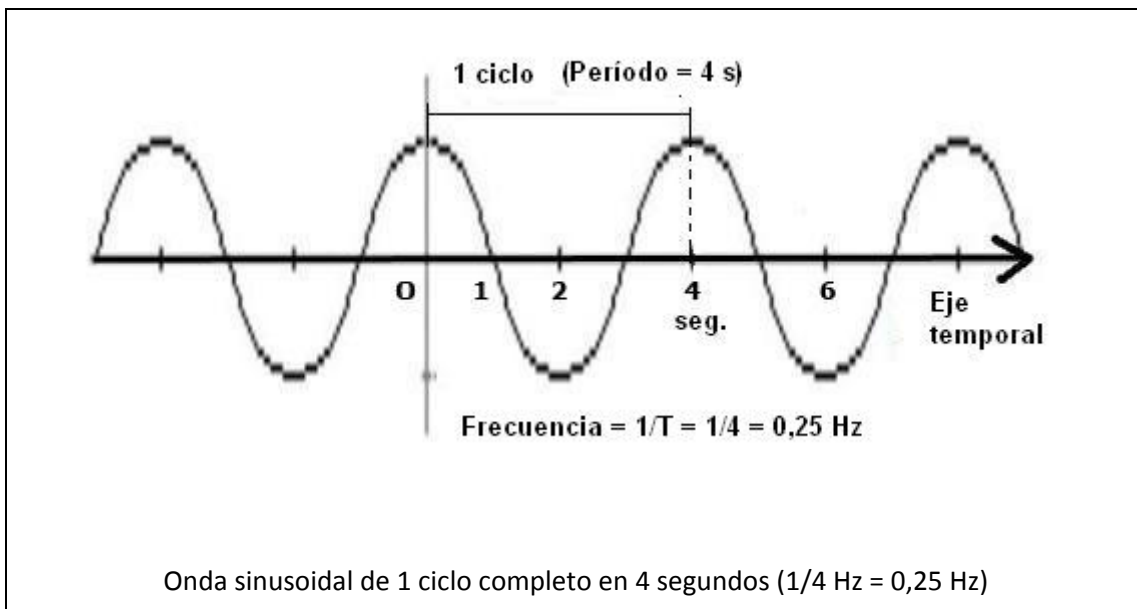
El período es el tiempo que tarda una onda en realizar cada ciclo completo. Lo obtenemos dividiendo 1 segundo por la frecuencia o número de ciclos realizados en un segundo. $T = 1/f$

Frecuencia

El número de ciclos que realiza en un segundo se llama frecuencia de la señal sinusoidal y se mide en Hercios.

Un Hercio equivale a un ciclo por segundo.

El período y la frecuencia son inversos uno del otro. Es decir $f = 1/T$ así como $T = 1/f$.



1.6.2.b. Relación entre frecuencia y período

El período T es el inverso de la frecuencia, pues basta dividir 1 segundo por el número de ciclos que realiza en un segundo (la frecuencia), para tener la duración de un ciclo completo, o sea lo que llamamos el período $T = 1/f$.

La frecuencia f también es la inversa del período, pues basta dividir 1 segundo por el tiempo de duración de cada ciclo para obtener el número de ciclos que se realizan en cada segundo: $f = 1/T$.

1.6.2.c. El Hercio

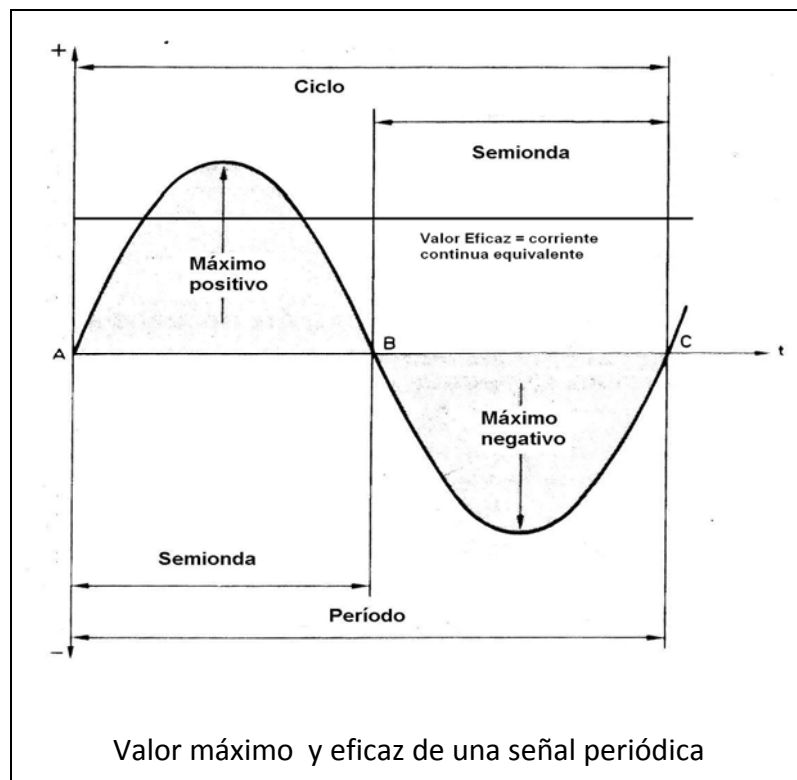
La unidad de frecuencia es el hercio o Hertz que equivale a 1 ciclo por segundo. Por tanto la frecuencia en hercios es el número de ciclos completos por segundo que realiza la señal.

Se le llama así en honor del alemán Hertz, quien fue el primer científico que demostró la existencia de las ondas electromagnéticas, pues consiguió que saltara una chispa eléctrica inducida por ondas electromagnéticas entre dos bolas situadas a una distancia de varios metros. En su honor a las ondas electromagnéticas también se les llama ondas hercianas.

1.6.3 Valores instantáneo, máximo y eficaz

El valor que tiene en cada instante una onda sinusoidal se llama valor instantáneo y, por tanto, es el valor que marca en el eje de las Y para cada valor en el eje de los tiempos (eje de las X).

El valor máximo es el máximo valor positivo que alcanza la senoide y el máximo negativo es el mismo valor pero de signo contrario.



El valor eficaz de una onda sinusoidal es el valor de aquella corriente continua que haría el mismo trabajo o proporcionaría la misma energía que esta onda alterna. Se obtiene dividiendo el valor máximo por raíz de 2 o multiplicando por 0,7.

