

TEMA 12 : GRABACIÓN DIGITAL DEL SONIDO

INTRODUCCIÓN

Se impone la grabación digital. Son muchas las ventajas de este tipo de grabación, consecuencia lógica de los avances tecnológicos. La calidad del sonido digital es superior a la del analógico, y aspectos como el ruido de fondo son inexistentes. Las copias digitales no sufren ninguna pérdida, y la edición es sencillísima si empleamos ordenadores para realizarla. Por último, la corrección de errores es muy completa y permite que el mensaje digital no tenga pérdidas en su transmisión a pesar de realizar diversas generaciones de copias.

No obstante, la grabación digital no ha encontrado de manera definitiva los formatos domésticos con los que presentarse en el mercado. Si bien es cierto que el CD ha sido el sustituto natural del vinilo, no ha aparecido todavía el de la casete, ni el Mini Disc ni el DCC (como posibles formatos sustitutos) han cuajado aún de manera clara tal como lo hizo el CD.

Profesionalmente, el DAT ha reemplazado a la bobina abierta de 1/4 de pulgada en numerosas aplicaciones. Se ha implantado en prácticamente todos los estudios de audio. Además, los ordenadores han alcanzado también al sonido, y con la ayuda de los programas y las tarjetas adecuadas podemos grabar y reproducir audio con estos equipos. Por tanto, los sistemas de almacenamiento de información para ordenadores son totalmente válidos para el audio hoy en día.

Así, podemos realizar una primera clasificación de los soportes digitales de grabación:

- Soportes que utilizan cinta: **DAT, DCC**, cintas digitales de bobina abierta, cintas de vídeo (**U_Matic, SVHS, Hi8**).
- Soportes que utilizan discos: **Mini Disc, CD**
- Soportes informáticos: **Disco duro, Streamer..**

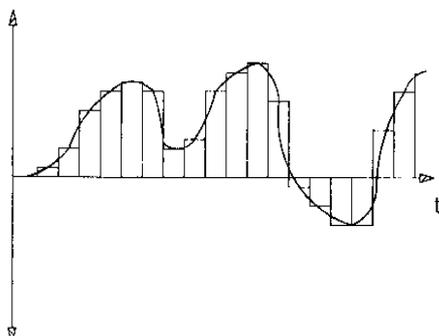
DIGITALIZACIÓN

El proceso de digitalización consiste en convertir la señal analógica en una sucesión de ceros y unos. Para ello, una señal analógica será muestreada a una determinada velocidad.

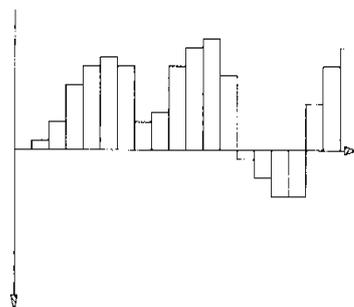
Dos parámetros van a determinar la calidad de una muestra digital:

- ❖ **Velocidad de muestreo**
- ❖ **Nº de bits de cuantificación**

Una señal, digitalizada recibe el nombre genérico de señal **PCM**, o modulación por impulsos codificados (en español, sería **MIC**).



Señal analógica a digitalizar



Señal digital equivalente

VELOCIDAD DE MUESTREO (SAMPLING RATE)

De la velocidad de muestreo va a depender la máxima frecuencia reproducible. El teorema del muestreo, nos dice que la frecuencia del mismo debe ser como mínimo el doble de la máxima que queramos registrar. En nuestro caso, al estar trabajando con señales de audio de entre 20Hz y 20.000Hz, deberíamos emplear más de 40.000Hz. Los estándares empleados son de 44.100Hz para CD, de 48.000 para DAT y algunas aplicaciones en modo de menor calidad, muestrean a 32.000.

Emplear una velocidad de muestreo mayor o menor, repercute mucho en la tasa de bits necesaria para mantener el sonido, y por tanto en el ancho de banda necesario para registrar la información digital.

Uno de los principales problemas del muestreo es el "Aliasing", que consiste en la aparición de interferencias, debidas a señales que fueron muestreadas sin respetar la norma de ***Frecuencia de muestreo = 2 veces Frecuencia máxima***. Para evitarlo, será necesario colocar un filtro a la entrada de la señal a muestrear, con Fcorte de 20.000Hz, que nos asegura que no entrará al conversor ninguna señal de frecuencia mayor, ya que en caso de que entrara se traduciría en una fuerte interferencia.

CUANTIFICACIÓN

La digital no es continua, esto quiere decir que existirán unos "escalones", en los que tendremos que ajustar la señal digitalizada. Esto genera un error que denominamos de cuantificación. El error de cuantificación existe en cualquier señal digital, y será tanto menor, cuanto mayor sea el número de bits que empleamos para cuantificar cada muestra.

Los errores de cuantificación afectan directamente a la relación señal ruido. El número de bits empleados para la cuantificación, nos dará el número de estados que el sistema es capaz de diferenciar. Suponemos que el ruido será la referencia 0.

Podemos calcular la relación señal ruido a partir del número de bits empleados para la cuantificación, con la siguiente ecuación:

$$\text{Relación S/R} = 20 \log 2^n + 1.8$$

Así tendremos:

nº de Bits	relacion S/R
n=4	25dB
n=8	50dB
n=12	74dB
n=16	98dB

Los niveles empleados son de 16 bits para música y 12 bit para sistemas de menor calidad.

CUANTIFICACIÓN LINEAL Y NO LINEAL

Dependiendo que los niveles de cuantificación sean o no constantes, podemos distinguir entre cuantificación lineal y no lineal.

CUANTIFICACIÓN LINEAL

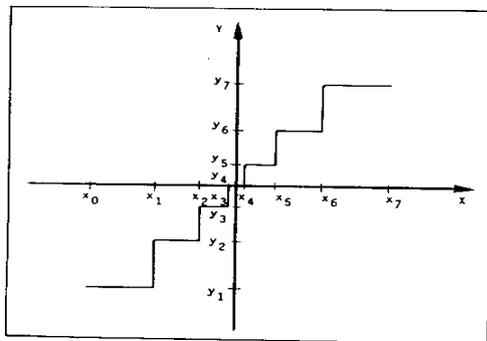
En un sistema de conversión **A/D**, en el que utilizemos 16 bits para cuantificar, tendremos **65535** niveles posibles de señal. Si la amplitud de la señal analógica varía entre 0 y 1 voltio, cada nivel de cuantificación valdrá $1/65535 = 15,2\mu\text{V}$. En este caso estaríamos ante un sistema lineal.

Este es el método más usado.

CUANTIFICACIÓN NO LINEAL

A diferencia de la cuantificación lineal, en donde los niveles de cuantificación se distribuían de manera uniforme, en la cuantificación no lineal no sucede lo mismo.

Concretamente, para niveles elevados de amplitud en la señal analógica, los intervalos de cuantificación están muy espaciados, mientras que con niveles bajos los intervalos se encuentran muy próximos unos de otros. Esto puede apreciarse en la figura, en donde se muestra la función de transferencia de un cuantificador no lineal.

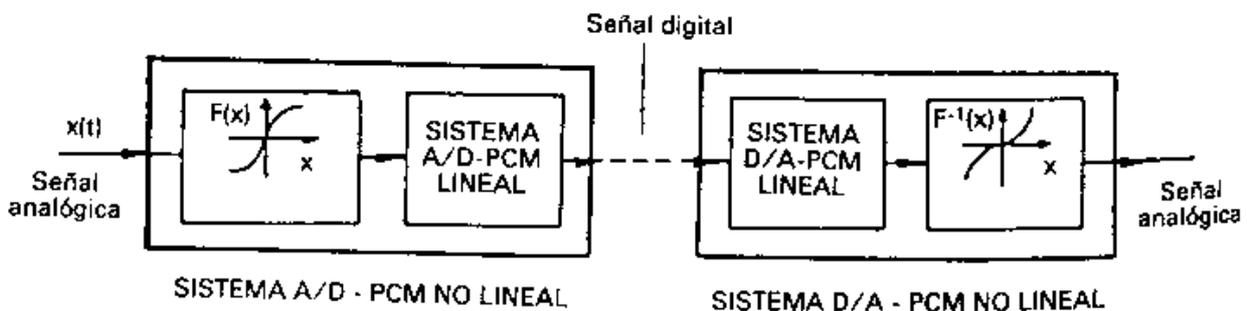


Cuantificación no lineal

Estos sistemas tienen su máxima aplicación en equipos a los que se les exige una alta calidad de transmisión de señales vocales, ya que en este tipo de señales, los niveles bajos en las muestras ocurren con mayor probabilidad que los altos. Se consigue así un elevado margen dinámico y una relación **S/N** más constante.

Pueden obtenerse sistemas de conversión no lineales a partir de sistemas lineales utilizando redes de compresión y expansión, tal y como se muestra en la figura

En este caso tendremos que cuanto menor es la amplitud de las muestras, mayor es la ganancia **F(x)** del compresor, y por lo tanto, mayor es el número de intervalos de cuantificación abarcados por dichas muestras. En la decodificación de la señal en recepción, deberá utilizarse una red de expansión inversa a la de compresión, con una curva de transferencia, por tanto, **F⁻¹(x)**. Como era de esperar, aparece siempre el error de cuantificación.



