

CARACTERÍSTICAS DEL SONIDO Y SU REPRODUCCIÓN.

Para que un ser humano escuche un sonido, este tiene que cumplir unas características muy definidas. Debe estar entre un rango de frecuencias audibles por el oído humano y, dependiendo de qué intensidad tenga y cómo sea el timbre del sonido, lo oiremos de una forma u otra.

*José Miguel
Castillo Castillo*

Características del sonido

Si en pleno siglo XX apareciese un hombre de la Edad Media y observase todos y cada uno de los dispositivos electrónicos existentes en la actualidad habría un grupo que destacaría por encima de los demás: los grabadores y reproductores de sonido. Antes de adentrarnos en el mundo de los equipos musicales conviene hacer un paréntesis e intentar comprender qué es y cómo se comporta "el sonido".

¿Cómo se produce el sonido?

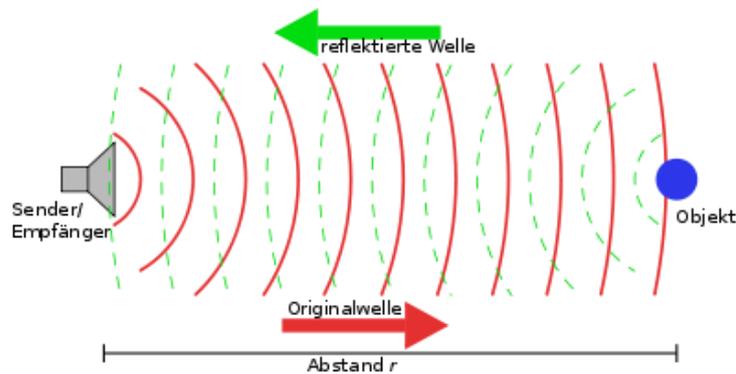


Desde un punto de vista científico se podría decir que el sonido son vibraciones transmitidas como ondas de presión longitudinales. Seguramente, con esta definición nos hemos quedado como estábamos hace un momento. Así pues, vamos a intentar comprender la naturaleza y comportamiento del sonido partiendo desde el principio, como hicieron los que nos precedieron. Todos sabemos lo fácil y gratuito que resulta producir sonido. Pensemos en un acto tan sencillo como puede ser golpear con los nudillos de la mano una mesa, inmediatamente se produce un sonido. Ese sonido tendrá unas características particulares que dependerán del tipo de mesa, del material del que esté hecha, la fuerza con la que la golpeemos, etc. Podríamos preguntarnos ¿por qué el acto de golpear una mesa con los nudillos produce sonido y no lo produce, por ejemplo, el mirarla o el soplar sobre ella? Pues bien, a base de analizar unos sucesos tras otros, llegamos a darnos cuenta de que el sonido se produce siempre que existe algún tipo de vibración en los objetos. Así, en nuestro ejemplo de la mesa, el acto de golpearla hace que ésta comience a vibrar y, por tanto, que produzca sonido. Sin embargo, aún nos quedan unas cuantas consideraciones sobre su comportamiento; por ejemplo, saber cómo es posible que el sonido llegue hasta nosotros si se ha producido en un lugar concreto. Vamos entonces a ver cómo se transporta el sonido de un lugar a otro, por qué no se transmite hasta cualquier distancia sino que se va apagando poco a poco hasta desaparecer.



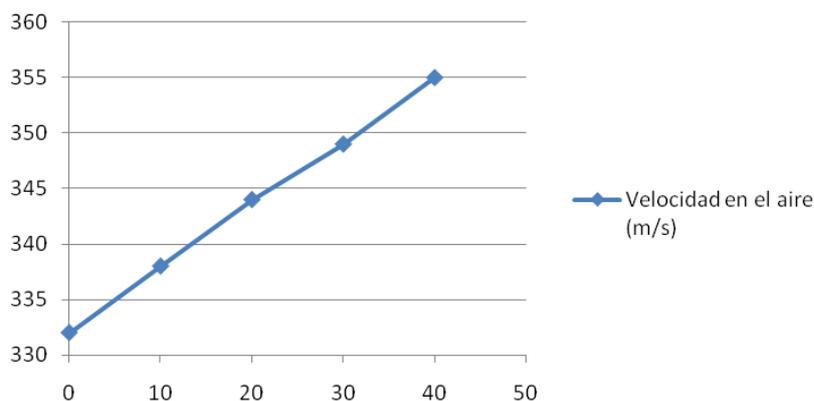
Propagación del sonido

Como hemos dicho al principio, el sonido se propaga como ondas longitudinales de presión. Esto significa que cuando un objeto está vibrando, en realidad, lo que está haciendo es moverse de un lado hacia otro una y otra vez. Este movimiento hace que todo lo que está rodeando al objeto también se empiece a mover - con el supuesto de que el objeto, al vibrar, es como si "empujase" a todo lo que le rodea.



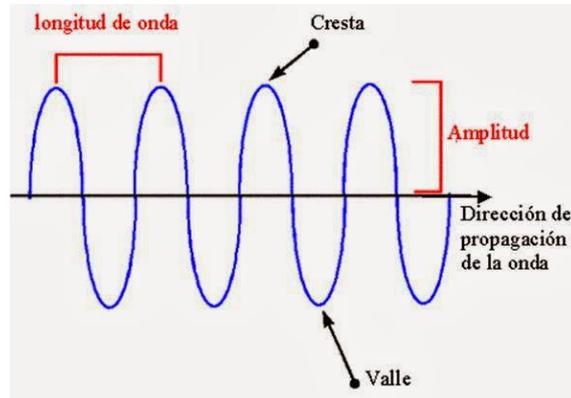
Evidentemente, lo que normalmente rodea a cualquier objeto es aire. Así pues, cualquier objeto al vibrar hace que el aire también comience a vibrar. Para entender esto, podemos pensar en hechos tan cotidianos como puede ser el cerrar la puerta de una habitación bruscamente, las ventanas de dicha habitación se mueven ligeramente. Esto es debido a que al cerrar la puerta, estamos "empujando aire", y este aire a su vez "empuja" en todas las direcciones, en concreto a las paredes de la habitación y, por tanto, empuja ligerísimamente a las ventanas y hace que se muevan. La forma que tienen de transmitirse las vibraciones a través del aire es algo similar al clásico juego de las fichas de dominó colocadas una a continuación de otra. Al empujar la primera ficha, esta golpea a la siguiente y así sucesivamente, de manera que el efecto de golpear una ficha se va transmitiendo a lo largo de todo el recorrido en el que existan fichas. Igualmente, el sonido se transmite siempre que exista algo que contribuya a propagarlo, como puede ser el aire. Sin embargo, el aire no es el único medio en el que se puede propagar el sonido. Cualquier medio material es capaz de hacerlo como, por ejemplo, el agua; aquí también se propaga el sonido, y lo hace de manera similar a como se propaga en el aire. La principal diferencia entre el aire y el agua a la hora de propagar el sonido es la velocidad con la que lo hacen. Como alguna vez hemos oído, la velocidad del sonido es de aproximadamente 330 m/s.

Velocidad en el aire (m/s)



Características del sonido y su reproducción

Esta velocidad se refiere al sonido propagándose en el aire y en unas determinadas condiciones atmosféricas de presión y temperatura. Ya que si éstas varían, también lo hará la velocidad de propagación y la longitud de onda.



En el agua, la velocidad del sonido es mayor que en el aire, ya que las partículas que componen el agua están más "juntas" entre sí y, por tanto, tardan menos en golpearse unas a otras cuando están transmitiendo la vibración que produce el sonido. Esta es la razón por la cual resulta casi imposible capturar un pez con la mano, ya que el ruido que producimos al introducir la mano en el agua es captado casi de forma instantánea por los peces y hace que se alejen del lugar donde lo han oído. En los sólidos, el sonido se propaga aún más rápidamente que en los líquidos como el agua. Un ejemplo se podría ver en una valla metálica con una cierta longitud observando cómo, al golpearla desde un extremo, las vibraciones llegan al otro extremo de forma inmediata. Por el contrario, el sonido no se transmite en el vacío ya que, como su propio nombre indica, carece de partículas que puedan transmitir las vibraciones.

Una vez que sabemos cómo se produce el sonido y cómo se transporta, nos queda el último paso para completar el proceso de producir un sonido y oírlo.



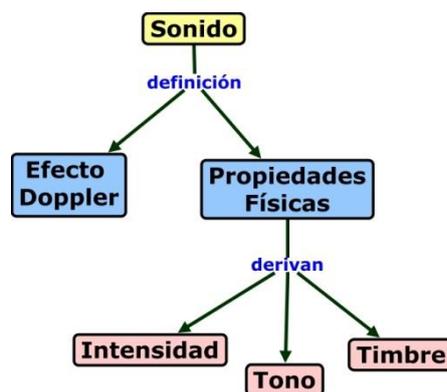
Este último paso es evidentemente el "oído humano". No vamos a entrar en una explicación de anatomía que no viene al caso en nuestra obra, sólo diremos que el oído humano está compuesto por una compleja estructura donde básicamente existe una "especie" de membrana (el tímpano) que, cuando le llegan las vibraciones, comienza a moverse al son de estas. Dichas vibraciones son transformadas en una serie de impulsos nerviosos que son compartidos a través del sistema nervioso hasta el cerebro. Este será quien se encargue de transformar esos impulsos nerviosos en sonidos con todo tipo de detalle sobre su volumen, claridad, duración, etc.

Propiedades físicas del sonido

Las propiedades físicas del sonido son bien conocidas por todos, no obstante, conviene enumerarlas ya que son de vital importancia a la hora de diseñar el dispositivo para su captación o producción, como pueden ser los micrófonos o los altavoces, respectivamente. En primer lugar, diremos que el sonido se propaga en todas direcciones. Así pues, cualquier sonido se puede mandar desde cualquier punto que no diste demasiado del lugar en que se ha producido. Esta propiedad es una de las diferencias más claras y apreciables entre luz y sonido, ya que, como todos sabemos, la luz siempre se propaga en línea recta. Nadie verá un rayo de luz producido, por ejemplo, por una linterna, doblarse y torcer una esquina.