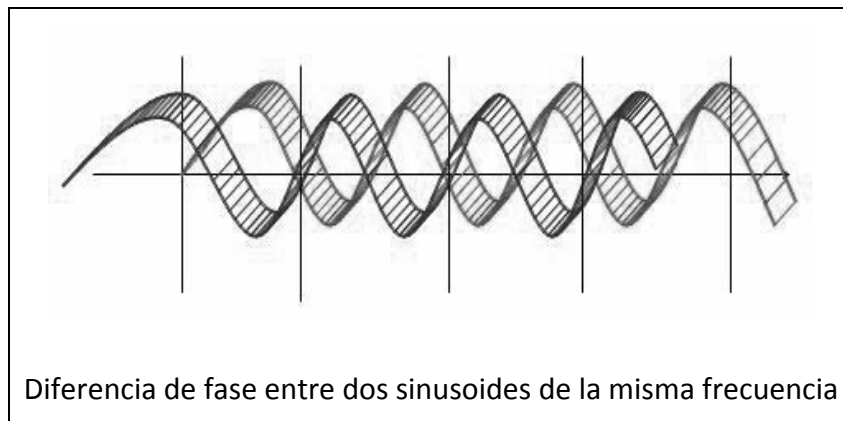
Es decir; $V_{ef} = V_{max} / \sqrt{2} = V_{max} \times 0,7$

El valor eficaz de nuestra corriente eléctrica alterna es de 220 V en la actualidad, lo cual significa que esta tensión alterna alcanza un valor máximo de $V_{max} = 220 \times \sqrt{2} =$

308 V. Es decir, oscila entre un valor máximo de 308 voltios positivos y un mínimo de 308 voltios negativos.

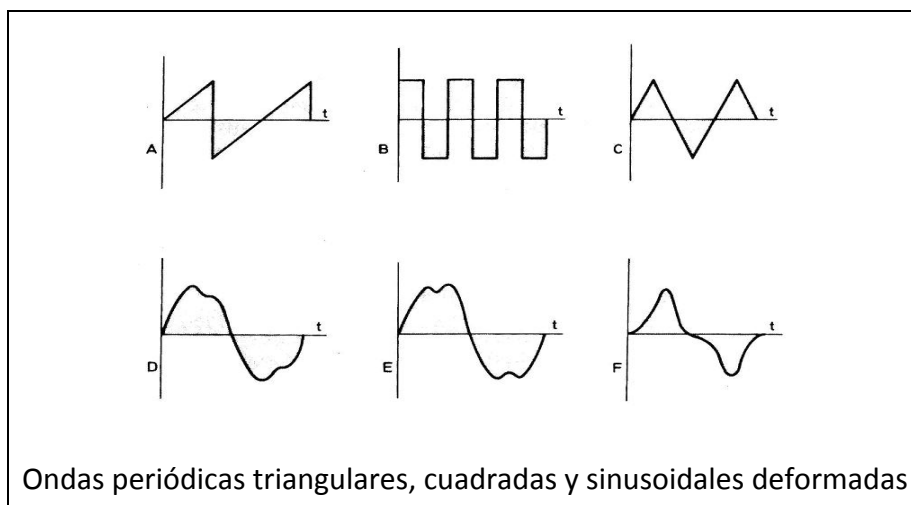
1.6.4 Diferencia de fase

Dos señales sinusoidales de la misma frecuencia puede que no pulsen al mismo tiempo y entonces se dice que no están en fase. La diferencia de fase se mide por la distancia entre las crestas máximas de las dos ondas, tomadas en fracciones de ciclo. Por ejemplo $\frac{1}{4}$ de ciclo, $\frac{1}{2}$ ciclo o también podemos darlo en grados, pues si dividimos un ciclo en 360 grados, un $\frac{1}{4}$ de ciclo son 90° y $\frac{1}{2}$ ciclo son 180° .



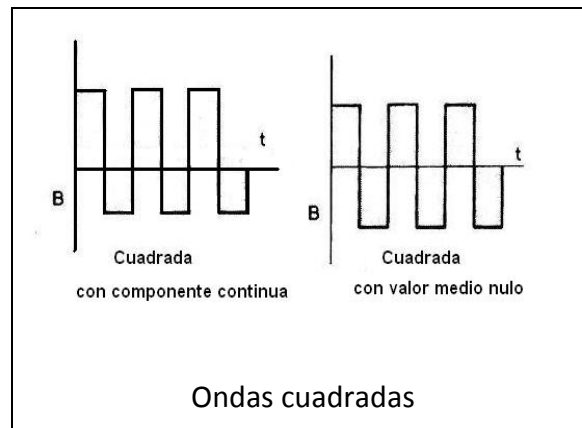
1.7 Señales no sinusoidales

Señales no sinusoidales son todas aquellas señales repetitivas que tienen una forma distinta de la senoide y, como ejemplo, podemos destacar las que tienen forma cuadrada o rectangular, las que tienen forma triangular o las que tienen forma de diente de sierra.



1.7. 1 Ondas cuadradas y componente continua

Se llaman ondas cuadradas a todas las señales rectangulares que oscilan entre un valor positivo fijo y un valor negativo fijo y cambia bruscamente de uno a otro con una frecuencia determinada.

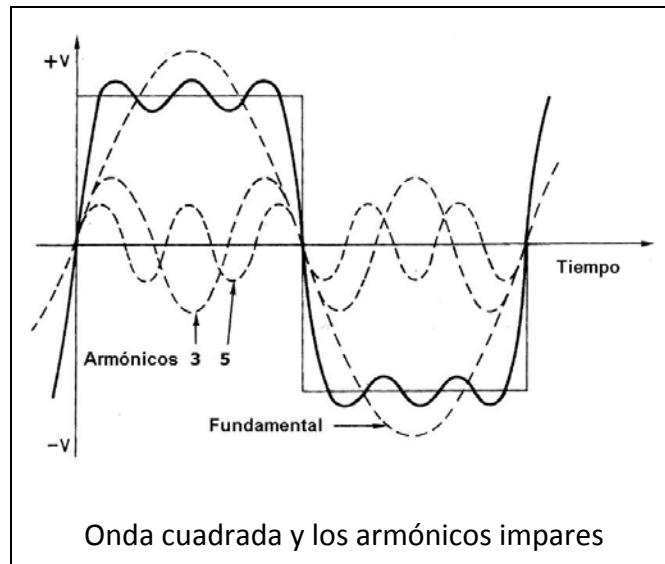


Se dice que una señal tiene una componente continua cuando los máximos de los valores positivos son mayores que los de los valores máximos negativos. Entonces diremos que tiene una componente continua positiva, pues la señal es en cierto modo asimétrica y no alcanza los mismos valores por encima y por debajo del eje de los tiempos. Por tanto su valor medio central no es cero, sino un valor positivo o negativo.

Este valor medio positivo o negativo sería la componente continua de esa onda cuadrada asimétrica, que sería como si a una cuadrada perfectamente simétrica le sumáramos siempre un valor constante (la componente continua) que la desplaza hacia arriba o hacia abajo.

1.7.2 Onda cuadradas, señal fundamental y sus armónicos

Cualquier señal sinusoidal que no sea perfecta y que esté ligeramente deformada, puede obtenerse superponiendo algún componente de frecuencias doble, triple y otros múltiplos pares e impares de la frecuencia principal o fundamental. Esta frecuencia fundamental es la principal que domina en la repetición periódica de una señal. A los múltiplos de la fundamental se les llama armónicos. Especialmente son ricas en armónicos las señales sinusoidales cuyos valores máximos han sido recortados por un amplificador saturado y que limita la amplificación.