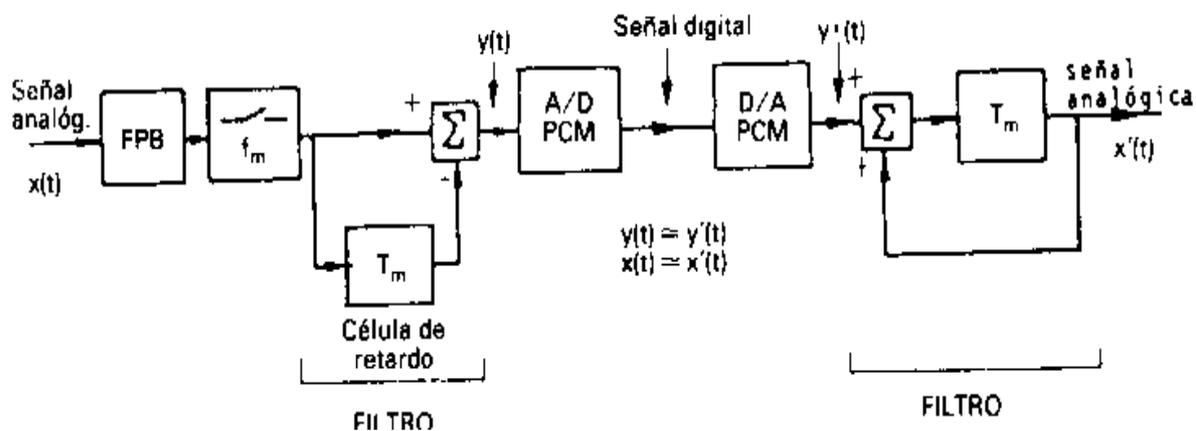
Conversión de sistema lineal en no lineal empleando un compresor analógico

Existen funciones de compresión específicas, de tipo logarítmico, muy utilizadas en equipos profesionales, que dan lugar a los llamados sistemas log PCM. En general, estos sistemas consiguen mejoras de 24 dB en la relación **S/R** de cuantificación, o lo que es lo mismo, un ahorro de 4 bits por muestra codificada con respecto a la cuantificación lineal.

SISTEMA PCM DIFERENCIAL (DPCM)

En sistemas en los que se desea reducir el número de bits necesarios para conseguir una calidad determinada del sistema de conversión, lo que se hace es la diferencia de amplitud entre dos muestras sucesivas de la señal analógica, ya que el margen dinámico de la señal diferencia es bastante menor que el de las muestras y por lo tanto puede reducirse el número de bits en la codificación.

En la figura se muestra el diagrama de bloques de un sistema PCM diferencial. Como puede observarse, el codificador genera periódicamente una señal llamada de predicción sobre la señal de entrada actual. Esta señal de predicción es la señal que había a la entrada del codificador, un tiempo T_m antes que la actual; es decir, la señal predictora es la señal de entrada retardada un tiempo igual al periodo de muestreo. La diferencia entre la señal de entrada actual y la señal de predicción es la que se digitaliza en el conversor **A/D**. Puesto que la señal de predicción se obtiene también en el decodificador, la suma de ésta con diferencia a la salida del conversor **D/A**, da la señal actual. Esta señal retardada será la nueva señal predictora que en el siguiente ciclo se sumará a la señal diferencia. Así sucesivamente, se van obteniendo las muestras analógicas a la salida del sistema.



Tratamiento de una señal con cuantificación diferencial

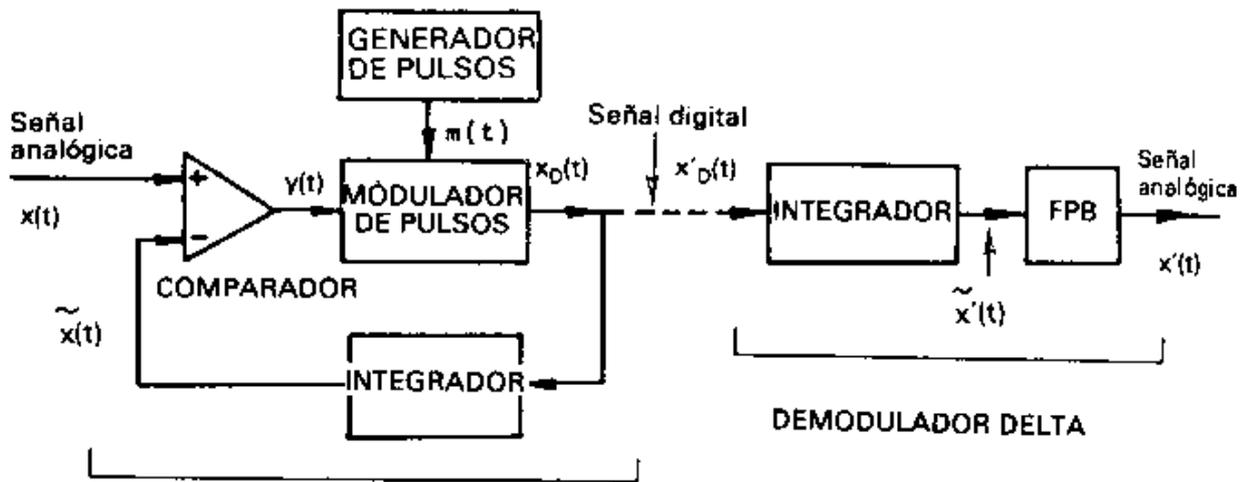
SISTEMAS DE MODULACIÓN DELTA

Como se ha dicho, en los sistemas DPCM el ahorro de bits se consigue gracias a que el margen dinámico de la señal diferencia es mucho menor que el de las muestras, y por tanto se requieren menos bits en la codificación. Ahora bien, haciendo los intervalos de muestreo lo suficientemente pequeños (elevando la frecuencia de muestreo) se consigue un margen dinámico de la señal diferencia aún menor, y por lo tanto un mayor ahorro en el número de bits. Esto se explica si se tiene en cuenta que en intervalos de muestreo tan pequeños, los cambios de amplitud de la señal analógica son mucho menos significativos, y por lo tanto, la amplitud de la señal diferencia es menor. Lógicamente, en el caso límite de que durante dos intervalos de muestreo consecutivos no existan variaciones de amplitud, la señal diferencia será cero.

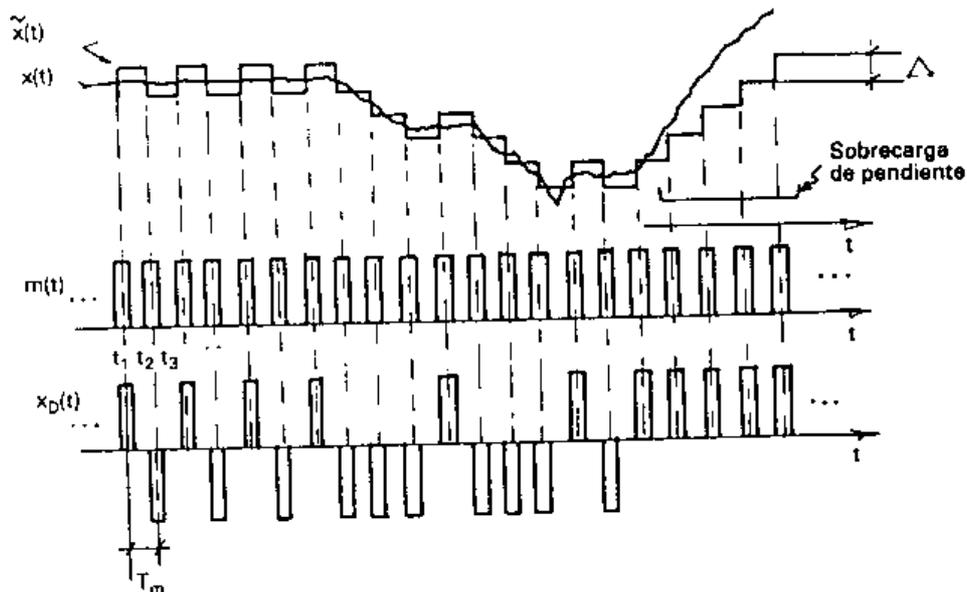
En la llamada modulación **Delta** se elige convenientemente la frecuencia de muestreo, de manera que se pueda obtener la señal diferencia con un margen dinámico tan pequeño como para poder codificarla con un solo bit. Puede decirse, por tanto, que la **modulación Delta es el caso límite de la modulación DPCM**, y además es el método más simple para convertir una señal analógica en una señal digital.

El hecho de utilizar estos sistemas de conversión radica, en la simplicidad de su implementación, como puede verse en la figura. La señal analógica de audio $x(t)$ a la entrada del modulador delta se compara con la señal predictora $x'(t)$, obteniéndose la señal diferencial $y(t) = x(t) - x'(t)$. Seguidamente, la señal $y(t)$ modula a un tren de

impulsos $m(t)$, de manera que, si en un determinado instante de muestreo, la señal diferencia es positiva o negativa, a la salida del modulador se tiene un pulso positivo o negativo, respectivamente. En definitiva, la señal de salida $X_D(t)$ será el tren de impulsos $m(t)$ multiplicado por $+ 1$ ó -1 dependiendo de si la señal $y(t)$ es positiva o negativa.



MODULADOR DELTA
Diagrama de bloques típico de un modulador delta



Señal modulada a la salida de modulador

En la figura, también pueden verse las distintas formas de onda de las señales que intervienen en el proceso. En ellas puede apreciarse cómo la señal $X_D(t)$ a la salida del sistema es una forma de señal digital binaria. Supóngase, por ejemplo, que en un instante t_1 la señal diferencia es positiva. Como ya se ha dicho, se tendrá un pulso positivo en la señal, $X_D(t_1)$; y como respuesta a este pulso, el integrador dará a su salida el abrupto "escalón" de la señal predictora $x'(t)$, manteniéndose su valor durante todo el intervalo de muestreo T_m .

En el siguiente instante de muestreo t_2 , la señal diferencia se hará negativa y por tanto a la salida del modulador se tendrá un pulso negativo en la señal, $X_D(t_2)$. Este pulso, al pasar por el integrador dará lugar a un nuevo salto en la señal $x'(t)$, pero esta vez en sentido negativo. Así sucesivamente se realiza el proceso de modulación.