Otra propiedad del sonido es que no llega indefinidamente a cualquier distancia, sino que se atenúa poco a poco hasta desaparecer; ello es debido a que, como en todo movimiento, existe una resistencia entre las partículas del aire a moverse y, por tanto, a transmitir una vibración. Esto provoca que cuanto mayor sea la distancia a la que se ha transmitido la vibración, más partículas han intervenido en ello y, por tanto, más resistencia ha habido para llegar hasta ese punto, originándose entonces una reducción del sonido. Esta atenuación del sonido es mayor en el aire que en el agua y, a su vez, es mayor en el agua que en un sólido. Esto se puede comprobar, por ejemplo, en una piscina. Si nos sumergimos en un extremo de la piscina y alguien se introduce en el otro extremo de la piscina, parece como si lo hubiese hecho justo al lado nuestro ya que el sonido se ha atenuado muy poco comparado con lo que lo habría hecho en el aire. Como ya hemos dicho, donde menos se atenúa el sonido es en los sólidos, prueba de ello son las vías de ferrocarril. Si golpeamos con una varilla metálica sobre la vía del tren y alguien situado a "varios" kilómetros apoyase el oído sobre ésta, el ruido producido por la varilla se oiría gracias a que se ha transmitido por el sólido; sin embargo, si apartase el oído de la vía no oiría nada, ya que, a través del aire, ese ruido se habría "apagado" a pocas decenas de metros de donde se hubiese golpeado la vía.

El sonido tiene tres cualidades físicas que sirven para medirlo cualitativa y cuantitativamente.



En primer lugar está la **intensidad**. Entendemos por intensidad de un sonido la cantidad de energía transmitida por el mismo, es decir, un sonido que lleve implícita mucha energía se dirá que tiene mucha intensidad. El oído humano puede diferenciar "aproximadamente" la intensidad del sonido mediante lo que conocemos por "volumen". Así, cuanto mayor "volumen" tenga el sonido que escuchamos mayor intensidad tendrá.

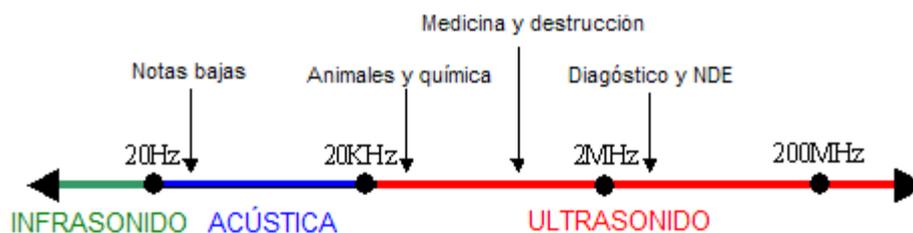
Otra medida característica del sonido es su **frecuencia**, más comúnmente llamada **tono**. La frecuencia de un sonido, como la de cualquier fenómeno físico, es el número de veces que se repite por segundo. Por ejemplo, si nos imaginamos una membrana tensada, como pudiera ser la de un tambor, al golpearla comienza a vibrar. Cuanto más rápidamente vibre, mayor será la frecuencia del sonido que produzca. La forma de hacer que la membrana vibrase más o menos rápidamente sería tensándola o destensándola, es decir, si tensáramos la membrana, al golpearla, comenzaría a vibrar con mayor frecuencia que si la destensáramos.

Cuando un sonido tiene mayor frecuencia que otro, decimos que el primero es más agudo que el segundo. Por el contrario, a los sonidos con menor frecuencia los llamamos graves. En un piano, el sonido que producen las teclas de la mano izquierda son graves y los de la mano derecha son agudos. Esto se debe a que al golpear las teclas, las cuerdas unidas a las de la mano derecha vibran con mayor velocidad que las de la izquierda.

Como tercera cualidad importante del sonido está lo que conocemos como **timbre**. El timbre de un sonido es la cualidad de este por la cual podemos distinguir de dónde proceden los sonidos diferentes pero que tienen la misma frecuencia. Por ejemplo, si emitimos la nota DO con un piano y también lo hacemos con una guitarra, ambos sonidos tienen la misma frecuencia y, sin embargo, somos capaces de distinguirlos debido a que su timbre no es igual.

Frecuencias audibles por el hombre

El oído humano es capaz de percibir sonidos cuyas frecuencias se encuentran en el rango de 20 Hz hasta los 20.000 Hz aproximadamente. Un sonido que se encuentra en el límite de las altas frecuencias en las que el oído es capaz de captarlo podría ser el característico ruido que hacen algunos frenos de coches cuando no están bien, o el de una televisión encendida a la que hemos bajado el volumen, en esa situación se oye un característico ruido, que nos permite saber si la TV está o no encendida sin necesidad de mirar a la pantalla.



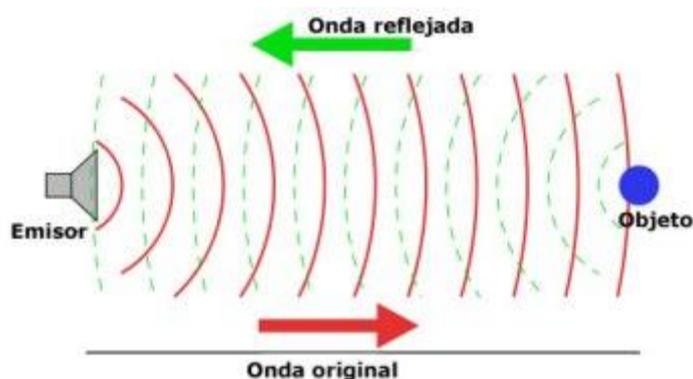
Los sonidos cuyas frecuencias están por debajo de los 20 Hz se llaman **infrasonidos** y, por el contrario, los que tienen sus frecuencias por encima de los 20.000 Hz se conocen como **ultrasonidos**. Al igual que existen animales con una visión más precisa y aguda que la del hombre, como podrían ser las águilas, también existen animales con un oído mucho más sensible y con un margen mayor de frecuencias que el del hombre.

Los perros, por ejemplo, son capaces de captar sonidos por encima de los 20.000 Hz que el ser humano no percibe. De hecho, existen silbatos parecidos a los de los árbitros de fútbol que emiten un pitido que el hombre no percibe pero sí lo captan los perros.

La forma en que se mide la intensidad del sonido es mediante lo que se conoce como sensación sonora. La sensación sonora es, como su nombre indica, el efecto "de volumen" que produce en un oído humano. Se produce un efecto no muy usual, ya que consiste en una escala logarítmica en lugar de lineal. El que la escala sea logarítmica quiere decir que para producir el doble de intensidad de sonido que puede producir, por ejemplo, una persona gritando, serían necesarias 10 personas gritando a la vez, en lugar de las dos que podríamos suponer al querer sólo el doble de sonido. De la misma forma, para producir el triple de intensidad que las demás personas gritando serían necesarias 100 personas. Esto puede explicar, en cierta manera, por qué en un estadio de fútbol, aunque haya pocas personas del equipo contrario animando, se las oye con bastante claridad.

El eco

Como ya sabemos, el sonido es una onda longitudinal que se puede propagar en el aire, agua, etc. Pero ¿qué pasa cuando estas ondas encuentran un obstáculo en su camino de distinta densidad que el medio donde se está produciendo la propagación?. La respuesta es sencilla, las ondas, al chocar, sufren una reflexión, es decir, no atraviesan el obstáculo sino que se reflejan, perdiendo parte de su energía vibrante, lo que va a provocar que disminuya la intensidad. Cuando la onda choca con un sólido, por ejemplo con una montaña, la energía de la onda reflejada es casi igual que la del incidente, debido a que es un objeto que absorbe poca energía y la pérdida por lo tanto va a ser muy escasa. Cuando un oído capta la onda incidente y la reflejada, con un espacio de tiempo entre ambas suficiente para distinguirlas, se está produciendo el fenómeno denominado **eco**. Este período de tiempo para que el oído distinga bien los dos sonidos es, como mínimo, de 0,1 segundos y, teniendo en cuenta la velocidad del sonido en el aire a 20º, que es aproximadamente de 340 m/s, podemos calcular que la distancia mínima para que se produzca eco tiene que ser de 17 metros entre la persona que lo va a escuchar y el objeto que lo va a reflejar.



El sonido también puede refractarse, lo cual significa que puede cambiar su dirección al propagarse. La refracción se produce al pasar de un medio a otro de distinta velocidad. El ejemplo más típico se produce en la atmósfera, donde hay una variación de la temperatura de un sitio a otro. La dirección de propagación cambia constantemente y, por esta razón, en vez de propagarse el sonido en línea recta, lo hace transformándose en una curva.

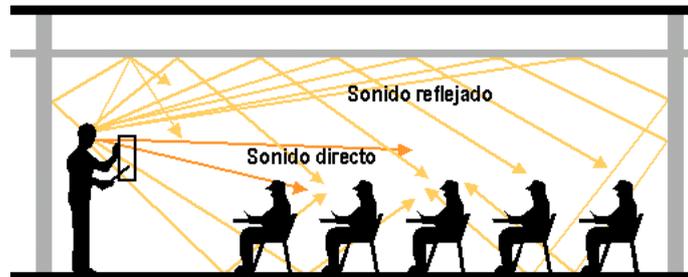
Normalmente, la temperatura disminuye según nos alejamos del suelo, por eso el sonido se curva hacia arriba.

En algunos casos, la temperatura aumenta según aumenta la altura, en esta situación el sonido se va a curvar hacia abajo por lo que podrá oírse mucho mejor en una zona más amplia.

La reverberación

Otro fenómeno que se produce debido a la reflexión del sonido es la **reverberación**. La reverberación se produce cuando existen sucesivas reflexiones del sonido en distintas superficies. El ejemplo más común es un local donde al emitirse el sonido se va a reflejar en el suelo, en el techo, paredes, etc. Si los objetos que se encuentran son buenos reflectores del sonido, este puede estar reflejándose durante un largo tiempo, mezclándose así unos sonidos con otros y dando lugar a una acústica muy mala. Esto se suele arreglar colocando materiales en el techo, paredes, suelo, etc., que absorban mucho el sonido, produciendo por tanto una disminución de la intensidad en cada reflexión.