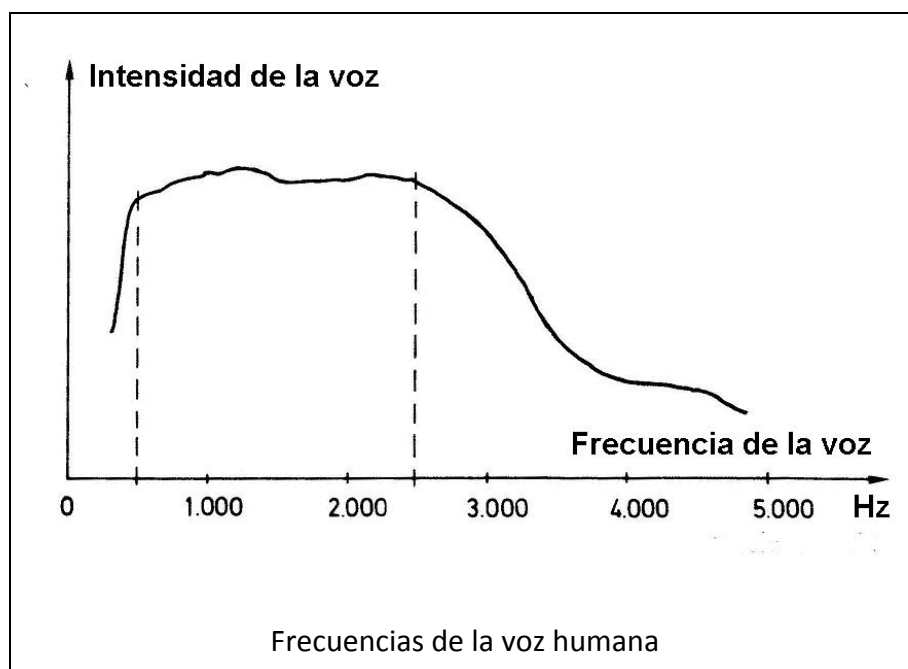


En esta ilustración podemos ver cómo, si a la onda sinusoidal se le van sumando sus armónicos tercero y quinto, la forma de la onda resultante se va aproximando a una onda rectangular o, lo que es casi lo mismo, a una onda sinusoidal recortada por arriba y por abajo.

De aquí deducimos que si a una señal perfectamente sinusoidal la recortamos en la amplificación, lo que realmente hacemos es generar sus armónicos impares.

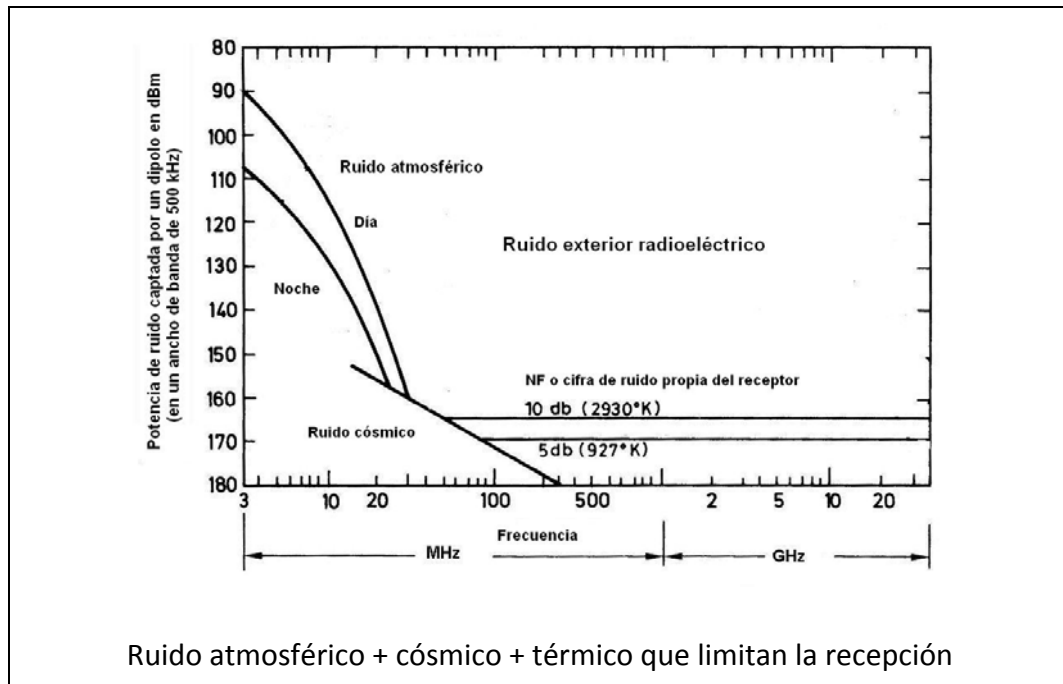
1.7.3 Señales de audio

Las frecuencias de audio son las frecuencias de las vibraciones que el oído humano puede captar y tienen frecuencias comprendidas entre 10 y 20.000 Hz o ciclos por segundo.



1.7.4 Ruido

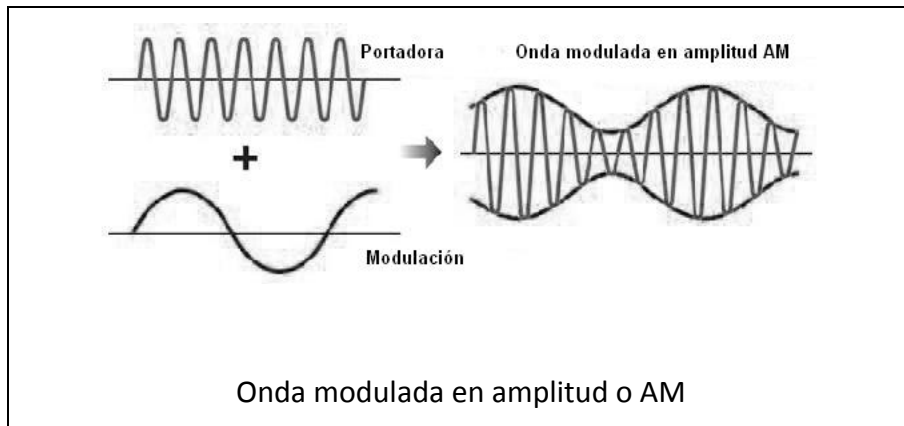
En primer lugar, en todas las comunicaciones nos molestan los **ruidos internos** generados por el propio equipo, que se deben reducir al máximo en el diseño. En segundo lugar, el **ruido externo artificial** generado por los aparatos eléctricos y toda clase de chispazos que generan ondas electromagnéticas. Y en tercer lugar, en las bandas de HF (en VHF mucho menos), nos molestan los **ruidos externos naturales**, entre los que destacan los rayos de las tormentas, la radiación solar, los rayos gama y los rayos cósmicos.



1.8 Señales moduladas

Las ondas de radio nos permiten transportar una información a gran distancia, de forma que tan solo necesitamos superponerles esa información para que la transporten hasta el otro extremo de la comunicación a gran distancia. Esta onda de radio recibe el nombre de portadora.

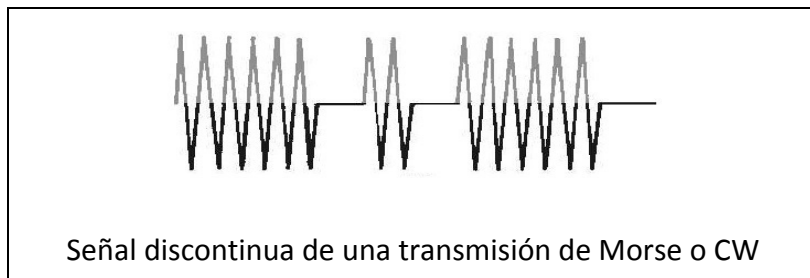
La señal moduladora es la señal que contiene la información que queremos transportar por medio de la onda electromagnética y que superpondremos a la portadora que la transporta.