CONVERSIÓN ANALÓGICO A DIGITAL

Existen varios modelos de convertidores **A/D**. Entre ellos:

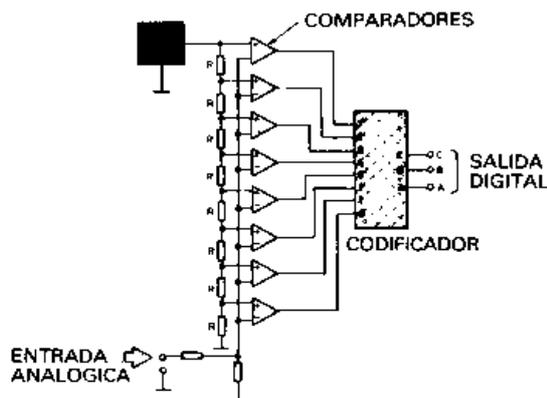
- ❖ **Convertidor Flash**
- ❖ **Convertidor por aproximaciones sucesivas**

CONVERTIDOR FLASH

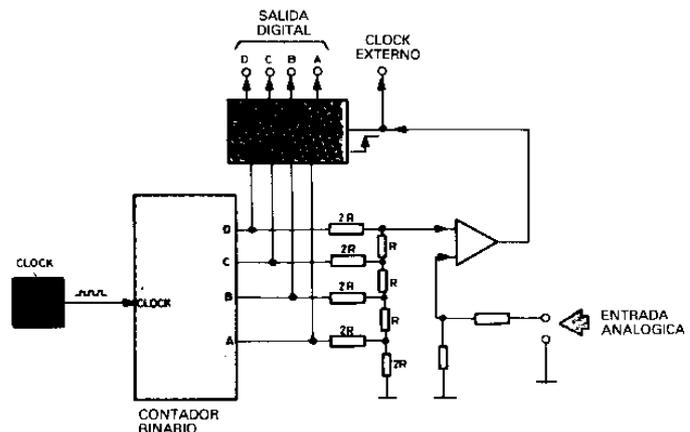
Se basa en utilizar tantos comparadores como niveles diferentes deseemos obtener. Así, para codificar con 4 bit, serían necesarios 16 comparadores. Para codificar con 6 bit serían necesarios 64, con 8 - 256 y con 16 - 65536.

Como se deduce, este tipo de convertidor se podrá usar en aplicaciones que precisen pocos bits de salida (máximo de 8). La ventaja de este tipo de convertidor, es su extremada velocidad.

Por estas razones, estos convertidores no se emplean en audio, sólo en video.



Convertidor Flash



Convertidor de aproximaciones sucesivas

CONVERTIDOR DE APROXIMACIONES SUCESIVAS

Es uno de los más empleados para todo tipo de conversiones. Es bastante rápido, y su diseño relativamente sencillo.

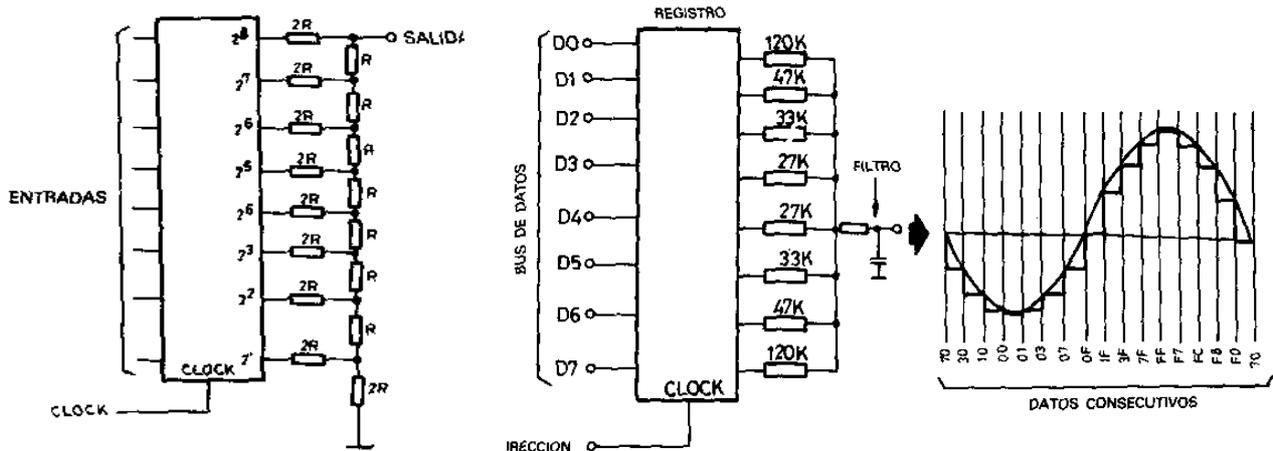
Consta de un comparador, y de un convertidor digital-analógico. La señal de entrada será comparada con la obtenida a partir de una combinación binaria introducida por el **D/A**. De esta manera se tratará de buscar que combinación binaria, produce la tensión de salida equivalente a la señal analógica de entrada.

El sistema se llama de aproximaciones sucesivas, porque la búsqueda se hace bit a bit, comenzando por el de mayor peso. En total, solo serán necesaria tantas comparaciones como bits deseemos obtener.

CONVERSIÓN DIGITAL ANALÓGICA

La conversión digital - analógica resulta más sencilla que su opuesta. Normalmente se emplean redes de resistencias ponderadas, cuya única complejidad consiste en mantener unos controles de calidad adecuados durante el proceso de fabricación para asegurar los valores de las resistencias (muy críticos), así como su estabilidad térmica.

La velocidad de estos convertidores suele ser muy alta.



Convertidor digital analógico

Ejemplo práctico de convertidor digital analógico

ETAPA DE MUESTREO Y RETENCIÓN

Hemos visto que el proceso de conversión analógico a digital, es un poco más complicado que el contrario. Además, la conversión requiere un tiempo, durante el cual, la señal analógica de entrada debería permanecer invariable, ya que sino se podrían introducir errores. Para asegurar esta estabilidad en la señal de entrada, se agrega una etapa que se denomina de "muestra y retención" en inglés "Sample and hold". Consiste básicamente en un condensador y un conmutador electrónico. El conmutador, permitirá que se cargue el condensador al valor de entrada, cada vez que se toma una muestra. Hasta que no se haya convertido la muestra anterior, no se capturará la siguiente.

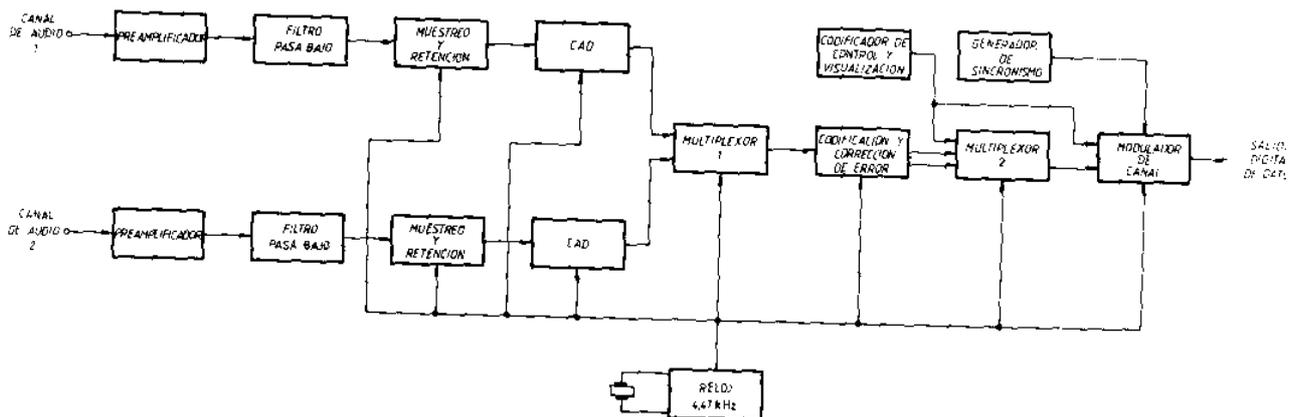
CORRECCIÓN DE ERRORES

Al transmitir una señal digital es posible que se cometan errores, por ese motivo todas las transmisiones de datos digitales se envían con algún mecanismo de detección y/o corrección de errores. Los más habituales con los códigos de paridad, que permiten detectar errores, pero no corregirlos. En general, los sistemas capaces de autocorregir errores, están basados en emplear mucha redundancia, lo que se traduce en pérdida de capacidad de almacenamiento, por lo que sólo se emplean cuando es estrictamente necesario.

DIAGRAMA COMPLETO GENERADOR DE SEÑAL DIGITAL

En la figura puede observarse el diagrama de bloques del proceso de digitalización de una señal de audio estéreo.

A las etapas vistas con anterioridad, habría que añadir un multiplexor (conmutador electrónico), y los circuitos para la generación de bits adicionales para el control de errores.



Proceso de digitalización de audio estéreo

Podemos calcular la tasa de bits necesarios, para mantener audio en este formato. Se tomarán 2 muestras (una por canal) de 16 bits cada una, a una velocidad de 44.100 veces por segundo. Eso nos dá:

$$\text{Nº de bits / seg} = 2 * 16 * 44.100 = 1.411.200 \text{ bits /seg}$$

Para 1 minuto : $1.411.200 * 60 = 84$ millones de bits.

La velocidad de transferencia mínima para que el sistema funcione será de 1.5 Mbit por segundo o 176.400 bytes por segundo (tasa de transferencia mínima para un lector de CD).

SOPORTES DIGITALES DE GRABACIÓN

El Compact Disc (CD)

Es el formato digital doméstico por excelencia. Su implantación ha sido asombrosa, sustituyendo totalmente a los vinilos hasta el punto de que en algunos países, como Japón y Estados Unidos, han pasado a ser piezas de coleccionista.