Se denomina **tiempo de reverberación** al tiempo que transcurre desde que deja de producirse la emisión de un sonido hasta que la intensidad de dicho sonido se hace 1.000.000 de veces menor. Este tiempo ha de ser bastante pequeño para que la calidad del sonido en un local sea buena, pero no debe ser tan pequeño como para que no se oiga bien lo que está diciendo, por ejemplo, un conferenciante. Por lo tanto, dependiendo de la utilidad que le vayamos a dar a un local o a otro, así deberá ser su tiempo de reverberación. En una sala de fiestas consideraríamos un tiempo de reverberación bueno si éste se encuentra alrededor de dos segundos. Sin embargo, en una fábrica, donde el sonido que se produce es un ruido molesto que nadie tenga que escuchar, cuanto menor sea el tiempo de reverberación, mejor.



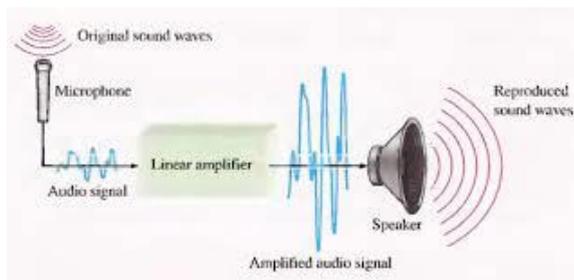
Medida del sonido

La unidad que se usa para comparar la intensidad de dos sonidos es el **bel**, aunque normalmente se usa un submúltiplo que se denomina **decibelio** (dB). El oído humano puede captar desde casi los 0 dB hasta aproximadamente 100 dB. A partir de los 120 dB nuestro oído empieza a sentir una sensación dolorosa. Para familiarizarnos con esta unidad de sonido, podríamos decir que un susurro al oído es unos 20 dB. El tráfico intenso suele estar alrededor de los 70 dB y un avión situado a unos 100 metros de distancia supone unos 120 dB para el oído. El bel no es una unidad absoluta sino que se refiere a un patrón, como hemos dicho mide la intensidad de sonido comparada con la intensidad de otro sonido patrón que corresponde a la intensidad umbral del sonido a una frecuencia de 1.000 Hz.

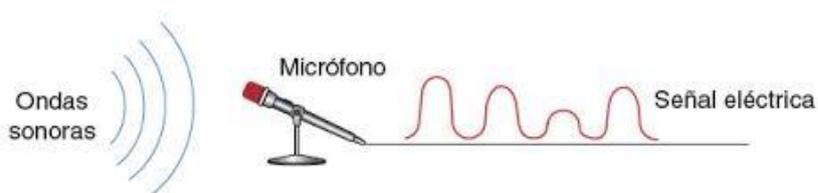


Niveles de sonido en decibelios	
Silencio	0
Pisada	10
Hojas de árboles en movimiento	20
Coversación en voz baja	30
Biblioteca	40
Despacho tranquilo	50
Conversación	60
Tráfico de la ciudad	80
Aspiradora	90
Motocicleta con tubo de escape	100
Concierto Rock	120
Martillo neumático	130
Despegue de un avión a reacción	150
Explosión de un artefacto	180

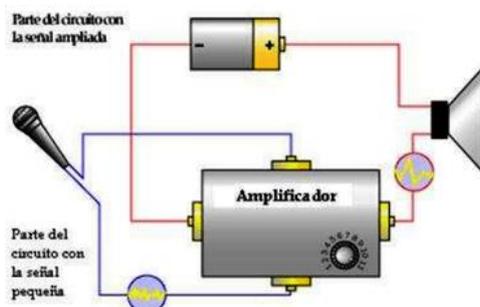
El último paso del ciclo realizado por el sonido desde que es captado por un micrófono, convertido en impulsos eléctricos, filtrado y amplificado, es el ser reconvertido de impulsos eléctricos a ondas sonoras. Este último paso es realizado por los altavoces.



Hasta ahora hemos visto cómo convertir el sonido (ondas sonoras) en señales eléctricas. Para realizar esta conversión era necesario recoger el sonido por medio de los micrófonos.



Una vez que teníamos señales eléctricas, podíamos jugar con estas variando sus propiedades, es decir, su frecuencia o su intensidad. Sin embargo, todavía nos falta el último elemento necesario para producir sonido: nos estamos refiriendo a los altavoces o a los auriculares. En primer lugar vamos a ver la diferencia entre los altavoces y los auriculares. Los auriculares son conocidos más comúnmente como "cascos", mientras que los altavoces son las cajas acústicas que todos conocemos. Desde el punto de vista electrónico, la principal diferencia que existe entre ambos es que mientras los auriculares necesitan una pequeñísima cantidad de energía para funcionar, los altavoces, por el contrario, precisan una gran cantidad de energía, tanto más cuanto mayor sea su potencia, para producir el sonido. Esta es la razón por la que los auriculares dejan de ser audibles a muy pequeña distancia mientras que los altavoces no.



Los auriculares se podrían clasificar en dos tipos bien diferenciados: auriculares dinámicos y auriculares de cristal o piezoeléctricos. En lo que respecta a los altavoces, no existe una única clasificación tan clara como en los auriculares. Según nos refiramos a una u otra característica de los altavoces se podría clasificar de una u otra forma. Según el mecanismo eléctrico por el cual producen sonido, cabría diferenciar cuatro tipos: altavoces dinámicos, electrodinámicos, electrostáticos y piezoeléctricos. Según las partes mecánicas de que están compuestos, se podrían clasificar en altavoces de bobina móvil o altavoces de hierro móvil. Según los elementos acústicos, se podrían distinguir tres tipos de altavoces: altavoces de membrana metálica, de membrana cónica de carbón o de aire comprimido. Y, por último, según el rango de frecuencias del sonido que reproducen, se podrían clasificar en cuatro tipos diferentes: altavoces de uso general, altavoces para frecuencias graves, altavoces para frecuencias intermedias y altavoces para frecuencias agudas.

Auriculares dinámicos y de cristal

Los auriculares dinámicos son los que vulgarmente conocemos por el nombre de "cascos". En su esquema constan básicamente de seis partes: en primer lugar tenemos un imán permanente que le rodea, cuya función es magnetizar dos piezas polares alrededor de las cuales van enrolladas unas bobinas de hilo muy fino formando cientos de espiras. Cerca de estas bobinas está el diafragma, el cual no es más que una membrana de acero o de hierro dulce tensada.



Todo este conjunto se encuentra encerrado en una caja de material aislante, generalmente de forma cilíndrica. Esta caja, a su vez, lleva una tapa enroscada con un orificio en el centro, a través del cual sale el sonido producido por el auricular. Al aplicar una tensión alterna a la bobina, comienza a circular corriente eléctrica a través de ella, produciendo por lo tanto un campo magnético en una u otra dirección. Este campo magnético actúa directamente sobre la membrana, atrayéndola o rechazándola. Esta sucesión de movimientos de la membrana provoca vibraciones que son la causa del sonido que escuchamos. Sin la magnetización previa del imán permanente, la membrana sería atraída cada semiperíodo y, por lo tanto, oscilaría a una frecuencia doble de la oscilación de la tensión alterna que se aplica a las bobinas, lo cual no interesa. La impedancia de unos auriculares dinámicos oscila entre los 10 ohmios y los 2.000 ohmios, pudiendo incluso superarla en algunos modelos.

La sensibilidad de un auricular se mide en dB de nivel de presión sonora por mW.

La curva característica de frecuencia de un auricular consiste en representar gráficamente la sensibilidad en decibelios frente a la frecuencia en hercios. Los auriculares dinámicos presentan una curva bastante uniforme para toda la gama de audio, la cual va desde los 20 hasta los 20.000 Hz. Esto significa que presentan unas características de reproducción bastante aceptables, puesto que tanto sonidos graves como agudos son oídos con la misma intensidad.

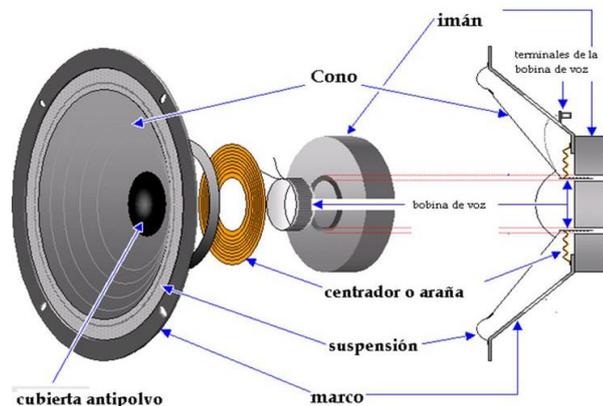
La estructura de los auriculares de cristal es muy similar a la de los altavoces de cristal, con la salvedad de su tamaño, siendo los primeros de dimensiones mucho menores que los segundos. La conexión de un auricular de cristal a un amplificador se hace a través de un condensador y una resistencia conectados en paralelo, ya que la impedancia de estos auriculares es muy alta (entre 50 y 100 K Ω por par).

La curva característica de frecuencias de un auricular de cristal no es tan uniforme como la de los dinámicos, siendo más audibles los sonidos de bajas frecuencias que aquellos con frecuencias mayores; por tanto, los sonidos graves se oirán con mayor intensidad que los agudos.

Altavoces dinámicos

El altavoz dinámico es, con diferencia, el más utilizado en la alta fidelidad por sus grandes prestaciones y características, en general superiores a los demás tipos. Un altavoz dinámico básicamente se puede dividir en nueve partes. El "cono" o diafragma está hecho de un material ligero con el fin de poder responder lo más rápidamente posible a las vibraciones inducidas sobre él. Es el causante último de la vibración del aire. Su forma es muy diversa dependiendo principalmente de tres factores: de la frecuencia a reproducir, de la directividad requerida y de la potencia admisible. La "campana" es el alojamiento del cono. Esta es su única finalidad, junto con la de sujeción del altavoz a la caja acústica mediante los tornillos adecuados. El "imán permanente" es el sistema de excitación del altavoz; al ser un imán permanente, genera un campo magnético constantemente que será, a la postre, el causante de la fuerza que se ejerza sobre el diafragma. Actualmente, estos imanes están fabricados con óxidos ferromagnéticos. Este material permite conseguir inducciones magnéticas muy superiores a las de los imanes clásicos, además de poseer un peso considerablemente inferior.