1.8.1 Onda continua (CW)

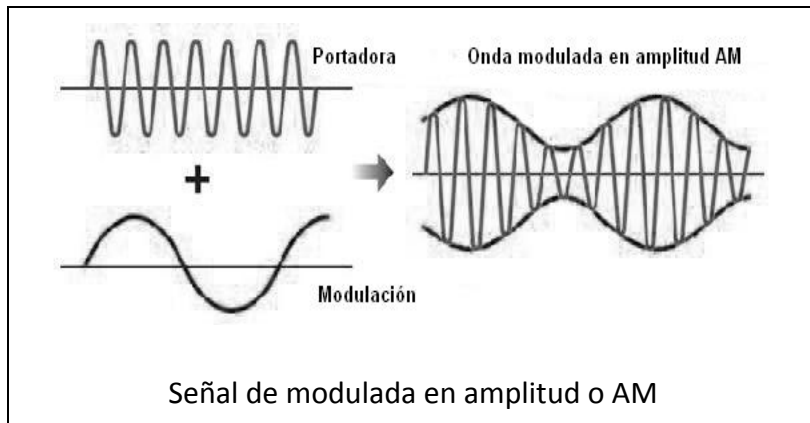
La forma más simple de transmitir señales es similar a la utilizada con señales de humo de una hoguera de las tribus primitivas. Se pueden enviar señales transmitiendo o no una señal portadora. Esto permite el envío de información mediante señales codificadas con el llamado código Morse, compuesto por combinaciones de transmisiones cortas (puntos) y largas (rayas).

Recibe el nombre en inglés de *Continuos Wave* (Onda continua), aunque hubiera sido mejor que la llamaran onda discontinua.



1.8.2 Modulación de amplitud (AM)

La modulación de amplitud fue el primer sistema de modulación que se inventó para transmitir la voz por medio de una señal electromagnética portadora. Esta se modifica de forma que la amplitud de la señal aumenta y disminuye siguiendo las variaciones eléctricas que siguen el ritmo de la voz humana, que han sido obtenidas mediante un micrófono y convenientemente amplificadas.



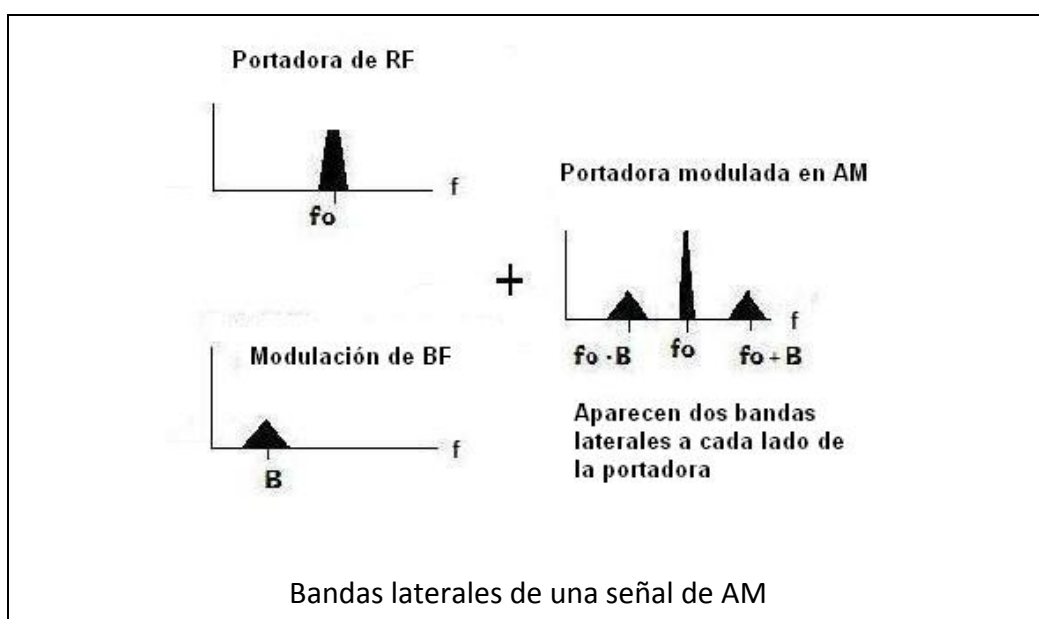
Puedes ver una demostración de la modulación de amplitud en este vídeo:

<http://www.youtube.com/watch?v=3ZMPcPR7W3Q>

1.8.2. b Bandas laterales

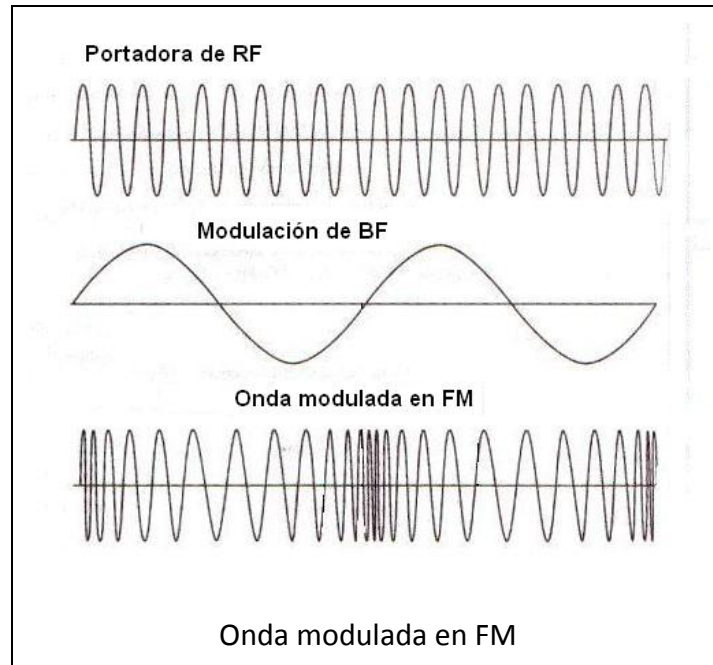
Al modular una señal en amplitud, en el espectro de frecuencias aparecen lo que se llama bandas laterales, sendas frecuencias, una a cada lado de la portadora, que se suman a la portadora y que difieren de ella en la frecuencia de la señal moduladora.

Realmente una señal modulada en amplitud, además de verse como una señal cuya amplitud varía con la modulación, también puede verse espectralmente (en cuanto a frecuencias) como la suma de una portadora central que no varía en amplitud y de dos bandas laterales que aparecen cuando hay modulación. Así podemos decir que en el espectro de frecuencias la energía de la modulación aparece en las dos bandas laterales, mientras que la amplitud de la frecuencia portadora queda fija.



1.8.3 Modulación de frecuencia (FM)

La modulación de frecuencia se consigue haciendo que la frecuencia de la onda electromagnética varíe siguiendo las señales eléctricas de de la voz humana, captadas por un micrófono.



Puedes mucho ver mejor en este vídeo qué es la modulación de frecuencia:

<http://www.youtube.com/watch?v=ens-sChK1F0&feature=related>

1.8.4 Modulación de fase (PM)

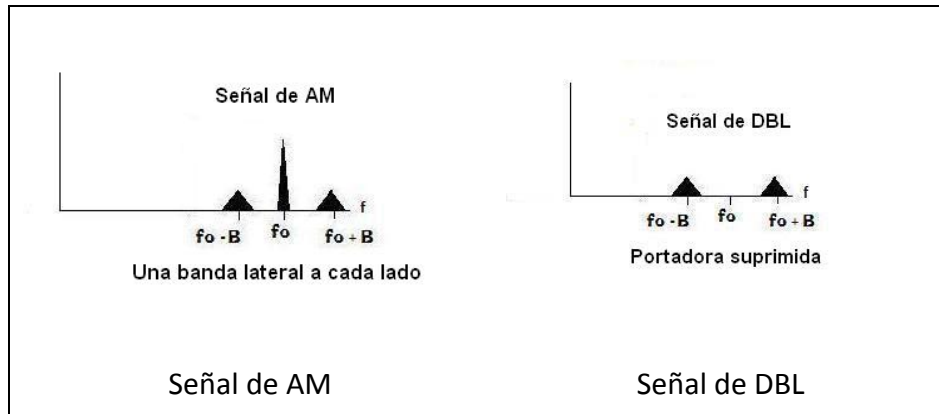
La modulación de fase PM (de *Phase Modulation*) consiste en que variamos la fase de la señal electromagnética radiada siguiendo las variaciones de la voz humana. En la práctica no se distingue de una modulación en frecuencia, pues al variar la fase, lo que en realidad hacemos es acortar o alargar el periodo de unos ciclos de la señal portadora, lo que representa hacer variar su frecuencia.