El CD fue inventado por Philips junto con Sony, y en un principio diseñado para la grabación de audio digital. Después se le han asignado otros muchos cometidos. Existen varios formatos de CD, entre ellos, podemos destacar:

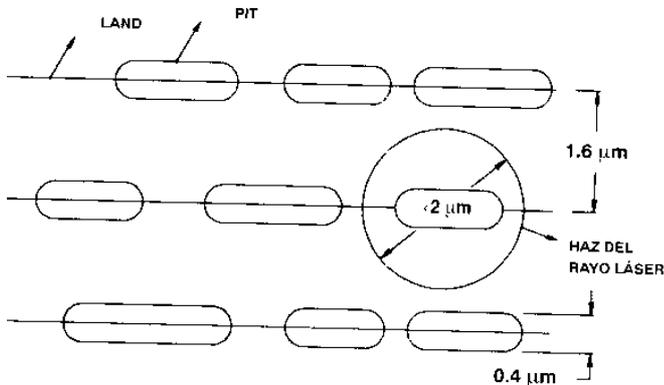
8cm(3"), 12cm(5"), 20cm(8") y 30cm(12"). Los formatos pequeños, se emplean para audio, y los grandes para vídeo.

Además el CD se dedicado a varios usos, entre ellos, CDROM, Cdi, CD foto, o CD audio.

El CD de audio, emplea un disco de 12cm de diámetro y 2 mm de espesor. La información se graba en una sola cara sobre una capa metalizada protegida por una capa de policarbonato transparente. Esto evita el posible contacto físico con la información grabada en el CD, protegiéndolo de marcas de huellas, suciedad y polvo. Permite la grabación de hasta 80 minutos. La frecuencia de muestreo es de 44.1 khz, y sus características de respuesta en frecuencia, rango dinámico. diafonía, etc, son muy superiores a las de los sistemas analógicos.

A diferencia de los vinilos, en los CD la lectura comienza en el interior de la espiral del disco. Para que la lectura sea constante. va variando la velocidad de giro del disco dependiendo de la distancia de su centro, disminuyendo cuanto más lejos se halle de éste.

Los datos son grabados en el disco en forma de pequeñísimas elevaciones de 125 nanómetros (PITS), sobre una superficie plana (LANDS). Esto se corresponde, según la codificación empleada para almacenar los datos, con cambios de 0 a 1 (ó viceversa) en la información.



En el CD se incluye más información que el simple audio, se incorporan más datos, como los inicios de los temas, su duración, código de tiempos. etc. Para esto hay 8 palabras de subcódigo llamadas P, Q, R, S, T, U, V y W, aunque actualmente solo se emplean las dos primeras (P y Q). De esta información hace uso el lector de CD cuando avanza o busca un determinado tema en un disco. Además, entre dos temas se dejan 4 segundos de silencio.

Aspecto de la superficie de un CD

Para la grabación de los CD se convierten las señales L y R del estéreo en muestras independientes de 16 bits. Se emplea la codificación PCM, que toma 44.100 datos por segundo para cada canal. Las muestras de 16 bits se dividen en parejas de 8 (8 bits = 1 byte). A estos bytes se les aplica un sistema de *corrección de errores* (CIRC) y un intercalado de la información para poder recuperarla en caso de que haya alguna pérdida de datos en la lectura. Esta corrección de errores sigue el código de *intercalación cruzada de Reed-Salomon*.

A continuación se realiza la modulación *EFM* (EIGHT TO FOURTEEN), modulación de 8 a 14. Así transformamos los datos de 8 bits en 14, lo que permitirá una mejor codificación de los datos. Como solamente utilizamos 8 bits, podemos tener 256 (2^8) valores diferentes. De esta manera elegimos los mejores 256 valores que hay entre los 16384 que permiten los 14 bits. Esto asegura unas separaciones entre *lands* y *pits* con unas dimensiones que dan como resultado una correcta lectura de la información codificada. Los *lands* y los *pits*, por tanto, tienen unas longitudes que dependen de las transiciones de valor que tengan grabadas, no siendo, evidentemente, constantes.

CONSTITUCIÓN DE UN REPRODUCTOR DE COMPACT DISC

En la figura se representa el esquema de bloques de un sistema digital de lectura de Compact Disc. Entre los bloques que forman el sistema destacamos la unidad fonocaptora, que está constituida por un láser, una serie de lentes y unos fotodiodos. El sistema de lentes es necesario para un correcto y exacto enfoque de la luz del láser en la superficie del disco, mientras que los fotodiodos, tienen por misión convertir la luz reflejada por el disco en señales eléctricas.

La luz procedente del láser, que incide en los *pits* del disco, se difunde. De esta forma tan simple la intensidad de luz reflejada que llega a los fotodiodos es mucho menor que la de la luz reflejada en la superficie reflectante del disco (donde no hay *pits*). Estas variaciones de luz se convierten en los fotodiodos en variaciones de tensión eléctrica.

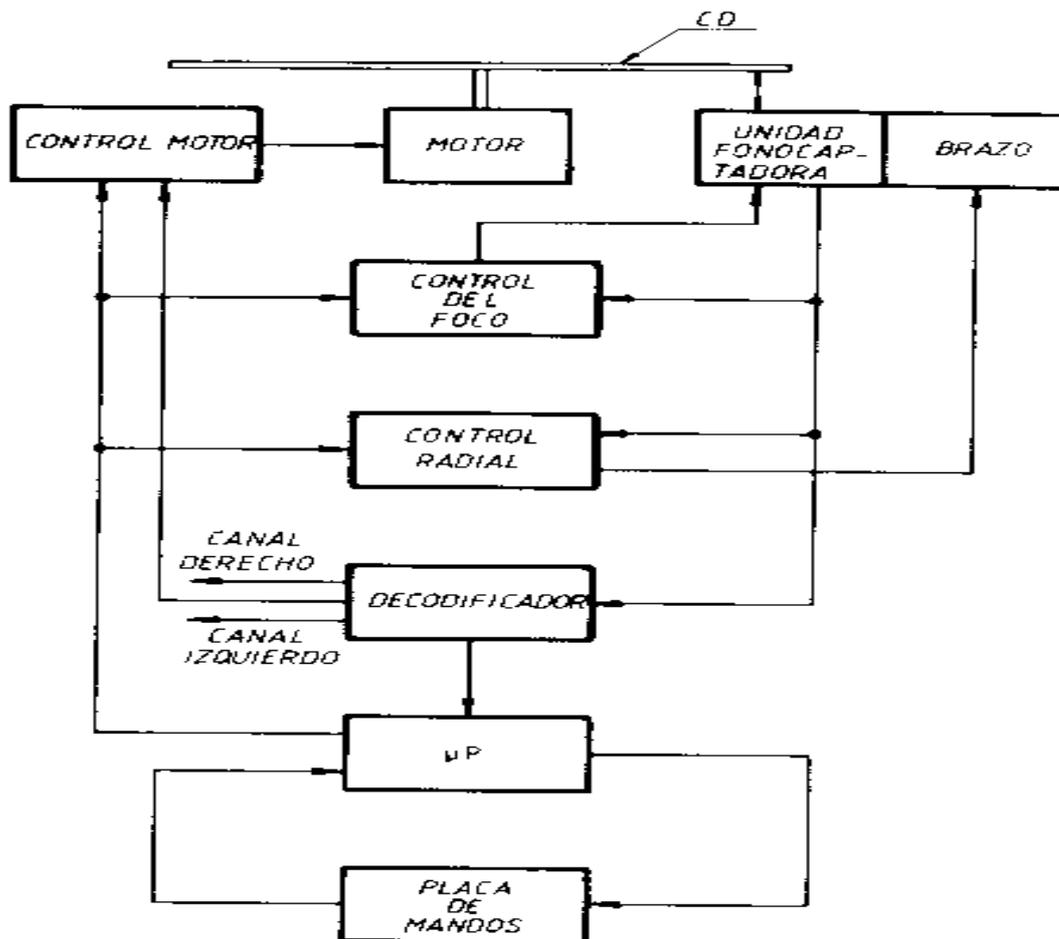


Diagrama de bloques de un lector de CD

Lógicamente, y dado que el ancho de los pits es de tan sólo $0,4 \mu\text{m}$, la lectura de la pista en forma de espiral debe hacerse con una enorme precisión, es decir, el haz de luz láser debe leer la pista sin desviarse lo más mínimo del recorrido de ésta a lo largo de la superficie del disco, pues cualquier desviación, por pequeña que sea, daría lugar a un error en la lectura de la información contenida en el disco. Así pues, para que la lectura del disco se realice con tan alta precisión, se recurre a más de un fotodiodo, ya que así es posible medir la desviación y con su magnitud corregir la posición del brazo de la unidad óptica.

En la figura se puede ver cómo una señal, procedente de la unidad óptica, se aplica a un circuito de control radial y éste gobierna el brazo que desplaza a esta misma unidad durante la lectura del disco (**servo del traking**).

También la velocidad de rotación del plato giradiscos necesita de un control continuo que asegure una velocidad de lectura de la información lo más constante posible. Para ello se mide la velocidad de lectura de las informaciones contenidas en la pista; si la velocidad de lectura es demasiado lenta el plato giradiscos es acelerado por un circuito de control; si por el contrario, en el circuito de proceso de la señal se obtiene un flujo de informaciones demasiado alto, como consecuencia de una velocidad de giro demasiado alta del motor del plato, se genera una señal que se aplica al circuito de control del motor y éste reduce la velocidad de rotación del plato (**servo de velocidad**). Efectivamente la velocidad de rotación va variando según se lee el disco. La variación se produce entre **500 rpm (parte interior)** y **200 rpm (parte exterior)**. La velocidad lineal es cte. de 1,2 m/s. Esto se conoce como dispositivo de velocidad lineal constante, a diferencia de un vinilo que sería de velocidad angular constante.