Despiece del altavoz dinámico



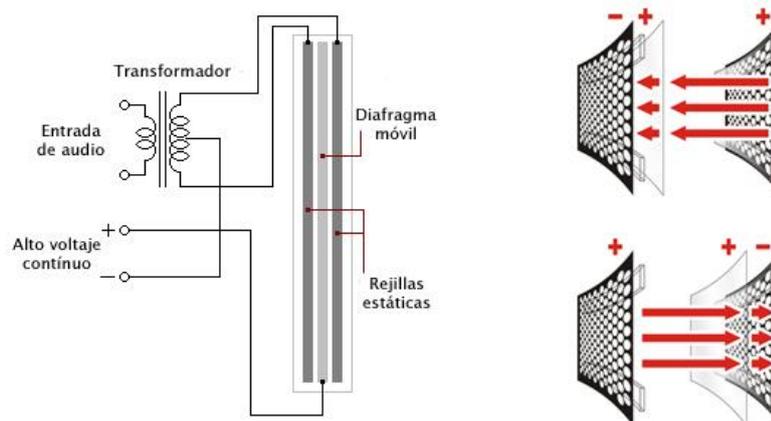
El "yugo" es otra de las partes del altavoz. Al igual que la campana aloja el diafragma, el yugo soporta en su interior al imán permanente, cuya principal característica es que ha de estar fabricado con un material de gran permeabilidad, con el fin de aislar lo mejor posible el campo magnético producido por el imán permanente y así poder sacar el máximo rendimiento de dicho imán. La "bobina móvil" está constituida por un hilo delgado de cobre o aluminio, el cual va a ir enrollado sobre un tubo cilíndrico. Este conjunto ha de estar perfectamente sujeto para evitar movimientos debido a las vibraciones propias del altavoz y de las fuerzas electromagnéticas ejercidas sobre la bobina. El soporte de la bobina se recubre de un barniz para evitar desperfectos producidos por la humedad. El grosor del hilo dependerá de la carga a la que se someta el altavoz, siendo más grueso cuanto mayor potencia tenga. La "araña" tiene la misión de centrar la bobina móvil en el entrehierro, a fin de que no se produzcan rozamientos de la bobina con el imán permanente ni con el yugo. Está situada entre el diafragma y la bobina móvil. Existen varios tipos de arañas, cuyas propiedades serán mejores o peores según la potencia y frecuencia para la que están diseñados los altavoces. La "tapa" va colocada en el interior del cono. Su finalidad es simplemente la de retener el polvo y evitar, por tanto, que se vaya acumulando, ya que esto daría lugar a una posible inmovilización de la bobina móvil.

Altavoz electrodinámico

El altavoz electrodinámico está basado en los mismos principios que el altavoz dinámico. La única diferencia entre ambos consiste en que mientras los dinámicos estaban constituidos por un imán permanente, los altavoces electrodinámicos poseen un electroimán. Para conseguir que la polaridad del electroimán sea constante, este se excita mediante una corriente continua de alta tensión proporcionada por un circuito rectificador. La bobina de excitación del altavoz tiene dos finalidades, por un lado, la propia excitación del altavoz y por otro, su actuación como inductancia de filtrado de la corriente continua rectificada. Estos altavoces actualmente están en decadencia.

Altavoces electrostáticos

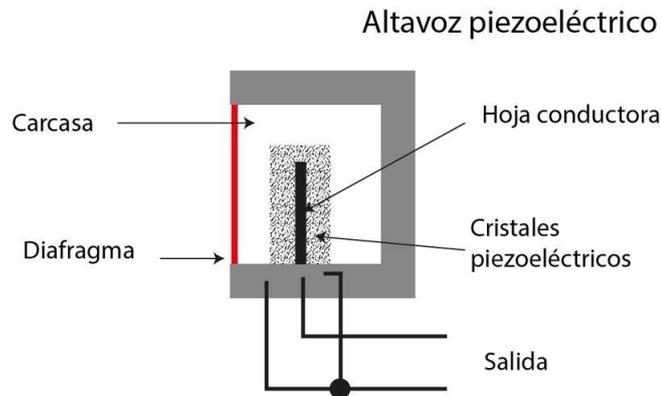
Los altavoces electrostáticos están basados en una propiedad característica de los condensadores: la variación de la distancia (variación de capacidad) de las placas del condensador cuando una de ellas está fija y la otra tiene libertad de movimiento. Al hacer pasar una tensión de frecuencia variable a través de dicho condensador, la placa móvil comienza a ser más o menos atraída en función de los valores de las tensiones aplicadas. El condensador tiene la misión de bloquear la tensión continua de polarización, siendo su impedancia despreciable para las señales que excitan el altavoz. Una de las principales ventajas de este tipo de altavoces reside en que la placa del condensador que hace la función de diafragma del altavoz es atraída igualmente en todos los puntos de su superficie, produciendo, por tanto, una vibración más pura y limpia, con menos distorsión y menos diferencias de fase que en el resto de los altavoces. La forma del diafragma hace que el altavoz tenga una respuesta en frecuencia mucho más amplia, siendo capaz de reproducir la totalidad de la gama audio.



Altavoces piezoeléctricos

Los altavoces piezoeléctricos están basados en la propiedad característica del cuarzo. Esta, como vimos, consiste en que, al aplicar una tensión sobre un cristal de cuarzo, este se deforma variando su volumen. Si la tensión es variable el cristal comenzará a vibrar. Si un extremo del cristal se pone en contacto con un diafragma, ya hemos conseguido un sistema capaz de producir el sonido.

Debido a la elevada impedancia, los altavoces piezoeléctricos son utilizados en receptores de radio muy pequeños, aparatos para sordos y, en general, en dispositivos donde el espacio disponible para el altavoz sea de dimensiones reducidas; también es utilizado en ciertos equipos profesionales para la reproducción de agudos, es decir, sonidos cuya frecuencia es elevada. Uno de los principales inconvenientes de este tipo de altavoces es su vulnerabilidad si se le aplican sobretensiones. Otro de los inconvenientes es que no reproduce toda la gama audio. El acoplamiento del altavoz a la etapa de salida se realiza a través de un condensador, el cual aísla cualquier posible fuga de corriente continua de circuito de salida.

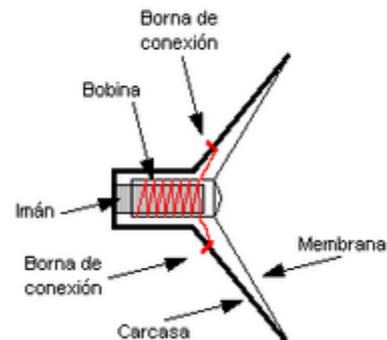


Características técnicas de los altavoces

A continuación vamos a ver las características técnicas más importantes de un altavoz.

Características técnicas de los altavoces

- ❖ Impedancia
- ❖ Respuesta en frecuencia
- ❖ Angulo de cobertura
- ❖ Sensibilidad
- ❖ Distorsión
- ❖ Potencia nominal o RMS
- ❖ Potencia pico o PMPO



La "**impedancia**" depende de tres factores determinantes: en primer lugar de la resistencia óhmica del hilo de la bobina móvil que, a su vez, depende de su longitud, del grosor y del material del que esté hecho. En segundo lugar de la **reactancia inductiva** de la bobina móvil, la cual, al propio tiempo, depende de la **frecuencia** aplicada y del coeficiente de autoinducción de la misma. Y por último, de las corrientes inducidas en la bobina debido al propio movimiento de ésta dentro del campo magnético del imán permanente. Vemos, por tanto, que la impedancia es un factor ciertamente complicado de controlar, puesto que depende de la propia señal que se le aplique. No existe ningún altavoz cuya impedancia sea la misma para toda la gama de frecuencias audio, por lo que los fabricantes indican la impedancia de un altavoz refiriéndose a una frecuencia dada, preestablecida internacionalmente, cuyo valor es de 1kHz. Valores típicos de la impedancia suelen ser 4 y 8 ohmios, aunque estos pueden variar desde 2 hasta 800 ohmios.

La "**frecuencia de resonancia**" de un altavoz es la propia frecuencia de vibración del diafragma y de la bobina móvil. Para comprenderlo mejor, supongamos que a un altavoz le aplicamos un impulso, de tal forma que provocamos que la bobina y el diafragma se desplacen de su posición de equilibrio. A continuación, cortamos dicho impulso. Entonces, bobina y diafragma comenzarían a oscilar con una cierta frecuencia fija hasta volver a recuperar su posición de equilibrio. Esta es la frecuencia de resonancia de un altavoz y es de suma importancia, puesto que para frecuencias inferiores a la de resonancia el altavoz no responde. Esta frecuencia depende evidentemente de las características mecánicas del altavoz tales como sistema mecánico de montaje, masa del cono, carga acústica, diámetro del diafragma, etc. A la frecuencia de resonancia, la impedancia del altavoz es máxima. Cuanto menor sea el diámetro del diafragma, mayor será la frecuencia de resonancia.

La "**respuesta de frecuencia**" es, como su nombre indica, su capacidad de reproducir tanto sonidos de bajas frecuencias como de altas frecuencias. Es una característica muy importante, pues por ella podemos conocer la intensidad de los sonidos reproducidos en función de su frecuencia.

Para obtener la curva de respuesta de frecuencia de un altavoz, se suministra siempre la misma potencia y se va variando la frecuencia; a continuación, se mide la potencia sonora generada por el altavoz y de esta manera podemos comparar las distintas intensidades en función de las frecuencias. En la ilustración podemos ver una curva característica de respuesta de un altavoz cualquiera. El hecho de que haya oscilaciones no es relevante, siempre y cuando entre una cresta y un valle sucesivo no exista una diferencia de intensidad sonora mayor de 10 dB, admitiéndose, incluso, diferencias de hasta 15 dB. Se dice que un altavoz es de alta fidelidad (hi-fi), del inglés *high fidelity*, cuando esta diferencia no excede en más de 5 decibelios.