1.8.5 Modulaciones de banda lateral (DBL, BLU)

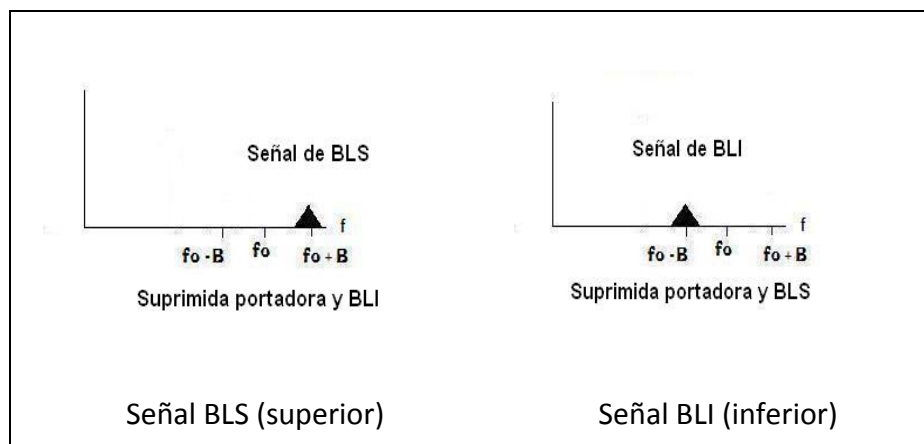
Una señal modulada en amplitud, podemos observar en un analizador de espectros que se puede descomponer en una frecuencia central (la de la portadora) y en dos bandas laterales, una a cada lado de la portadora y que difieren de ella en una frecuencia igual a la de la señal moduladora.

Para ahorrar energía emitida, como toda la información está en las bandas laterales, podemos intentar suprimir la portadora de una señal de AM y nos evitaremos tener

que amplificarla, dejando solo las dos bandas laterales, la superior y la inferior. Así tenemos una señal de Doble Banda Lateral DBL.



Pero también, toda la información de la modulación se encuentra ya en una sola de las bandas laterales, pues la otra banda lateral contiene exactamente la misma información. Podemos dejar una sola de las dos laterales y obtener una señal de Banda Lateral Única (BLU o SSB del inglés *Single Side Band*), lo que nos costará de amplificar mucha menos energía que transmitir una señal completa de AM.



1.8.6 Modulaciones digitales

Las señales digitales son aquellas que se componen de códigos binarios, compuestos por combinaciones de unos y ceros, equivalentes a la presencia o ausencia de una señal moduladora que consta de los valores 1 y 0.

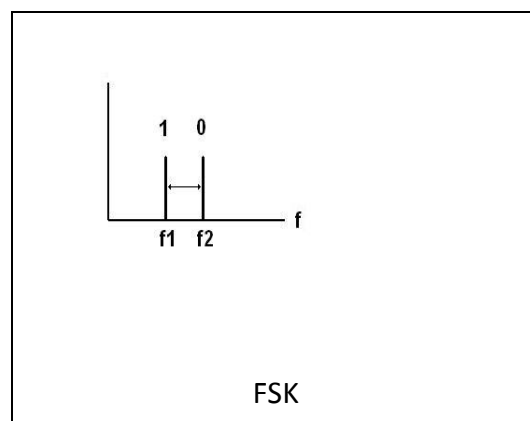
La voz humana puede ser transmitida como una señal digital, si previamente se digitaliza y convierte en valores numéricos binarios. Con estos números binarios podemos modular posteriormente de alguna forma una onda electromagnética portadora, para luego, finalmente, sintetizar la señal de audio nuevamente para reconstruir la voz en el otro extremo de la comunicación.

1.8.6.1 FSK o modulación por desplazamiento de frecuencia

La FSK (del inglés *Frequency Shift Keying*), o modulación por desplazamiento de frecuencia, es una modulación digital que marca los 1s y 0s haciendo saltar la portadora de una a otra de dos frecuencias concretas fijas.

Es muy distinta de una modulación de frecuencia puesto que la modulación de frecuencia (FM) es una modulación que varía la frecuencia de la portadora de una forma continua, siguiendo las variaciones de la voz.

En cambio, la transmisión FSK cambia la frecuencia de emisión entre dos frecuencias, pero no genera bandas laterales.



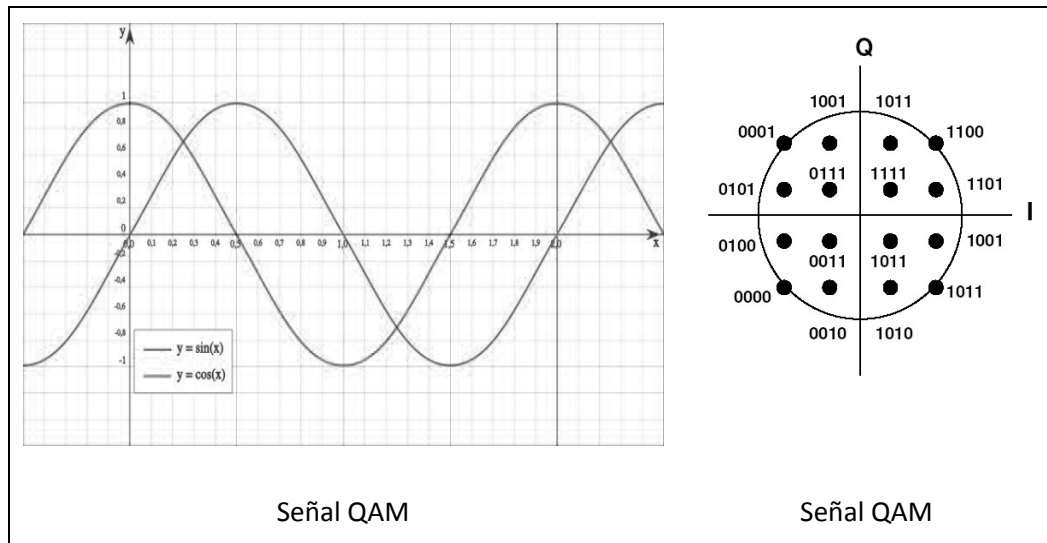
1.8.6.2 Modulaciones 2-PSK Y 4-PSK o modulaciones por desplazamiento de fase

La 2-PSK y la 4-PSK son modulaciones digitales que saltan entre unas fases fijas, normalmente entre dos fases que difieren en 180 grados, en el caso de la 2-PSK, y entre 4 fases que difieren en 90 grados en el caso de la 4-PSK. Es una sola portadora que cambia entre 2 o 4 fases.

1.8.6.3 QAM

La modulación en cuadratura tiene una cualidad especial que le permite que dos señales en cuadratura no se interfieran porque, aunque tienen la misma frecuencia, están desfasadas 90 grados y la amplitud máxima de una coincide con los ceros de la

otra y viceversa. Así que pueden transportar información independientemente, información que se modula en amplitud, de ahí le viene el nombre *Quadrature Amplitude Modulation*.