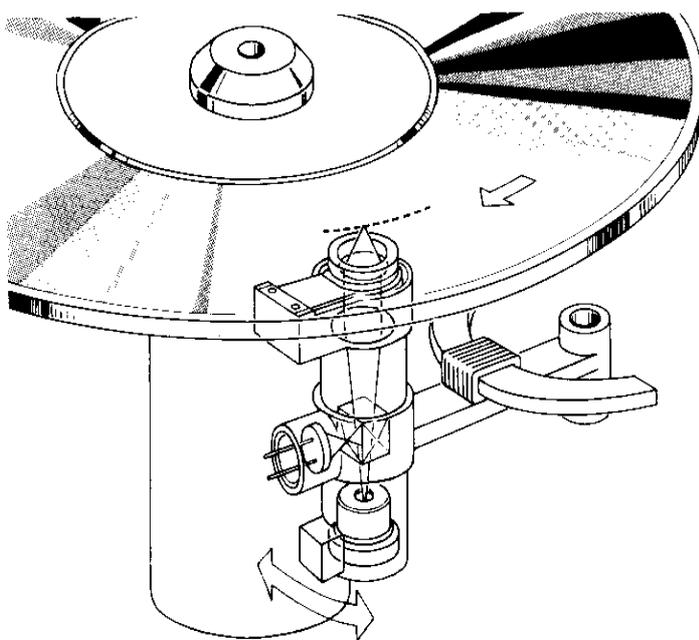
Antes se ha dicho que la lectura de los pits, debe ser lo más exacta posible y, naturalmente uno de los factores que más pueden influir en una mala lectura es el enfoque correcto del láser sobre la pista de informaciones. La exactitud del enfoque se determina gracias a la luz reflejada. Si la unidad óptica no está bien enfocada, se genera una señal que se aplica a un circuito de control del foco (ver figura). Este circuito modifica la posición en sentido vertical, de la unidad óptica y con ello, el enfoque del haz de luz láser sobre la pista del Compact Disc (**servo del enfoque**).

Para finalizar con la descripción general del sistema digital de lectura de un Compact Disc, diremos que un microprocesador controla todas las operaciones del sistema y, además, lee el teclado de los mandos, por lo que en él se integran todas las funciones

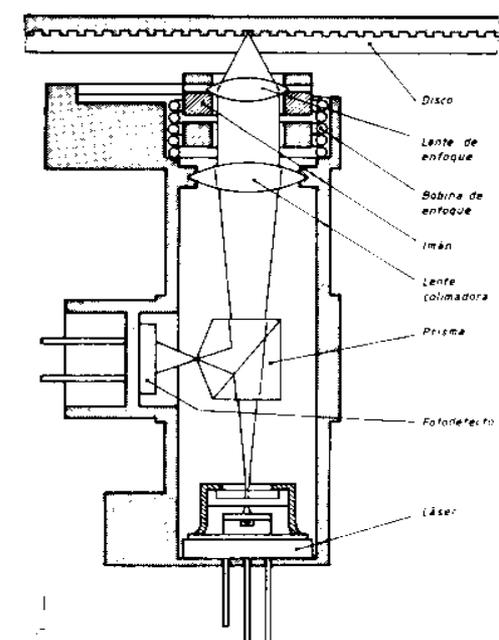
LA UNIDAD ÓPTICA

La lectura del CD se realiza mediante un rayo de luz láser, de un diámetro inferior a $2\ \mu\text{m}$, que incide sobre la superficie inferior del disco y de dentro hacia afuera, es decir al contrario de los tocadiscos convencionales.

La unidad óptica tiene una longitud total de 45 mm. un diámetro de 12 mm y un peso de tan sólo 14 gramos.



Detalle de la unidad óptica



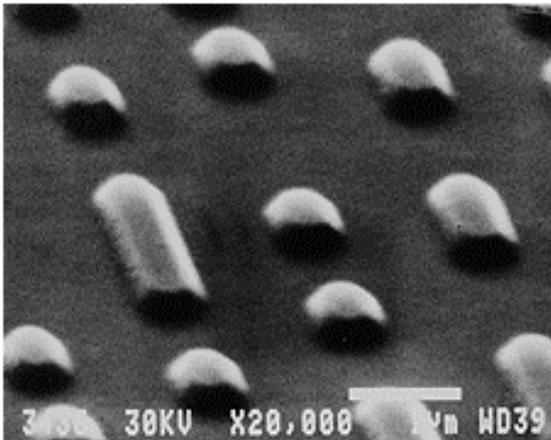
OPU(optical pick up unit)

El láser y el prisma están situados en la denominada *unidad láser*, mientras que la lente colimadora y los fotodiodos están situados en la unidad óptica de forma independiente.

La unidad de enfoque comprende, además de una lente de enfoque, un mecanismo electromecánico que permite el movimiento del objetivo propiamente dicho hacia arriba y hacia abajo.

Al incidir la luz sobre la pista del disco pueden suceder dos cosas: que incida sobre un pit, en cuyo caso la luz se difumina en él, o que incida sobre la superficie plana del disco (ausencia del pit o land), en cuyo caso es reflejada.

El láser se dispone en la parte inferior de la unidad de enfoque y es de tipo semiconductor(diodo), con una dimensión de tan sólo 0,3 mm. Este diodo necesita una tensión de 2 V, y una corriente de unos 120 mA, generando dos rayos luminosos; uno



CD al microscopio

principal que sale de un extremo y otro secundario que sale del extremo opuesto El rayo de luz principal es el que se aplica al disco a través del prisma y la lente de enfoque. El rayo de luz secundario se aplica a un fotodiodo incorporado en la propia unidad láser, cuya misión es asegurar que la intensidad del láser permanece cte. Esto se hace porque el diodo, sufre fuertes variaciones de potencia con la temperatura, para lo que se controla la intensidad que lo alimenta ya así se corrigen las desviaciones.

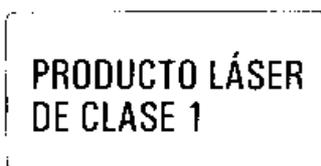
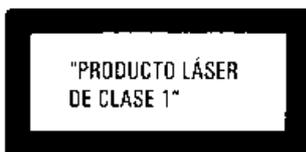
CUIDADO CON EL LÁSER

En todos los reproductores de CD podemos encontrar una pegatina que nos dice algo así como " Producto Láser de clase1". Esto nos debe poner en sobre aviso de que no debemos mirar directamente a la lente o diodo que produce el haz láser.

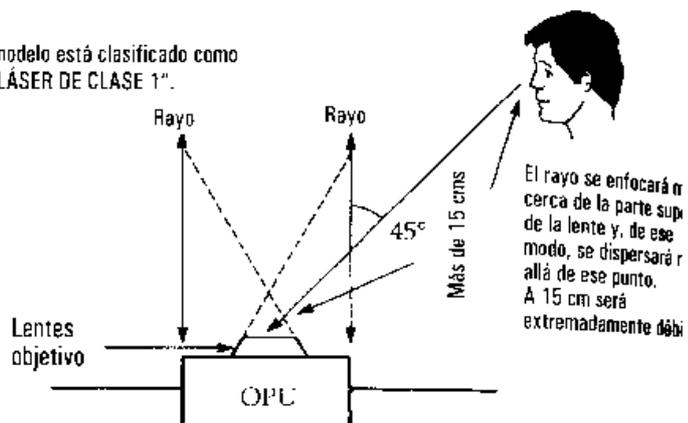
El láser empleado normalmente, es un diodo que produce un haz en la zona del infrarojo, que por lo tanto no es visible. Esto quiere decir, que aunque nos dé la impresión de estar apagado, puede que no sea así. Mirar directamente al haz láser, puede producir lesiones oculares irreparables. Los límites de seguridad, aconsejan, mantenerse a más de 15 cm, y con un ángulo mayor de 45°.



Precaución: Este equipo contiene un diodo láser que produce radiación láser invisible, peligrosa para los ojos. Hay un indicador de aviso de radiación láser dentro de este equipo.

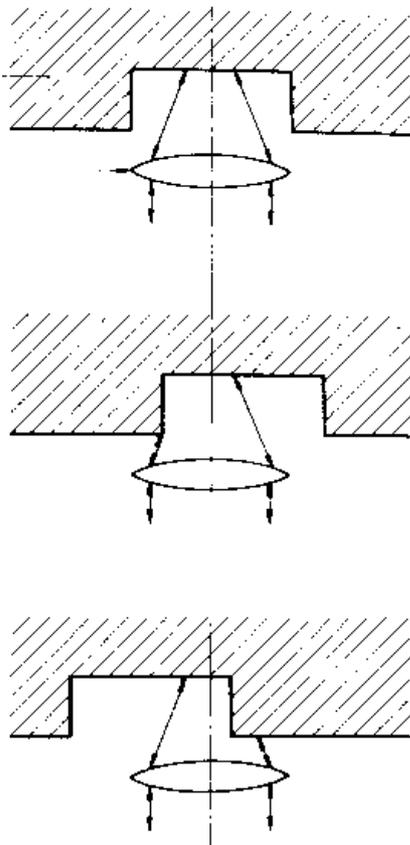


Precaución: Este modelo está clasificado como "PRODUCTO LÁSER DE CLASE 1".



Precauciones al manipular el láser

SEGUIMIENTO DE PISTA



Seguimiento de pista

Ya sabe que es imprescindible que, durante la lectura del Compact Disc la unidad óptica siga la pista con extrema precisión para asegurar una señal fidedigna. Al no existir ningún contacto mecánico entre la unidad óptica y el disco, el seguimiento deberá realizarse electrónicamente.