La "**potencia admisible**" de un altavoz es el valor máximo de la potencia que se puede aplicar a un altavoz por un corto espacio de tiempo, sin que este llegue a estropearse. No se debe confundir potencia admisible con potencia de régimen, siendo esta última la potencia que se puede suministrar a un altavoz de una forma continuada. En general, los fabricantes suelen suministrar ambos datos. La potencia de un altavoz dependerá de sus dimensiones, siendo más potentes aquellos con mayor tamaño.

La "**directividad**" de un altavoz, como su propio nombre indica, es la capacidad de emitir el sonido en todas las direcciones. Como ya vimos, el sonido se propaga a base de ondas de presión a través del aire y en todas direcciones. No obstante, dependiendo de la causa que haya producido el sonido, se propagará mejor en unas direcciones que en otras. Esta característica de los altavoces se representa en lo que llamamos curva de directividad. Para un altavoz dado existe una curva de directividad para cada frecuencia, ya que los sonidos con distintas frecuencias no se propagan de la misma forma, siendo los de frecuencias mayores más "direccionables". En general, basta con dar una curva de directividad para frecuencias altas, otra para bajas y otras para intermedias.

La "**resistencia de la bobina móvil**" es la resistencia óhmica en corriente continua que ofrece el hilo que forma el devanado de la bobina móvil. Este valor determina la potencia disipada en calor debido al efecto Joule cuando está en funcionamiento el altavoz. Por lo general, el valor de dicha resistencia está entre 2 y 8 ohmios, lo que no descarta que existan altavoces cuya resistencia de bobina sea mucho mayor.

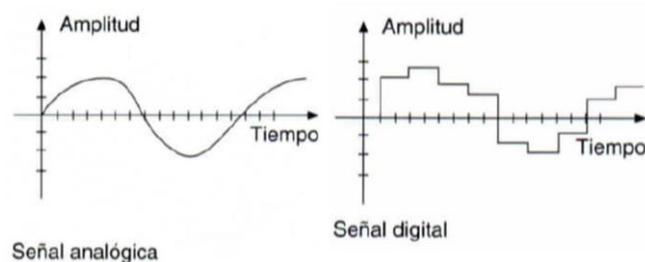
El "**imán permanente**" es el causante del campo magnético cuya densidad de flujo suele oscilar alrededor de un tesla (T). A mayor campo magnético mayor fuerza ejercida sobre la bobina; por tanto, cuanto mayor sea el diafragma del altavoz, mayor será el campo magnético necesitado para moverlo.

Los sistemas de sonidos

Desde que se introdujo la electrónica en el mundo de las creaciones musicales, estas han ampliado mucho su gama de posibilidades. Los diferentes sonidos que podemos obtener al crear una canción ayudándonos de un ordenador son mucho mayores que sin él, ya que aprovechamos toda la potencia de los ordenadores.

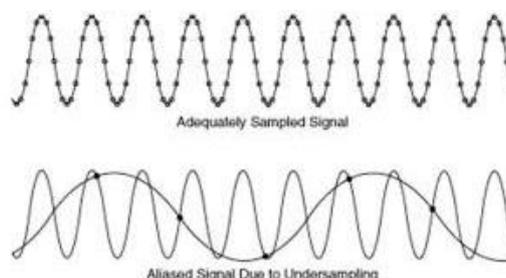
Sonido analógico y sonido digital

En realidad no existen dos tipos de **sonido**, como el título de este apartado indica, es decir, no existe un **sonido digital** y otro **analógico**. Como ya vimos, el sonido está producido por vibraciones de cuerpos que provocan variaciones de presión en el aire, las cuales, al llegar a nuestros oídos, nos dan la sensación del sonido. Cuando se hace la diferencia entre sonido analógico y digital, en realidad se hace referencia al proceso por el cual se tratan las señales eléctricas que más tarde son convertidas en sonido.



Por tanto, cuando hablamos de sonido analógico queremos decir que las señales eléctricas que más tarde van a ser transformadas en sonido son tratadas en circuitos analógicos y cuando hablamos de sonido digital nos referimos a que las señales eléctricas son tratadas con circuitos digitales. Al convertir el sonido en señal eléctrica mediante un transductor (por ejemplo un micrófono) la señal obtenida es una señal **analógica**.

En sistemas digitales, la señal analógica obtenida habría que convertirla en señal digital mediante un conversor **A/D**. Igualmente, la señal sonora capaz de estimular un altavoz es una señal analógica, por lo que, en los sistemas digitales, antes de mandar la señal a los altavoces, hay que pasarla por un conversor **D/A**. En un aparato digital, el **sonido** está representado por una serie de números, llamada muestras, que son las medidas de la onda cada cierto período de tiempo. La velocidad de muestreo es la frecuencia con la que se toman las muestras. Evidentemente, cuanto mayor sea la velocidad de muestreo más parecido habrá entre la onda **analógica** y la **digital**. La teoría del muestreo dice que, para poder valuar fielmente una señal, la frecuencia más aguda de su espectro ha de ser menor que la mitad de la velocidad de muestreo, conocida como frecuencia **Nyquist**. La señal resultante, conocida como "*alias*", es otra onda sinusoidal de frecuencia menor, igual a la diferencia entre velocidad de muestreo menos la frecuencia original. Este fenómeno se conoce con el nombre de "*aliasing*".

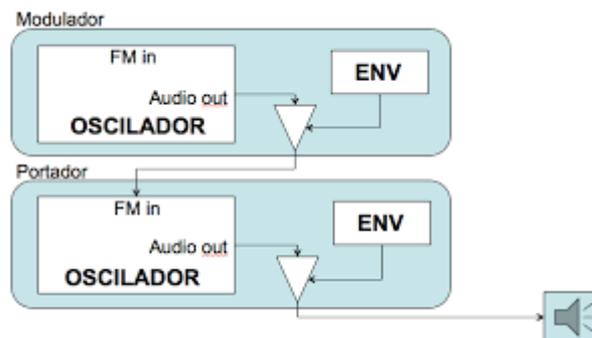


Para evitar el **aliasing** se hace pasar la señal antes de ser convertida en digital por un filtro pasa-bajos para atenuar las frecuencias más agudas. Igualmente, a la salida del conversor digital analógico se hace pasar por un filtro pasa-bajos de las mismas características que el anterior para "suavizar" la onda escalonada, ya que contiene muchos más agudos que la señal deseada.

Síntesis de sonido

En la música **electrónica**, al igual que en la música convencional, el sonido es producido por un altavoz accionado por una tensión variable. Esta variación de la tensión no tiene por qué proceder de un sonido real previamente tratado sino que puede ser producida directamente por medios electrónicos.

El "*oscilador*" es el elemento más importante para la **síntesis**. Se trata de un dispositivo capaz de repetir cíclicamente una forma de onda determinada, produciendo de esta forma una oscilación periódica. Esta señal periódica puede variar en función de unos parámetros, como pueden ser la propia forma de la onda, la frecuencia y la amplitud.



Variando la frecuencia de la onda se obtiene un sonido más o menos agudo. Variando su amplitud se obtiene un sonido más o menos intenso y, por último, la forma de la onda determinará su **timbre**. Existen osciladores tanto **analógicos** como **digitales**: los analógicos producen directamente la oscilación de la tensión y están controlados generalmente también por una tensión, de ahí que se les conozca con el nombre de "*voltage controlled oscillator*" (**VCO**). Los osciladores digitales necesitan de un **ordenador** o un aparato especializado. Los timbres producidos por osciladores son característicos del sonido electrónico; todo el mundo es capaz de distinguir los sonidos producidos por los **sintetizadores** de los producidos por instrumentos musicales. Sin embargo, cada vez son más las posibilidades de enriquecer los sonidos electrónicos aplicándoles envolventes y modulaciones a sus distintos parámetros, con lo que la claridad y nitidez de dichos sonidos es cada vez más parecida a las de los instrumentos reales.

Una "*envolvente*" temporal es una curva que indica la evolución en el tiempo de algún parámetro. Por ejemplo, en el caso del **oscilador** se podrían aplicar envolventes a la amplitud, a la frecuencia y/o al timbre. Aplicando una envolvente a una amplitud podríamos conseguir que un sonido aumente o disminuya su volumen a lo largo del tiempo. Sucede algo parecido a cuando un pianista quiere dar más sentimiento a un determinado pasaje de una obra y lo toca de una forma más suave, que para nuestros intereses se traduce en una reducción del volumen. Variando la frecuencia se consigue un cambio en la "*altura*" del **sonido**. Este efecto es muy común en la voz de algunos cantantes. Por último, una envolvente tímbrica consistiría en variar el **espectro del sonido**. Este efecto es típico del sonido electrónico, ya que a nuestros oídos se traduce en un cambio continuo en el tipo de sonido que se está escuchando, es decir, equivaldría a estar oyendo un sonido de violín y, sin darnos cuenta, transformarse, por ejemplo, en un sonido de trompeta.

La **modulación** consiste en la variación de algún parámetro de un oscilador mediante otra señal. Al igual que con las envolventes, la modulación se puede aplicar a la amplitud, a la frecuencia y al timbre. La modulación de baja frecuencia es algo parecido al "*vibrato*", tan característico en instrumentos de cuerda y viento o al que realizan algunos cantantes para dar más expresividad a su voz.

Otros tipos de síntesis de sonido son los conocidos como síntesis sustractiva, síntesis aditiva y síntesis no lineal, los cuales pasamos a explicar a continuación.

La "*síntesis sustractiva*" consiste en variar el espectro de una señal haciéndola pasar a través de un **filtro**, el cual atenúa ciertos parciales y refuerza otros. Un filtro es cualquier dispositivo que modifique el espectro de una señal; por ejemplo, si nos ponemos las manos alrededor de la boca y hablamos, podemos observar cómo cambia nuestra voz; las manos, por tanto, en esa situación, están actuando de filtro ya que han modificado el espectro de nuestra voz. En la electrónica, los filtros modifican la señal a base de dejar pasar ciertas frecuencias y no permitir el paso de otras. La característica es su curva de respuesta de frecuencia, la cual indica la proporción entre la amplitud de salida y la de entrada para cada frecuencia (ganancia).