1.8.7 Tasa de bit, tasa de símbolo (baudios) y ancho de banda

La Tasa de bits es la cantidad de bits transmitida por segundo, es decir la cantidad de 1s y 0s en total transmitida por segundo.

La tasa de símbolo es la que obtenemos cuando agrupamos bits para enviar más información mediante combinaciones a las que damos valores diferentes. Por ejemplo. Si los bits los agrupamos de 2 en 2 bits, podemos transmitir 4 símbolos diferentes con sólo 2 bits. 00, 01, 10, 11, con lo que se aumenta la capacidad del canal para transmitir información, en cuyo caso la velocidad se mide en baudios. Se puede obtener una mayor tasa de símbolo con una misma tasa de bits.

El ancho de banda digital es la cantidad de datos máximo que pueden transmitirse por segundo en bits por segundo por un canal. Pongamos por ejemplo que un sistema ADSL puede transmitir con un ancho digital de 1, 3, 6 o 10 Mbits/s.

1.8.8 Detección y corrección de errores (CRC y FEC)

La corrección por CRC (*Cyclic Redundancy Check* = Comprobación por redundancia cíclica) consiste en añadir una información suplementaria al mensaje digital (como por ejemplo la suma de los bits de todo el mensaje), información que en la recepción sirve (si no cuadra la suma) para descubrir la existencia de un error o más de uno y solicitar, en consecuencia, la repetición del envío del mensaje entero. Para reparar un fragmento de mensaje erróneo, debe solicitarse y obtenerse la repetición completa del mensaje.

La corrección por FEC (*Forward Error Correction* = Corrección de errores hacia delante), en cambio, consiste en añadir bits adicionales al mensaje, los cuales permitirán reconstruir y reparar los errores sobre la marcha, sin necesidad de solicitar la repetición.

En la corrección por CRC enviamos menos información redundante, pero, excepcionalmente, se tiene que volver a enviar todo otra vez, con lo que puede ralentizarse mucho la transmisión en canales ruidosos. En cambio, con la corrección por FEC, ya nos anticipamos y colocamos suficiente redundancia para que no sean necesarias las repeticiones.

1.9 Potencia y energía

La potencia es posibilidad de realizar un trabajo en cada segundo (vatios). Podemos disponer de mucha potencia, pero mientras no la utilizemos no consumimos energía.

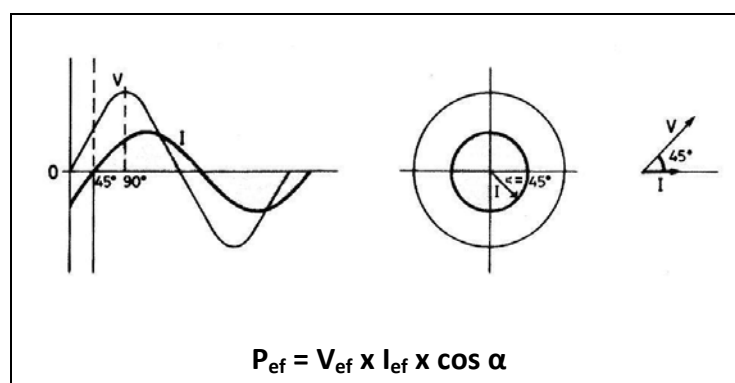
Por otra parte, la energía consumida es la potencia utilizada realmente y, por tanto, tiene en cuenta el tiempo de utilización y se obtiene multiplicando la potencia posible por el tiempo (en horas) en que hemos usado realmente esa potencia y se mide en vatios-hora o kilovatios-hora (mil vatios-hora). Obsérvese el guión entre kilovatios y hora.

1.9.1 Potencia de las señales sinusoidales

Cuando se trata de señales sinusoidales, hay que tener en cuenta que, debido a fenómenos de reactancia que se explicarán en la lección 2, puede ser que la tensión y la corriente no tengan la misma fase y, por tanto, aunque tengan la misma frecuencia, puede ser que sus máximos y mínimos no pulsen al mismo tiempo.

Por tanto, siempre para obtener la potencia real o activa en corrientes alternas sinusoidales hay que tener en cuenta este desfase entre corriente y tensión, y multiplicar las magnitudes V e I por el coseno del ángulo del desfase (si lo hubiere) entre las dos sinusoides de las curvas de la tensión (V) y de la corriente (I) cuando no pulsan al mismo tiempo.

$$W = V \times I \times \cos \alpha$$



Cuando la tensión y corriente pulsan con la misma fase, el ángulo de desfase es nulo y $\cos(\alpha) = 1$, de forma que es válida la fórmula $W = V \times I$

1.9.2 El belio y el decibelio (dB)

Las ganancias son factores ($G = P_S/P_e$) que hay que ir multiplicando entre ellos al añadir etapas y haciendo divisiones cuando se trata de atenuaciones, de forma que al añadir etapas sucesivas, las operaciones se hacen cada vez más complejas y difíciles de calcular, por lo que se prefiere aplicar logaritmos y transformar las multiplicaciones y divisiones en sumas y restas.

Estos logaritmos nos permiten sumar y restar las ganancias de cada etapa en lugar de tener que ir multiplicando factores de amplificación y atenuación, multiplicaciones y divisiones que pueden llegar a ser muy complejas si se requiere cierta precisión.

Por tanto la ganancia que proporciona un amplificador con **salida W_s** al que se le ha aplicado una potencia de **entrada W_e** se calculan por medio de la fórmula:

$$G (\text{Belios}) = \log (W_s/W_e)$$

De esta forma podremos sumar ganancias y restar atenuaciones, en lugar de multiplicar y dividir por factores.

1.9.2.b El decibelio

Al aplicar los logaritmos, la unidad de medida de ganancia se llama belio (B) [$G = \log (P_s/P_e)$], pero esta unidad resultó demasiado grande en la práctica y se decidió utilizar el decibelio, que es la décima parte del belio y multiplicar siempre los belios por 10 para obtener los decibelios de ganancia en potencia y por 20 para obtener las ganancias de tensión y corriente.

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

Como ejemplo, para los que no dominan los logaritmos, ponemos una tabla de ganancias de potencia en decibelios y sus equivalentes en multiplicador:

3 dB equivalen a una relación de potencias de 2

6 dB equivalen a una relación de potencias de 4

10 dB equivalen a una relación de potencias de 10

20 dB equivalen a una relación de potencias de 100

30 dB equivalen a una relación de potencias de 1000

40 dB equivalen a una relación de potencias de 10000

1.9.2.c Ganancia de tensión y de corriente

En las ganancias de corriente y de tensión sobre una misma resistencia de carga hay que multiplicar los resultados por 2 para obtener los decibelios de ganancia en potencia.