Como referencia del correcto seguimiento de la pista de un Compact Disc se recurre a la propia luz reflejada. Efectivamente, si el rayo luminoso está correctamente centrado sobre la pista, la intensidad de la luz reflejada será igual en todos los puntos o sea que la luz reflejada por el lado derecho de la pista será igual a la que se refleja por el lado izquierdo.

Si el rayo de luz se desvía a la izquierda de la pista, parte de él se dispersará dentro del pit, reflejándose muy poco, y otra parte, la que incide sobre la superficie reflectante del disco, se reflejará con gran intensidad, es decir que la cantidad de luz reflejada por el lado izquierdo de la pista será superior a la reflejada por el lado derecho. Análogamente un desplazamiento del rayo hacia la derecha hará aumentar la cantidad de luz reflejada por la derecha de la pista, la cual será superior a la reflejada por la de la izquierda.

En los reproductores CD, las dos mitades de luz reflejada inciden en dos fotodiodos distintos. Si la intensidad luminosa incidente en cada fotodiodo es la misma ello querrá decir que la unidad óptica sigue la pista correctamente.

Cualquier desplazamiento a la derecha o a la izquierda de la pista hará que la intensidad luminosa que incide en ambos fotodiodos sea desigual, lo que genera una señal eléctrica diferencial que se suma y se resta a las dos señales de salida de los fotodiodos.

Esta señal diferencial se compara con la señal de error radial que controla el brazo soporte de la unidad óptica, desplazándolo hasta que el rayo láser de la unidad óptica queda perfectamente centrado en la pista y se anula con ello la señal de error.

El sistema descrito no es otra cosa que un servosistema, es decir, un sistema que continuamente en el tiempo compara la señal de error con una señal de referencia y de esta comparación se genera otra señal que controla la posición del brazo.

Todos los servosistemas utilizados en los reproductores CD poseen una red de realimentación que los mantiene estables.

SEGUIMIENTO RADIAL

Existen dos maneras habituales de mover el brazo a lo largo del disco, mediante transversal lineal (como en un disquete de ordenador) y brazo radial (como en los tocadiscos). En general, éstos sistemas emplearán un servo que controle continuamente la posición del grupo óptico. El brazo puede estar movido por un motor lineal, un motor de C.C. o una bobina móvil, tal como ocurre en los discos duros (o con la aguja de un voltímetro analógico), siendo éste último método el más habitual.

Los discos permiten la lectura óptica de las informaciones contenidas en ellos. Esto ofrece la ventaja respecto a otros sistemas de almacenamiento de datos de que no hay ningún contacto entre el soporte grabado y el sistema lector.

De esta manera podemos afirmar que la lectura no ocasiona ningún daño sobre el disco, con lo que tiene una mayor durabilidad.

EI DAT

DAT significa cinta de audio digital (*Digital Audio tape*). En un principio aparecieron dos modelos de DAT el R-DAT y el S-DAT (cabezal static), aunque el que se ha impuesto ha sido el R-DAT (rotatory), al que llamamos simplemente DAT, y se utiliza generalmente para la grabación de masters.

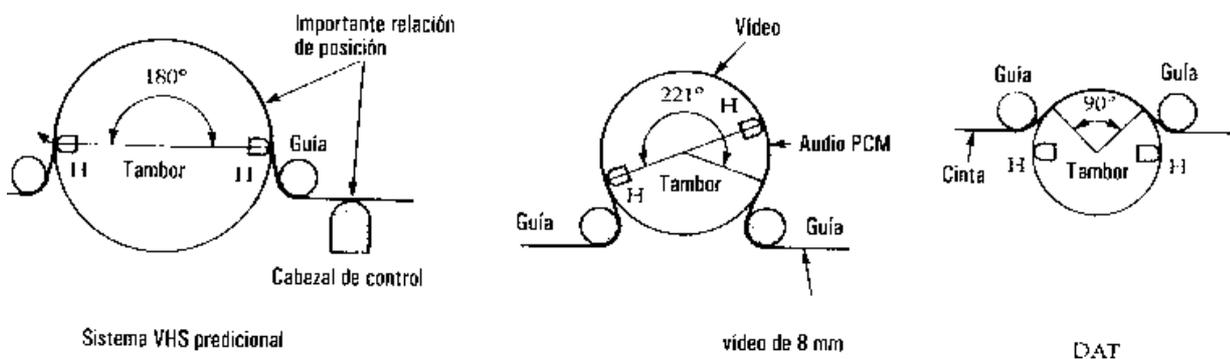
El ancho de cinta que emplea es el mismo de la casete, 1/8 de pulgada, y las dimensiones externas de la carcasa son 75 x 54 x 1015, que viene a ser a mitad de una casete analógica

También la estructura de la carcasa es muy similar se diferencia en que utiliza solamente una cara. La cinta magnética se encuentra mucho más protegida que en las cassetes convencionales pues existe una tapa móvil que se levanta al introducirla en el grabador reproductor DAT. En la parte posterior de la carcasa hay una pestaña (similar a los disquetes de ordenador) que permite o no la grabación de la cinta. Dispone además de cuatro agujeros que identifican el tipo/longitud de casete.

En cuanto a las características magnéticas, la cinta es de metal de alta coercitividad y alta remanencia, lo que permite obtener una mejor relación señal/ruido. Algunos fabricantes, permiten utilizar cintas de óxido de hierro.

Los formatos de cintas DAT grabables que existen en el mercado son de 46, 60, 90 y 120 minutos, y en un principio se dejó abierta la posibilidad de existencia de cintas pregrabadas. Llama la atención lo reducido del tamaño de la bobina. Dos hechos provocan esta situación la cinta es más estrecha, y la velocidad de desplazamiento es mucho más lenta que las cassetes analógicas (8' 15 mm/s es la velocidad estándar (SP).

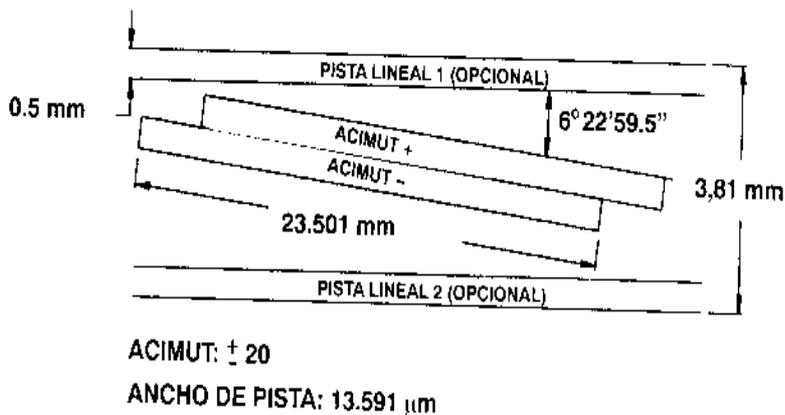
La grabación se realiza utilizando cabezales rotatorios como en los equipos de vídeo. El cabezal, tiene un diámetro de 30mm, el mismo que un grabador de vídeo de 8mm, y gira a 2.000rpm. De esta manera la velocidad relativa cabezal cinta, se eleva a 3.13 m/s (la velocidad en un grabador VHS es de 4.85 m/s). Para mejorar el aprovechamiento de la cinta, se emplea la exploración helicoidal, trazando pistas inclinadas, un ángulo de 6° aprox. Las pistas tienen una anchura de 13.5 µm.



Comparación entre los cabezales de vídeo VHS, 8mm y DAT

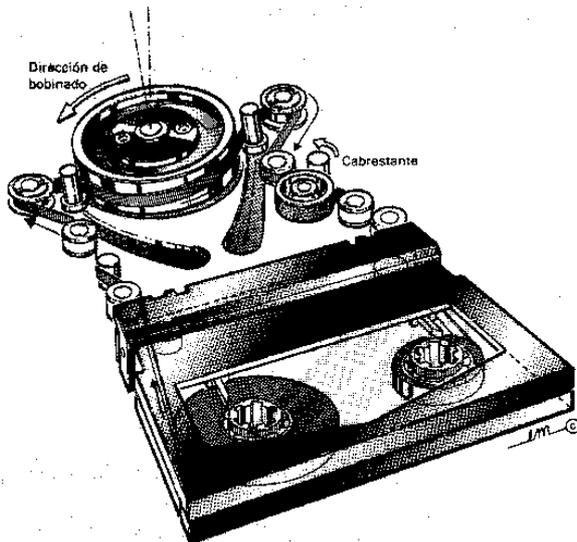
Los dos cabezales graban informaciones de ambos lados (L y R) del estéreo, para mejorar la diafonía de pista a pista, se emplea un azimut diferente de $\pm 20^\circ$. Por eso no es necesaria la existencia de una banda de guarda entre las pistas, pues aunque existe

solapamiento de datos, no son interpretados por el cabezal contrario al leer con una inclinación diferente. El seguimiento de pista se hace mediante un sistema de servos controlados por ATF (al igual que en los vídeos de 8mm).



Cada pista presenta un ángulo diferente ($\pm 20^{\circ}$). De esta manera se puede eliminar la banda de guarda

Por otra parte, la cinta solamente está en contacto con el cabezal en 90 grados, por eso en la grabación se efectúa una *compresión* de los datos, para adecuar las velocidades a la de escucha. Durante la reproducción se produce una *expansión* de los datos, para recuperarlos.