Otra característica menos importante es su respuesta en fase, la cual indica la diferencia entre la fase de salida y la de entrada para cada fase en frecuencia. Básicamente existen cuatro tipos de filtros: **pasa-altos**, **pasa-bajos**, **pasa-banda** y de **rechazo de banda**.

La "*síntesis aditiva*" consiste en crear un sonido mediante suma o mezcla de otros. La síntesis aditiva más general consiste en sumar un cierto número de osciladores sinusoidales, cada uno con su amplitud y frecuencia necesarias para conseguir el espectro deseado. Variando los parámetros de cada parcial podemos conseguir el **sonido** deseado. En general, existen dos formas de construir un sonido mediante la síntesis aditiva que son: de **forma empírica** o de **forma analítica**. La forma empírica es simplemente ir variando, mediante tanteo, los parámetros hasta conseguir el timbre buscado. Este método es bastante laborioso, ya que requiere de una gran concentración y que en un sonido medianamente complejo se suelen utilizar más de quince parciales. La síntesis aditiva realizada mediante el análisis consiste en analizar el **sonido** a reproducir y extraer los parámetros necesarios para su posterior sintetización. Esta síntesis se realiza hoy en día mediante un programa que analiza digitalmente dichos parámetros. Supongamos que quisiéramos sintetizar una pieza musical. Dicho programa iría midiendo los valores característicos cada cierto tiempo (unos milisegundos) e iría obteniendo de esta forma una especie de película sobre dicha evolución. Una vez grabada toda esta información, se puede modificar cuantos parámetros creamos necesarios hasta conseguir el **sonido** buscado.

Por último, está la "*síntesis no lineal*", que consiste en la variación de los parámetros mediante operaciones no lineales, como puede ser la exponenciación. Con este método podemos conseguir una gran complejidad de sonidos utilizando pocos osciladores, lo que conlleva menos cálculos para el **ordenador**. Estas técnicas también reciben el nombre de **distorsión**, ya que transforman la onda original en una completamente distinta. La síntesis no lineal se puede aplicar modulando la frecuencia, la amplitud o distorsionando la fase.

Los sintetizadores

Los **sintetizadores**, como su propio nombre indica, son instrumentos musicales que producen el sonido utilizando los métodos de síntesis anteriormente vistos. Existen sintetizadores tanto **analógicos** como **digitales**. Los sintetizadores analógicos comenzaron a aparecer en el mercado en los años sesenta y alcanzaron una gran difusión en la década de los 70. No obstante, los sintetizadores que se comercializan actualmente son digitales debido a sus mayores posibilidades.

La forma más común de estos sintetizadores es la de un órgano electrónico con más o menos mandos para su control. En una primera aproximación se podrían clasificar en programables y no programables. Los no programables son aquellos que llevan en su interior un cierto número de **sonidos** programados y no dan opción a reproducir cualquier otro sonido. Este tipo de **sintetizadores** son los clásicos organillos de juguete que llevan programados sonidos "*más o menos*" parecidos al de un piano, un violín, una guitarra, etc. Los sintetizadores programables son los utilizados por profesionales y constan básicamente de tres grandes partes: controles para la interpretación musical, controles para la **programación** y controles para la generación de sonidos. Los controles de la programación son todos aquellos que se utilizan durante la reproducción musical. Aparte del clásico volumen, "*vibrato*" y reverberación, existe otro tipo de controles para dar una mayor expresión y emotividad al sonido reproducido.



Entre estos podríamos nombrar un mando girable en dos sentidos que produce una **modulación** y es usado principalmente para añadir "*vibratos*", también existe un mando de similares características cuya finalidad es la de desafinar ligeramente el sonido. Otra característica que incorporan los sintetizadores es la de "*teclado sensible al tacto*", el cual consiste en variar algún parámetro en función de la velocidad con que se presione la tecla del **sintetizador**. Lo más típico es variar el volumen en función de cómo se presione la tecla. Este efecto es característico de los pianos, donde el volumen de la nota depende de la fuerza con que se presione en el teclado. En un **sintetizador** con teclado sensible al tacto no solo se puede variar el volumen en función de cómo se presione sino que se puede variar cualquier otro parámetro del sonido, como pudiera ser, por ejemplo, su frecuencia.

Los "*controles de programación*" permiten, como su propio nombre indica, la programación y selección de los distintos sonidos a ejecutar. La forma de programar un sonido consiste en indicar al aparato los parámetros característicos del sonido deseado, como pudieran ser qué osciladores va a utilizar, tipo de envolventes, "*vibratos*", filtros, modulaciones, etc. Esta serie de valores son almacenados en una **RAM** y se les da un nombre para poder identificarlos. Además de los sonidos programables, los sintetizadores vienen de fábrica con unos cuantos **sonidos** ya programados en una memoria **ROM**.

Una característica de los sintetizadores es la "*polifonía*", que consiste en el número máximo de notas que pueden sonar simultáneamente. A mayor número de notas la calidad del sonido reproducido es mejor. Un piano convencional puede reproducir simultáneamente "*todas*" las notas de su teclado si de alguna forma consiguiéramos tocar todas las teclas a la vez.

Otra característica de los **sintetizadores** es la "*multitimbrica*" la cual indica la capacidad del sintetizador para reproducir varios timbres simultáneamente, es decir, hacer sonar a la vez, por ejemplo, un piano, violines, batería, etc. Una forma de conseguir esto puede ser dividir el teclado en dos o más partes, cada una de ellas con un sonido diferente. Otra forma pudiera ser asignar a una misma tecla varios sonidos a la vez. Una tercera opción sería grabar los distintos timbres en un disquete y hacerlos sonar todos a la vez.

EL MIDI

Los primeros dispositivos **electrónicos musicales** eran equipos surgidos tras un laborioso trabajo en el **laboratorio**. Esto era debido a que para obtener un único sonido era necesario realizar innumerables mediciones acústicas, fijar "*manualmente*" los distintos controles una vez conseguido el sonido requerido y, posteriormente, grabar dichos valores para poder llevar a cabo la fabricación del **aparato**. Para facilitar este tipo de trabajo surgieron unos sistemas para controlar los generadores y procesadores de sonido, nos estamos refiriendo al "*control por tensión*" y al "**MIDI**".



El "*control por tensión*" es un sistema que da una gran flexibilidad para conseguir distintos timbres y efectos musicales a los equipos. Surgió en los primeros **sintetizadores**, en los años 60 y 70, aunque todavía hoy es utilizado en el funcionamiento interno de algunos aparatos. Consiste en que todos los parámetros del sonido se pueden variar mediante tensiones controladas. Así, por ejemplo, cada tecla de un teclado envía una tensión distinta a un oscilador **VCO** y, por tanto, éste emite una frecuencia distinta según la tecla pulsada. El control por tensión permitía conectar el **sintetizador** a otro **sintetizador** para controlar su funcionamiento, ya que las tensiones producidas por el primero podrían ser enviadas al segundo. Sin embargo, esto originaba ciertas complicaciones al conectar dos equipos que no fuesen compatibles, porque las tensiones del primero podría no ser adecuadas para las del segundo, provocando sonidos desafinados o inexactitud en la respuesta. Otra desventaja era la necesidad de conectar un cable por cada timbre para el caso de los teclados polifónicos. Por último, la sincronización entre secuenciadores y cajas de ritmos también traía problemas, debido a que cada fabricante utilizaba un compás distinto.

El control por tensión dio paso al control digital, el cual solucionaba las desventajas del control por tensión, además de incorporar una mayor precisión y gama de posibilidades. Los **sintetizadores** son cada vez más parecidos a ordenadores altamente especializados, donde todo es tratado de una forma digital. Esto originó que en 1983 se creara un sistema universal de comunicación entre los equipos musicales.

Fue en esta ocasión cuando los principales fabricantes se pusieron de acuerdo y crearon el "**Musical Instrument Digital Interface**" (MIDI), cuyos detalles se publicaron en la norma MIDI 1.0. Con el **MIDI** se resolvieron los problemas de sincronización entre secuenciadores y cajas de ritmos, compatibilidad entre distintos equipos, pero sobre todo la posibilidad de controlar desde un dispositivo maestro el resto de los equipos conectados a la red **MIDI**. Cada día aparecen nuevas aplicaciones del MIDI y, a pesar de su constante evolución, los primeros equipos adaptados a este sistema todavía hoy son compatibles con los más modernos.

El **MIDI** tiene unos enchufes especiales para conectarse entre sí. Estos cables son blindados para evitar interferencias y no suelen sobrepasar los 15 metros de longitud. Los extremos de los conectores son **DIN** y pueden enchufarse en tres tipos de puertos indicados en los aparatos como IN, OUT y THRU. Por la entrada IN, el equipo recibe información enviada por otros aparatos, por el OUT transmite su propia información y por el THRU envía una copia de lo que recibe a través del IN, pudiendo así mandar información a otro aparato.



Reproductores de sonidos

Hay diferentes tipos de reproductores de sonido. Los más antiguos son el denominado familiarmente "tocadiscos" y los "casetes"; éstos, aunque todavía se siguen utilizando, están perdiendo cada día protagonismo frente a los discos compactos, que deben su gran calidad de sonido a la utilización de señales digitales.