En efecto, al aplicar logaritmos y comparar potencias midiendo solo la tensión sobre una misma carga, vemos que la potencia es proporcional al cuadrado de la tensión ($W = V^2/R$), por lo que al aplicar logaritmos nos aparece un 2 multiplicando el aumento de tensión sobre una misma resistencia. En este caso, la ganancia de potencia como multiplicador sería:

$G = W_s/W_e = (V_s^2/R)/(V_e^2/R) = (V_s/V_e)^2$ y al aplicar los logaritmos, el exponente del cuadrado pasa a multiplicar el logaritmo, por lo que para calcular la ganancia de potencia en decibelios midiendo tensiones, nos quedaría:

$$G \text{ (dB)} = 20 \times \log (V_2/V_1)$$

Del mismo modo, al aplicar logaritmos y comparar potencias midiendo solo la corriente, vemos que la potencia es proporcional al cuadrado de la corriente ($W = I^2R$), por lo que al aplicar logaritmos, el cuadrado nos aparece como un 2 multiplicando el aumento de corriente sobre una misma resistencia. En este caso la ganancia como multiplicador es: $G = (I_s^2R)/(I_e^2R)$. De esta forma, al aplicar logaritmos, la ganancia de potencia en decibelios midiendo corrientes quedaría:

$$G \text{ (dB)} = 20 \times \log (I_2/I_1)$$

De este modo, para los que no dominan los logaritmos, si comparamos tensiones o intensidades sobre una misma carga y queremos deducir la ganancia de potencia, la tabla sería:

6 dB equivalen a una relación de tensiones o intensidades de 2

12 dB equivalen a una relación de tensiones o intensidades de 4

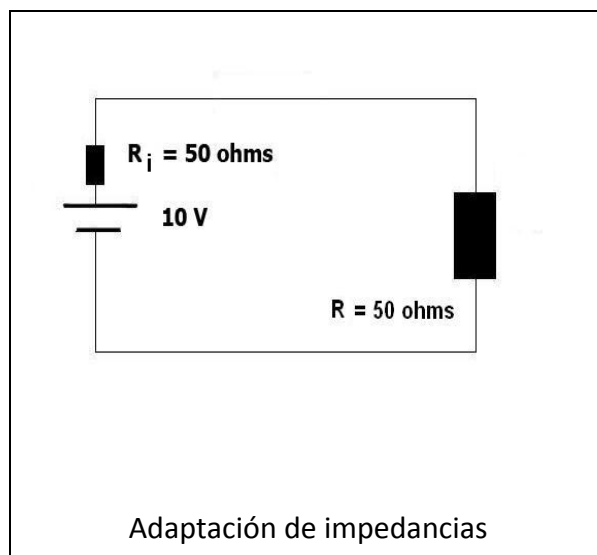
20 dB equivalen a una relación de tensiones o intensidades de 10

40 dB equivalen a una relación de tensiones o intensidades de 100

1.9.3 Adaptación de impedancias y máxima transferencia de potencia

La perfecta adaptación de impedancias es indispensable para la transmisión de la potencia máxima, o sea que la impedancia de entrada del elemento que recibe la potencia debe ser igual a la impedancia interna de salida de la fuente que la suministra (o debe tener una impedancia conjugada, pero eso no nos interesa aquí).

Así, por ejemplo, si un amplificador tiene una impedancia interna de salida R_i de 50 ohmios, la carga que recibe, para obtener la máxima potencia posible, debe tener también 50 ohmios de impedancia.

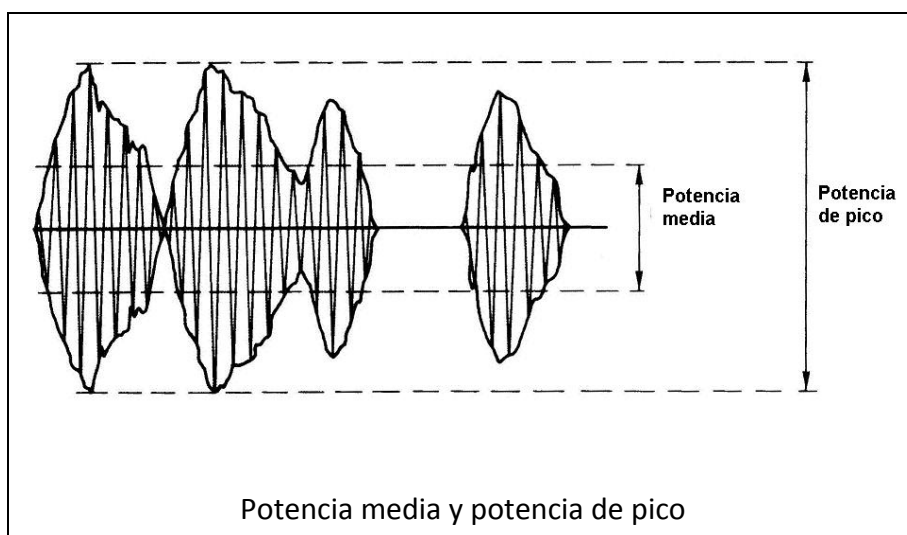


Incluso en un circuito con batería y resistencia, se consigue obtener la máxima potencia n la resistencia de carga cuando $R_i = R_c$.

1.9.4 Potencia de cresta o de pico

Las señales alternas de una transmisión modulada varían en el tiempo entre un máximo positivo y un máximo negativo, de forma que la potencia que entregan no es constante. Si nosotros intentamos medirla con un vatímetro, en realidad la potencia varía tan rápidamente que el instrumento no puede seguirla y la potencia que mediremos con un instrumento siempre será una potencia media, muy inferior a la máxima.

Pero a nosotros nos interesa saber qué valor máximo llega a alcanzar esta potencia, o sea el valor de cresta o de pico (PEP de *Peak Envelope Power*) sin distorsión. Este valor de cresta es el producto del valor eficaz de la tensión, en el ciclo en el que se alcanza la máxima tensión alterna posible sin distorsión, por el valor eficaz de la corriente en ese mismo instante: $P_{pep} = V_{ef} \times I_{ef}$.



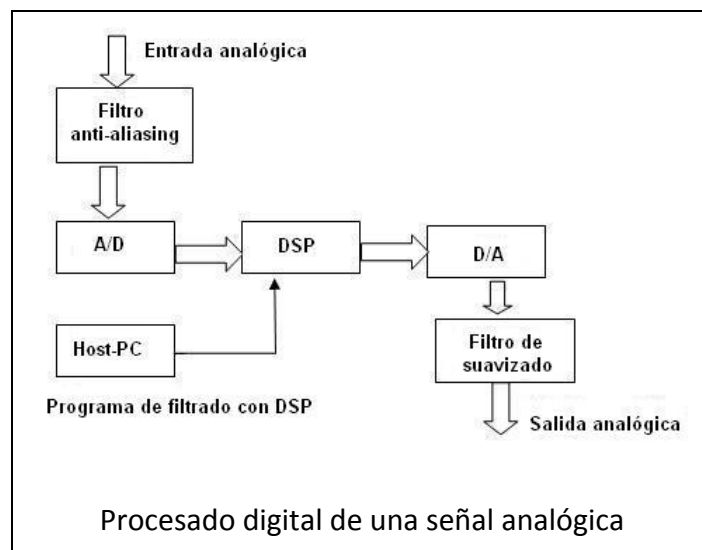
1.10 Procesado digital de señal (DSP)

El procesado digital de las señales nos permite hacer operaciones mucho más complejas durante el tratamiento de los datos digitalizados de una señal, que los que podríamos realizar con elementos y componentes analógicos, mediante la utilización de un procesador muy sofisticado llamado DSP de *Digital Signal Processor*.

Para poder procesar las señales digitalmente, es preciso que previamente hayan sido digitalizadas por medio de los llamados convertidores Analógicos Digitales (A/D). Estos convertidores se dedican a tomar medidas o muestras de la señal con una gran frecuencia de muestreo y traspasa a un procesador DSP el valor numérico de las magnitudes detectadas en cada ciclo de muestreo para que las procese.

Después de procesadas por el DSP, la señal es reconvertida en analógica por medio de un convertidor digital/analógico (D/A) que realizará el proceso opuesto, o sea la síntesis de la señal analógica a partir de los valores numéricos procesados.