Detalle de la exploración helicoidal

Pensemos que si se pudieran realizar libremente copias digitales disminuirían de manera considerable las ventas de discos. Si copio digitalmente un CD a un DAT de este DAT ya no puedo hacer una copia digital sobre un segundo DAT

Al igual que los demás formatos digitales son grabadas junto a los datos del audio informaciones complementarias una de ellas es la frecuencia de muestreo, que en los equipos domésticos solamente puede ser de 48 kHz (que es el valor estándar del DAT). Los equipos profesionales permiten además seleccionar 32 kHz y 44 kHz. Estos valores se refieren a la grabación desde fuente analógica. Cuando la fuente es digital, este parámetro no se selecciona, ya que el equipo grabador lo detecta automáticamente. Para la reproducción es válida cualquiera de estas tres frecuencias

Otra información que se transmite es el número de bits. Pueden ser 12 ó 16. El estándar es 16 que supone una mayor calidad en la grabación. Pero si se graba en la modalidad de *larga duración*, (LP) se emplean 12 bits (con una frecuencia de muestreo de 32 kHz. La velocidad vale la mitad, y la cuantificación es no lineal disminuyendo el ruido. Las cintas pregrabadas van a una velocidad mas alta, emplean un ancho de pista mayor (el modo pista ancha (WT) y utilizan óxidos metálicos en vez de metal puro. Existe otra

modalidad de grabación que consistente en cuatro canales de 12bit, muestreados a 32kHz.

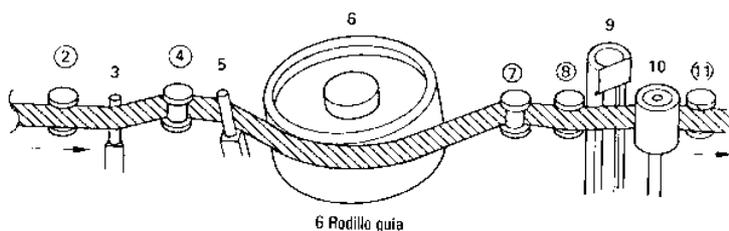
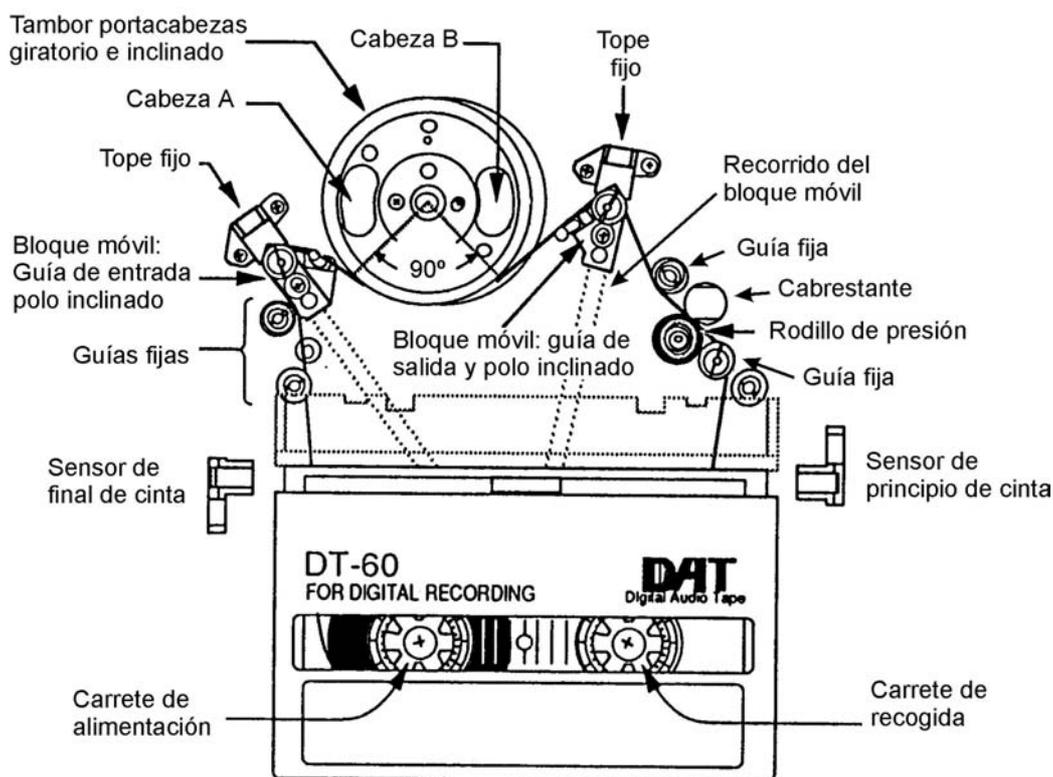
Con esto valores, la tasa de bits que es necesario enviar será de :

$$16 \times 2 \times 48.000 = 1,536 \text{ Mbit/s}$$

Si ha esto añadimos la información de control y de corrección de errores, obtenemos una tasa de bits necesaria de 2,77Mbit/s.

Por último, disponemos de información relativa a los temas grabados. Se utiliza para acceder a los inicios de temas o a localizaciones temporales determinadas con unas velocidades de bobinado y rebobinado extraordinariamente altas.

De esta manera, nada más introducir la cinta, el visualizador nos muestra en qué lugar temporal nos encontramos (en horas, minutos y segundos).



LOS ÍNDICES O PULSOS

Los *índices de inicio* (START ID), permiten la localización de inicios de temas. Duran 9 segundos, y se pueden grabar automáticamente (utilizando la función AUTOID en grabación) o manualmente, pero sólo se pueden eliminar manualmente. *Identifican* el principio de cada tema (aunque se pueden grabar en cualquier lugar de la cinta). De esta manera, usando las teclas SKIP podemos avanzar o

Detalle del tambor porta cabeza y las guías cinta

eliminar manualmente. *Identifican* el principio de cada tema (aunque se pueden grabar en cualquier lugar de la cinta). De esta manera, usando las teclas SKIP podemos avanzar o

retroceder en la cinta, cambiando de un tema a otro. A cada índice se le asigna un número de orden, que puede ser alterado con la función RENUMBER, que los renumera de principio a final de la cinta.

Solamente se puede grabar un *índice de final de grabación* (END ID). Éste identifica el final del audio grabado y permite que podamos reproducir únicamente la parte de la cinta que ha sido grabada, siendo inaccesible el resto. Conseguimos así un menor desgaste de la cinta y de los cabezales, pues al llegar en PLAY a este pulso la cinta se rebobina automáticamente. De esta manera no se reproduce la parte de la cinta que no está grabada. La función END SEARCH posiciona la cinta en este índice. Así podemos continuar la grabación y al terminarla grabar un nuevo índice END.

Los *índices de salto* (SKIP ID) se utilizan conjuntamente con la Opción SKIP PLAY. Tienen una duración de 1 segundo y solamente se pueden grabar manualmente. Si nos encontramos en el modo de reproducción SKIP PLAY, al ser detectado un pulso SKIP la cinta se posicionará automáticamente en el siguiente índice START, no siendo reproducido el intervalo existente entre ambos índices. Si no está activo el SKIP PLAY no sucede nada.

LA GRABACIÓN Y LA REPRODUCCIÓN

La *grabación* no supone ningún borrado previo de la cinta, pues se graba sobre la información preexistente. Si se emplea la entrada *analógica*, se utiliza domésticamente la frecuencia de muestreo de 48 khz. Los equipos profesionales admiten además 32 khz y 44'1 kHz. Podemos monitorizar y ajustar el nivel de entrada de la señal a grabar manualmente. Esta se codificará convirtiéndose en datos digitales, que posteriormente se escribirán en la cinta junto a otras informaciones adicionales.

Si se graba a través de las entradas *digitales*, lo que se hace es una copia exacta de la información recibida, no existiendo la posibilidad de efectuar ningún ajuste de nivel (solamente la grabación de índices)

MINIDISC

El minidisc es un formato de audio digital desarrollado por Sony. Se lanzó a mercado muy difícil en 1993, y no ha calado hondo. Está en competición directa con el DCC de Philips. También se enfrenta a los problemas tradicionales de los nuevos formatos, es decir disponibilidad de software y precios de lanzamiento.

Sony, al igual que Philips o Matsushita (Panasonic), están muy interesados en el mercado del software, lo que significa que tienen la capacidad de influir enormemente en este mercado.

Hay un sector de la industria que insiste que el futuro del audio digital está basado en el disco compacto, no en el cassette. Este formato basado en disco no, es puramente óptico o magnético sino magneto-óptico. Esto será precisamente lo que se verá. Conviene recordar que Sony fue y, claro, sigue siendo, una importante fuerza en el DAT.

FORMATO DEL MINIDISC

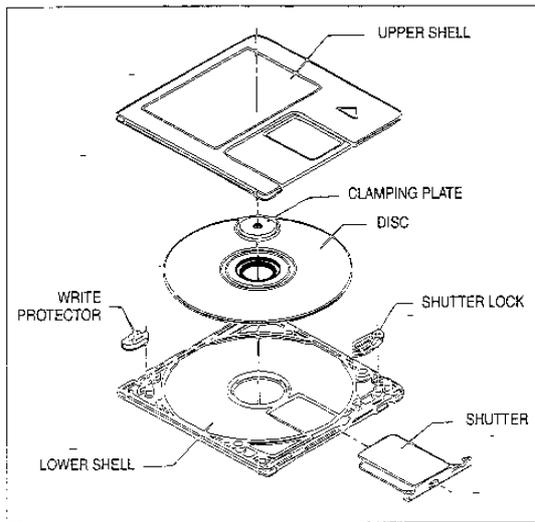
Se debe apreciar que el minidisc es un formato en el que se puede grabar, y que, como tal, se pueden utilizar dos tipos de discos. Uno ya grabado (el mismo principio que el CD) y uno virgen con una duración de hasta 74 minutos. Los discos se fabrican en policarbonato aluminizado (al igual que los CD), a los vírgenes se les añade una capa magnética.