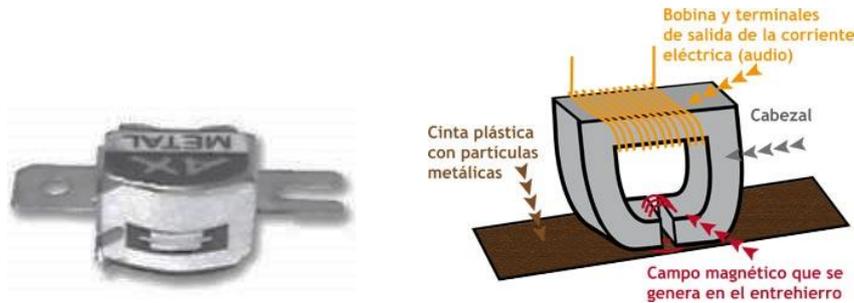
Materiales ferromagnéticos

Cualquier cuerpo sometido a un **campo magnético** se comporta de una manera distinta según su naturaleza. Existen tres grandes grupos de materiales en los que se puede clasificar cualquier cuerpo según su comportamiento frente a los **campos magnéticos**. En primer lugar están los materiales diamagnéticos. Este tipo de materiales produce una desviación de las líneas de fuerza del campo hacia el exterior. Ejemplos de esta clase de materiales pueden ser la **plata** y el **bismuto**. Otros cuerpos producen una desviación contraria a la de los primeros, pero de una forma ligeramente débil, por lo tanto, las líneas de fuerza del campo magnético son desviadas hacia su interior, este tipo de materiales se denominan **paramagnéticos**. Y, por último, están los materiales **ferromagnéticos**, cuyo comportamiento es como el de los **paramagnéticos** solo que de una forma bastante más acusada. Los materiales ferromagnéticos, a su vez, se pueden dividir en **dulces** y en **duros**. En los ferromagnéticos dulces, la magnetización del material, inducida como consecuencia de la presencia de un campo magnético, desaparece a la vez que lo hace el campo magnético. Por el contrario, en los ferromagnéticos duros, cuando desaparece el campo magnético, la magnetización inducida no desaparece.

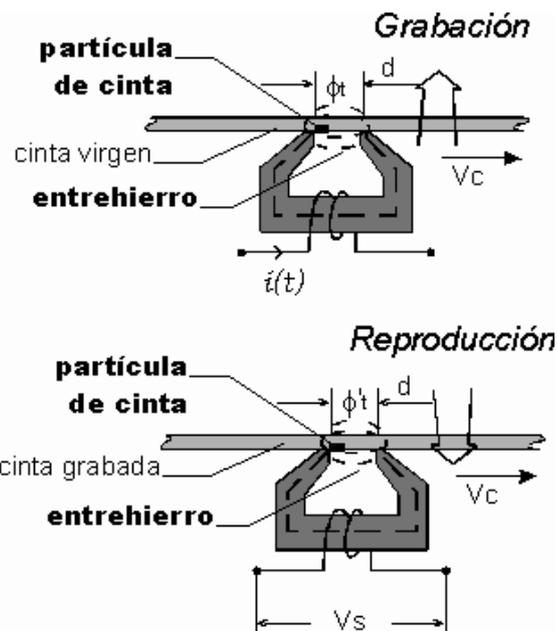
Cabezales magnéticos

En líneas generales, los **cabezales magnéticos** están constituidos por un núcleo anular o toroidal de chapa de hierro y una o dos bobinas que lo envuelven.

Todo esto está recubierto de una materia plástica que lo protege y una pantalla contra campos magnéticos parásitos. Cuando se aplica una tensión alterna a la **bobina** del cabezal magnético, comienza a circular una corriente, creando campos magnéticos.



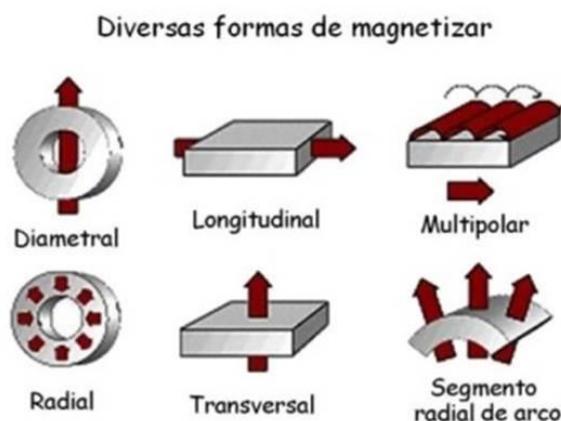
Al hacer pasar una cinta de material ferromagnético junto a dicho **cabezal**, los imanes elementales de la película magnética de la cinta toman la orientación indicada por el campo magnético presente en el instante en que la cinta pasa por el cabezal. Al tratarse de un material **ferromagnético** duro, las orientaciones de los "imanes" de la cinta quedan permanentemente grabadas en ella y, por tanto, la información contenida en el campo magnético ha quedado grabada en la cinta. Así es como se realizan las **grabaciones** en cintas magnetofónicas tan conocidas por todos.



El proceso de la **reproducción** es exactamente el camino inverso al de la grabación. Cuando una cinta con información contenida debido a la magnetización presente en ella se hace pasar por un **cabezal magnético**, instantáneamente se crean corrientes eléctricas en la bobina del cabezal. Estas corrientes inducidas son de un valor extremadamente pequeño y por ello han de ser amplificadas. Por lo general, en la mayoría de los equipos se utiliza un solo **cabezal** tanto para la grabación como para la reproducción.

Métodos de magnetización

Hay tres formas básicas de **magnetizar** una cinta. La primera de ellas es la **magnetización perpendicular**. En este tipo de magnetización, la cinta circula entre las dos piezas polares y es magnetizada perpendicularmente a su dirección. La máxima frecuencia que puede ser determinada por este sistema viene determinada por el espesor de las piezas polares del cabezal. Otra forma de magnetizar una cinta consiste en la **magnetización longitudinal**. Este tipo de magnetización es el más utilizado en la grabación comercial. La forma del cabezal es de un **anillo**. En este tipo de grabación, la máxima frecuencia está limitada por las dimensiones del entrehierro y por la propia velocidad de la cinta. El tercer método es la **magnetización transversal**. En este caso, la cinta queda magnetizada perpendicularmente en la dirección de su movimiento y paralelamente a la dimensión mayor de su sección transversal.



Los cabezales magnéticos para la grabación estéreo consisten en disponer dentro de la misma cápsula dos cabezales magnéticos. Cada **cabezal magnético** será el responsable de la grabación y reproducción de cada una de las pistas. Para aislar magnéticamente un cabezal del otro, se colocan entre ambos unas **pantallas** que, a su vez, van conectadas a masa.

Factores que han de tenerse en cuenta a la hora de una correcta **grabación** y reproducción son la altura, el ángulo, la tangencia, el contacto y el azimut entre la cinta y el cabezal. Un incorrecto ajuste de cualquiera de estos valores se traduciría en grabaciones deficientes, pérdida de frecuencias altas, desgaste del cabezal producido por el rozamiento y reducción de la intensidad de la grabación.

El gramófono

El funcionamiento mecánico de lo que se conoce con el nombre de **gramófono** es bien conocido por todos. Si cogemos un disco y lo observamos detenidamente, podremos ver cómo posee un relieve que consiste en una línea en espiral desde el centro del mismo hasta el borde. Al colocar una **aguja** sobre dichas rugosidades y hacer girar el disco, de forma natural la aguja va a comenzar a vibrar de acuerdo con estas rugosidades. Si esta aguja va unida a una membrana o a cualquier otro objeto capaz de emitir el sonido, como bien pudiera ser la clásica "*trompa*" de los **gramófonos**, podremos escuchar reproducido el sonido que tenía grabado el disco.

Los gramófonos no necesitaban ningún tipo de energía eléctrica, ya que la aguja iba unida directamente a la "trompa" y el movimiento del disco era producido por un mecanismo similar al de los relojes de cuerda. El sonido reproducido por estos aparatos es evidentemente **monofónico**, debido a que sólo había una pista o canal grabado en el surco de rugosidades.



El tocadiscos

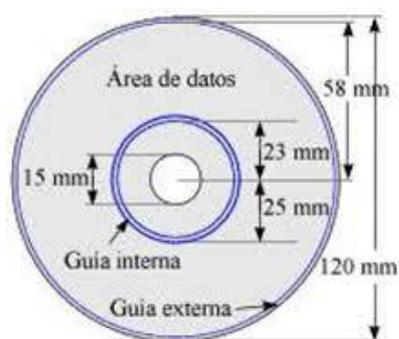
Un **tocadiscos** tiene un funcionamiento muy similar al de los gramófonos con la gran diferencia de que en el tocadiscos se utiliza la electrónica para producir el movimiento del plato y, más importante aún, para la captación de las rugosidades del disco y su posterior transformación en señales eléctricas. Sin embargo, la mayor diferencia entre un gramófono y un tocadiscos reside, para quien está escuchando, en que el sonido reproducido por un gramófono es monofónico y el de un tocadiscos es **estereofónico**.



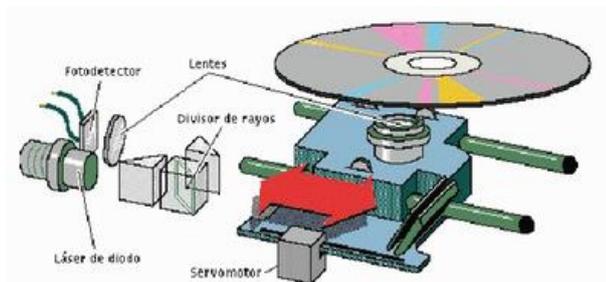
La forma de conseguir que un surco contenga dos señales independientes es, como vemos en la figura correspondiente, grabar cada uno de los canales en una de las paredes del surco, estando éstas seccionadas formando 90° . La aguja de lectura del **tocadiscos** posee dos imanes igualmente orientados 90° uno respecto del otro. De tal forma que, al pasar la aguja por el surco, las rugosidades producidas en una de las paredes producirán el movimiento de uno de los imanes, mientras que las rugosidades de la otra pared provocarán el movimiento del otro imán. El movimiento de un imán en presencia de una **bobina** hace que en dicha **bobina** se induzcan corrientes eléctricas. Estas corrientes eléctricas son amplificadas y llevadas a un altavoz. El valor de estas corrientes eléctricas depende directamente del movimiento del imán, y, obviamente, el movimiento del imán es producido por las rugosidades del disco. Tenemos aquí, pues, el mecanismo para transformar la información contenida en un disco en **señales eléctricas**.