En todo este procesado digital, muy superior al analógico, pagamos el precio de que perdemos un tiempo en el proceso y las señales procesadas se obtienen con cierto retardo.



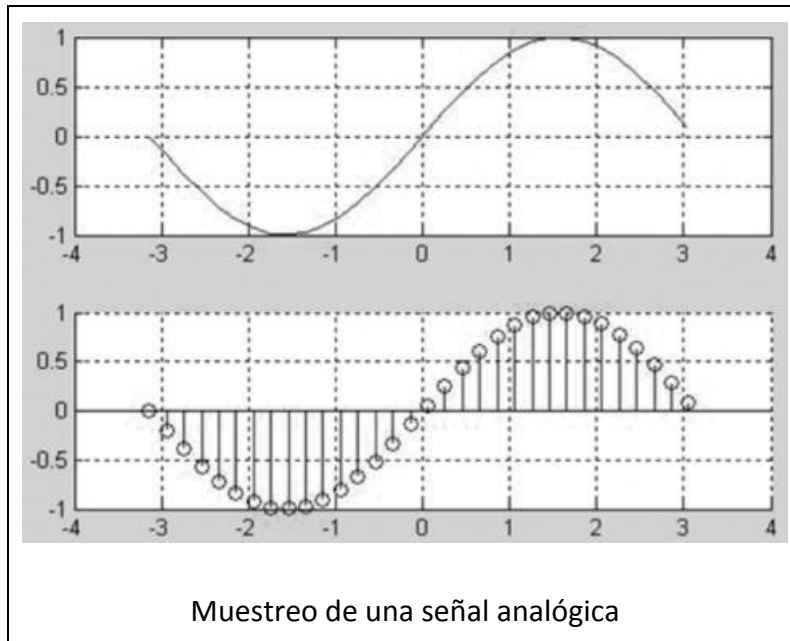
1.10.1 Muestreo y cuantificación

Como ya hemos dicho, la digitalización se realiza tomando muchas muestras con una gran frecuencia de muestreo de los valores variables de la señal analógica a cada instante. Estas muestras nos proporcionan valores numéricos de la magnitud de la señal en cada intervalo, valores que luego procesaremos matemáticamente.

El valor digital que les damos en cada momento a la señal analógica es un valor sin decimales, porque para conseguir suficiente rapidez, el procesador DSP utiliza sólo

números binarios enteros, con un número máximo de bits de 8, 16, 24, 32 o 64 bits. Eso hace que, al asignar la magnitud de cada muestra, se redondee el valor a un número entero binario, de forma que se genera lo que llamamos un error de cuantificación.

Si aumentáramos el número de bits mucho más, el error de cuantificación disminuiría, pero el procesado sería mucho más lento.



1.10.2 Frecuencia mínima de muestreo (frecuencia de Nyquist)

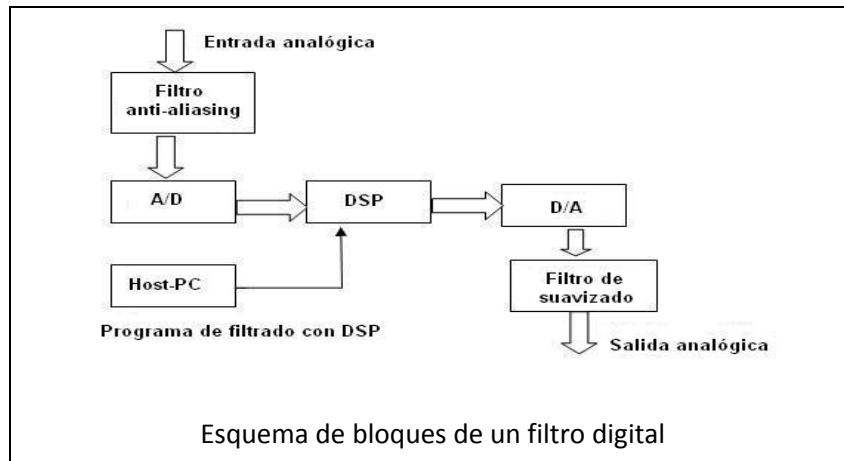
Imaginemos que intentamos digitalizar una señal de 100.000 kHz con una frecuencia de muestreo de 100.000 kHz también. Podría ocurrir que hiciéramos la lectura siempre cuando la señal pasara por cero y dijéramos que no hay ni rastro de la señal cuando eso sería totalmente erróneo.

Si la frecuencia de muestreo es por lo menos del doble (200.000 kHz), nos aseguraremos de que por lo menos cada ciclo de la señal analógica será muestreado por lo menos dos veces y que la señal será detectada, aunque sea con un cierto error de amplitud.

Según demuestra el teorema de Nyquist, debemos tomar las muestras con una frecuencia de muestreo que siempre sea por lo menos el doble de la frecuencia más alta que tenga la señal analógica. De lo contrario, obtendríamos un error excesivamente grande en la lectura.

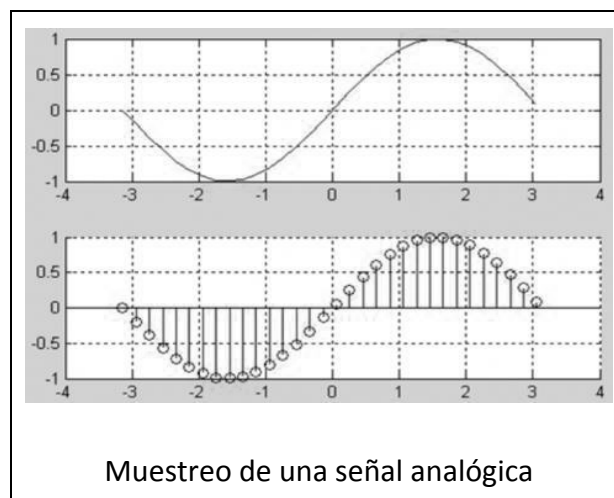
1.10.3 Filtrado anti-solapamiento y de reconstrucción

Para asegurarnos de que se cumple el teorema de Nyquist y de que no entra en el digitalizador o conversor analógico/digital ninguna señal que supere la mitad de la frecuencia de muestreo, debemos colocar antes un filtro pasa bajos llamado filtro anti-aliasing o anti-solapamiento que impida el paso de cualquier frecuencia superior a la mitad de la frecuencia de muestreo.



1.10.4 Conversión analógica digital (A/D) y digital analógica (D/A). Error de cuantificación

Ya hemos explicado la toma de muestras en la digitalización. Luego hay que reconstruir o sintetizar una señal analógica a partir de los valores numéricos ya procesados por el DSP, por lo que nos aparece lo que llamamos un error de cuantificación. Al digitalizar la señal, dividimos la amplitud de la señal en un número de intervalos concreto, por ejemplo con 8, 16, 24 o 32 bits. Por ejemplo, con 8 bits la dividimos en 256 niveles (2^8), pero con 16 bits la repartimos en 65.536 (2^{16}) niveles.



A cada instante del muestreo le atribuimos uno de los 256 valores a la señal que quede entre dos niveles sucesivos. Si los 256 niveles difieren por ejemplo en 0,1 V, cuando digitalizamos una señal de **0,25 V** le adjudicamos un valor de 0,2 V solamente. Luego cuando reconstruyamos la señal le daremos el valor de **0,2 V** a una muestra que originalmente tenía 0,25 V, por lo que se ha producido un error de cuantificación. En cambio, una señal de 0,3 V la reconstruiremos exactamente con los mismos 0,3 V que poseía inicialmente antes de la digitalización.