Los discos compactos

Hasta ahora hemos visto aparatos reproductores de sonido que trabajan con señales **analógicas**. La aparición de aparatos que utilizan señales digitales se debe a la facilidad de su diseño. Esta sencillez en el diseño de los circuitos digitales conlleva otras ventajas frente a los circuitos de señales analógicas. La primera de ellas es la **estabilidad**. Los circuitos analógicos están sujetos a las variaciones de sus componentes, es decir, que si falla uno de ellos debido a las variaciones de la temperatura, va a afectar mucho al comportamiento del circuito completo. En los circuitos digitales, el principal problema es ver cuándo se pasa de un estado a otro y el envejecimiento o inestabilidad de sus componentes afecta en una medida menor. Por estas razones, son mucho más "*precisos*" los circuitos digitales que los analógicos. Otra ventaja de los circuitos digitales es que el rango de niveles de señales que pueden manejarse es muy superior al de las analógicas.



Los **discos compactos** son reproductores de sonido que trabajan con señales digitales. El sistema de sonido digital se inicia con la llegada de una señal acústica que es una señal analógica. Por lo tanto, para el tratamiento de las señales lo primero que tenemos que hacer es una conversión de la señal de sonido de entrada analógica a una señal digital, después la grabación en el disco de la señal, su proceso digital y, por último, hay que reconvertirla de nuevo a forma analógica para que pueda ser conducida a un altavoz y podamos escucharla.



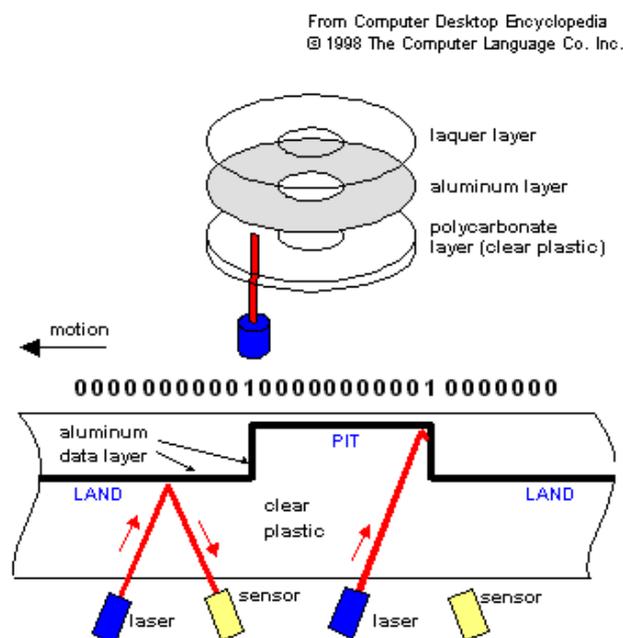
En los **discos compactos** o CD se registra una corriente de datos que tenemos que generar. Este proceso no es tan simple como recoger la señal digital del convertidor A/D y realizar la incisión con láser sobre el disco. Hay que tener en cuenta el coste y, para que este sea menor, se emplean algunos procesos que implican un bajo coste de los elementos ópticos de reproducción de sonido como el código **Reed-Solomon** de intercalado y la modulación **EFM**. Otro factor que abarata costes es agrupar la información antes de grabarla.

La anchura de banda de la señal original es un factor que tenemos que tener muy en cuenta al convertir la señal analógica en digital. Esta anchura se utiliza para procesar digitalmente la señal de sonido y el registro asociado que codifica la **información**. Con el fin de reproducir la anchura de banda del sonido completa, con una buena relación entre la señal y el ruido y un bajo índice de distorsión a lo largo de otros bits no-audio, el sistema CD debe someter la señal analógica de sonido a un proceso de modulación.

Este proceso es una de las partes más importantes dentro del sistema de codificación ya que es el responsable de transferir la señal de sonido analógica a los pulsos digitales, que son los que van a quedar impresionados sobre el disco. En los equipos **CD** se suele utilizar un sistema especial de modulación que recibe el nombre de modulación de ocho a catorce bits (**EFM**, *eight to fourteen bit modulation*). La técnica EFM actúa junto con un proceso de corrección de error digital denominado **Reed-Solomon** de intercalado cruzado. Durante el proceso de codificación, la acción de corrección de errores precede a la **EFM**.

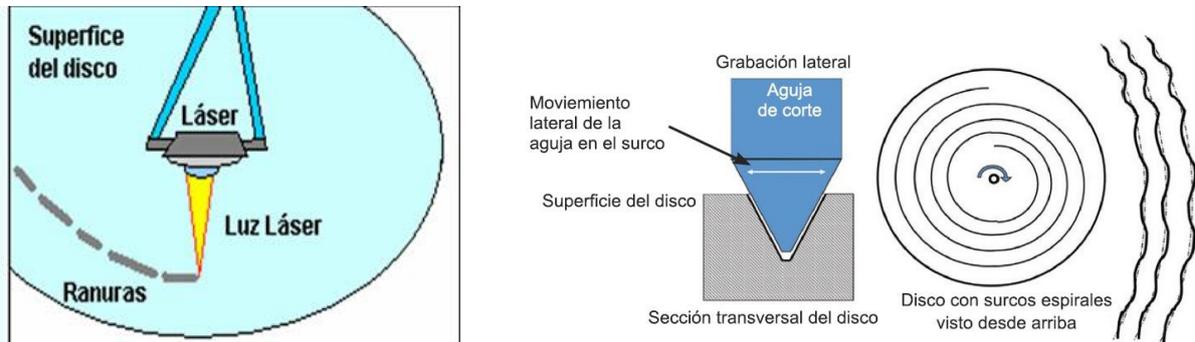
Los **discos compactos**, o CD, tienen la misma cantidad de información de sonido que los discos. Esta es la única semejanza entre ambos. Ya que mientras que los **LP** necesitan dos caras para guardar la información, el CD utiliza solo una. Los LP son mucho más grandes que los CD, el diámetro de un LP es más del doble que el de un CD. En un disco compacto hay tanta información debido a la capacidad de comprimir dicha información en un punto físico del disco denominado pozo. El pozo de un **CD** es equivalente al surco de sonido de un LP.

Los pozos agrupan todas las informaciones sonoras, de control y sincronización. Para introducir la información en el CD creamos un pozo, y dicha información se recupera por medio de la lectura óptica de dicho pozo. Para obtener una buena calidad en la señal de salida, esta debe tener una respuesta en frecuencia que pueda reproducir la información de **sonido** y de **código**. Para obtener una buena señal, el pozo no debe perder láser óptico por reflexiones. Esto depende de la profundidad y la anchura del pozo.



Para que la luz reflejada se aproxime a cero, la profundidad del pozo ha de ser igual a la cuarta parte de la longitud de onda del láser. Los pozos situados en el disco están separados por un distanciamiento físico de 1,6 micrómetros que se denomina intervalo de la pista. Esta distancia es muy pequeña ya que tenemos que asegurar que cada pozo esté incluido en su pista correspondiente y no pueda saltar a la contigua, para que al reproducir el sonido grabado en un pozo no tengamos ningún problema. La variable más importante del pozo es su longitud, que es un resultado directo de la señal **EFM** utilizada en el proceso de codificación. Si ignoramos toda la información externa codificada, como los bits de paridad, fusión y control, la longitud del pozo sería un reflejo de la información presente en la señal analógica original. La profundidad real del pozo se determinará durante la confección del disco maestro.

Dicha profundidad depende de la capacidad de las sustancias químicas desarrolladas para erosionar el revestimiento de la superficie. La anchura del pozo y el ángulo de inclinación dependen, no sólo del proceso de desarrollo sino también del modo en que se enfoque el haz de láser sobre el disco maestro durante el proceso de **grabación**. El intervalo de la pista es un resultado de la velocidad de rotación del disco maestro y la velocidad a la que se aplica la señal sobre el disco. El tamaño de intervalo de pista, cuyo valor es 2,6 micrómetros como ya sabemos, viene dado por los valores más estándares de ambas velocidades.



Creación de un CD

El proceso de grabación se inicia con la recepción de la señal después de pasar por el **codificador**, con la **corrección** y la **modulación** hechas. La inserción de la señal en el soporte del disco se realiza de forma bastante similar a la de las **bobinas** de conducción que controla la aguja de grabación de los discos LP de sonido. La señal codificada de alta frecuencia se utiliza para controlar un modulador que modula el haz de luz láser. La superficie del disco se recubre con una sustancia **química fotosensible** para proteger, después de exponerlo al haz se gira el disco a través de una solución de trazado que erosionará las unidades de la superficie expuesta. Así se crean los pozos, que se revisten mediante el proceso de plateado. En este momento se forma el disco maestro, que después se utilizará para imprimir los sellos de reproducción. Este **disco** se va a comportar como una estructura en negativo del disco de reproducción. El disco resultante se denomina "**padre**" y va a ser usado para sellar numerosos discos en positivo que se denominan "**madres**", estos, a su vez, se emplean para producir grandes cantidades de discos matriz en negativo o "**hijos**". El disco matriz se va a utilizar para imprimir la superficie del **disco compacto** que nosotros vamos a comprar. El motivo por el que tenemos que fabricar un disco matriz, en vez de hacer las copias directamente del "**padre**", es porque de estos últimos sólo pueden extraerse unas pocas copias antes de que pierdan sus propiedades físicas.

El **disco compacto** está considerado como la mejor forma de conseguir señales de sonido de alta calidad. Pero este sistema no es del todo independiente ya que necesita un soporte original de grabación. Dado que los discos compactos son tan buenos debido a que usan señales digitales, podría pensarse que si se grabara la señal de forma analógica perdería muchas de las ventajas de la respuesta digital de alta frecuencia. Sin embargo, la reproducción sonora digital no es capaz de corregir los defectos presentes en la señal de la fuente original. A pesar de que los **discos compactos** son un medio excelente para la reproducción, funcionan mucho mejor como modo de almacenamiento que como medio de producción. Un **disco láser** no puede borrarse, por lo tanto, una vez que hemos hecho el disco maestro, este no puede modificarse y la creación de este tipo de discos resulta cara, ya que si hay algún error tendríamos que crear un disco nuevo. Otra razón es que normalmente la producción de una selección musical requiere la grabación de numerosas pistas individuales, mezclándose después todas. Los **CD** sólo permiten grabar cuatro canales y esto está muy lejos de los 16 a 24 que se utilizan normalmente.