Exteriormente los MD son similares, un poco más pequeños pero muy parecidos a un disquete informático de tres pulgadas y media, es decir, un disco insertado en una carcasa de protección y usado como una unidad. Hay algunas diferencias sutiles entre ambos MD, entre otras, que no se puede grabar en un disco regrabado.

El disco se sujeta por la cara inferior con una pieza magnética alojada dentro del disco

SISTEMA MINIDISC

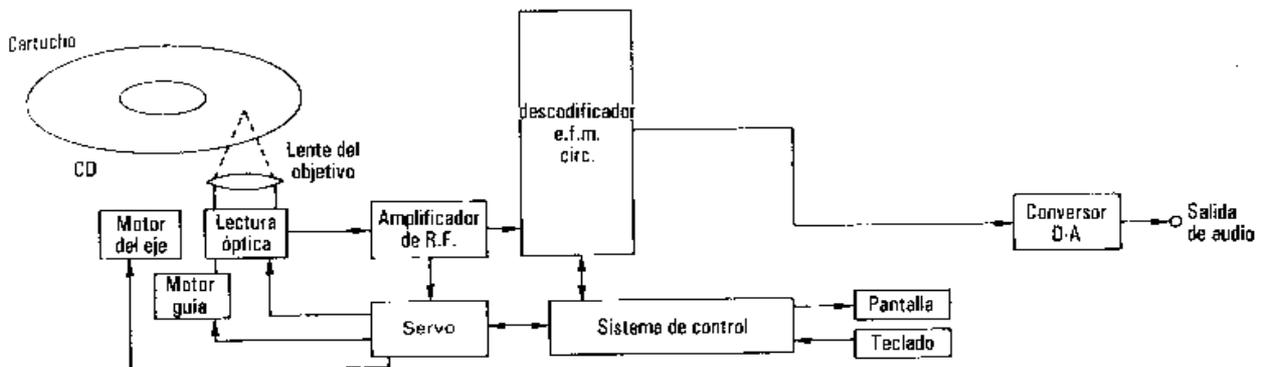
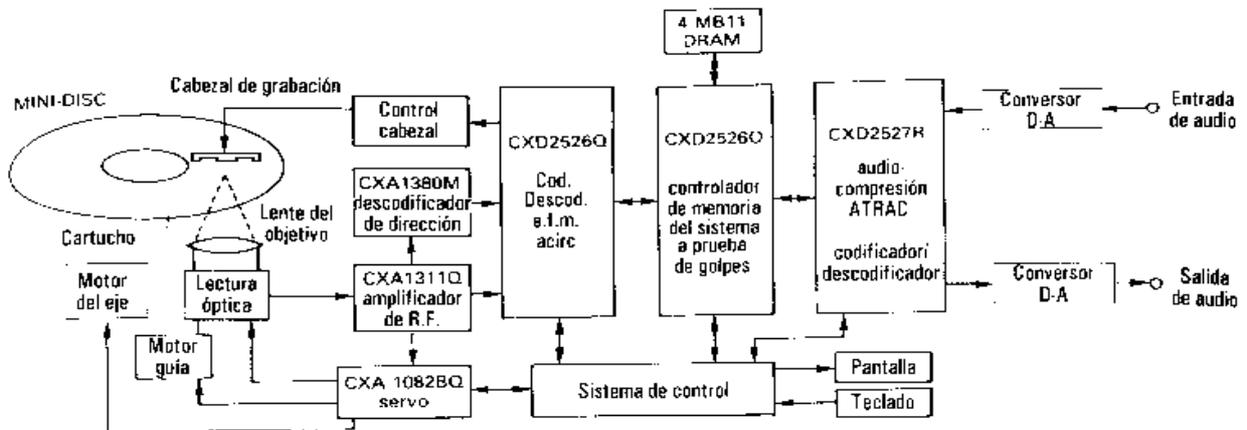
Si se considera inicialmente la reproducción de un disco grabado en estudio aparecen una gran cantidad de semejanzas con el CD estándar.



El disco es de alta reflectividad y. como con el CD, utiliza el formato de picadura; modulan y reflejan la luz láser a través del fotodetector, reproducen los datos del disco

El CIRC(Código de redundancia para la corrección de errores) utilizado es el ACIRC, que es, simplemente una versión avanzada del CIRC usado en los CD.

En el proceso de reproducción de un MD grabado se usa, de nuevo, el láser, pero a este disco se le considera de baja reflectividad y, por tanto, se utiliza un láser de tensión más alta. Se menciona en profundidad después.



Comparación entre un CD y un MD

SISTEMA A PRUEBA DE GOLPES

Hay uno o dos extras en los MD. En primer lugar, un sistema a prueba de golpes. Es algo que se va encontrando en los reproductores portátiles de CD debido a las grandes ventajas que conlleva. Para superar el problema de los datos perdidos por un desajuste del tracking, etc., producido por el movimiento de la unidad, los datos se leen desde el disco a una velocidad más alta de la que se requiere en la decodificación y separada normalmente en una RAM de 4 Mbytes capaz de soportar 10 segundos de audio junto con otras funciones,

El sistema es bastante sorprendente. Controla los servos para leer los datos que pasan a la RAM manteniéndola tan llena como sea posible. Los lee a la velocidad requerida (0,3 Mbit/segundo). Si la RAM empieza a desbordarse, el proceso de lectura se detiene, mientras que la lectura de salida continua hasta que la RAM vuelve a estar lo suficientemente vacía.

Cuando se detecta mal seguimiento o mistrack o una pérdida de datos desde el disco, la lectura desde la RAM continúa hacia el ATRAC (decodificador de audio), pero se ordena a los servos que recuperen los datos correctos de lectura. Desde la RAM la unidad sabe dónde los tenía y vuelve a comenzar desde esa dirección. Cuando vuelve a ella, la lectura de datos hacia la RAM vuelve a comenzar a partir de la siguiente dirección.

La prueba de golpes también se utiliza en la grabación de MD, en donde resulta más crítica.

ATRAC

A diferencia del CD, siempre se emplea una frecuencia de muestreo de 44.1KHZ (con la limitación del SCMS), por lo que para la grabación digital de otras fuentes, Sony ha desarrollado un convertidor de frecuencia de muestreo, con el que asegura, no hay la menor pérdida.

Además, los datos en un MD ya sean grabados en estudio o por el usuario tienen que ser comprimidos, aunque el término correcto es transformados. El MD, puede producir prácticamente la misma cantidad de audio que un CD, pero en un disco mucho más pequeño. Se logra esto mediante la compresión de datos y el sistema llamado ATRAC (adaptive transform acoustic coding, codificación acústica de transformación adaptable). En reproducción los datos procedentes del disco necesitan procesarse de nuevo por el ATRAC, mientras que en grabación la entrada de audio del conversor A-D tiene que ser transformada,

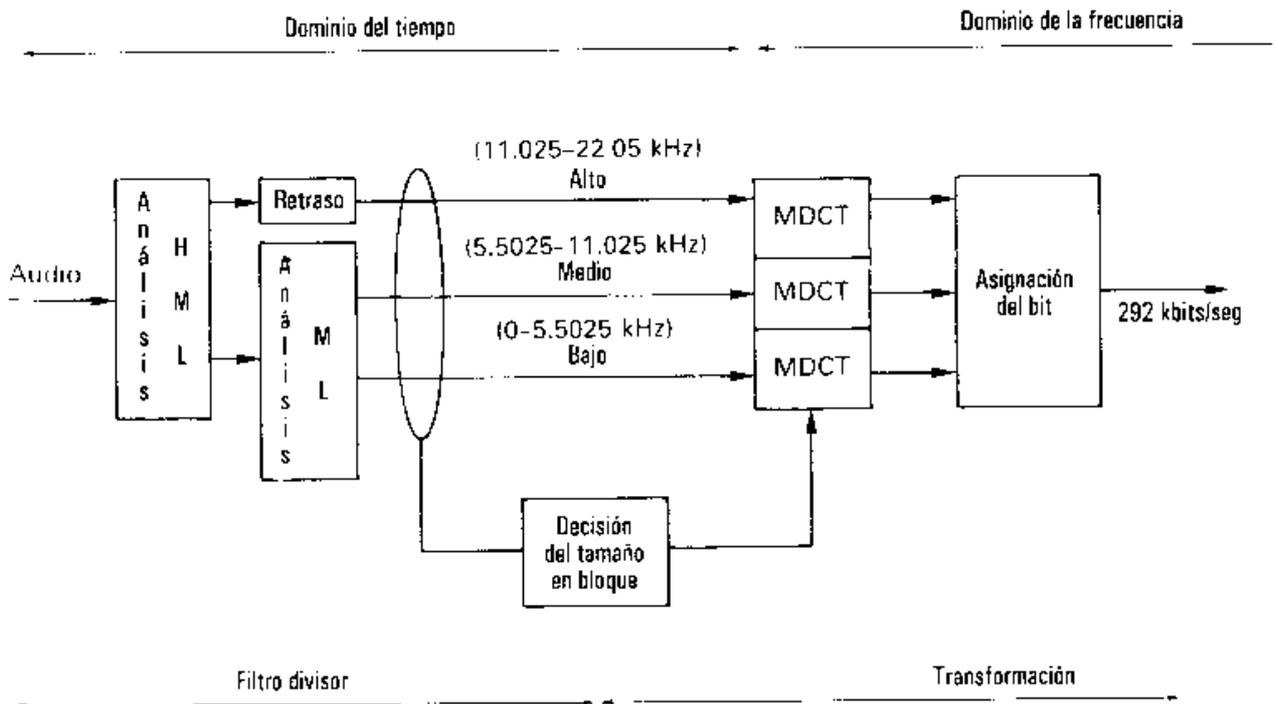
Los principios son que los datos de audio son codificados por un método de transformación que se puede adaptar a las características de la señal de audio en cuestión. Esta operación, increíblemente compleja, se basa en fenómenos matemáticos y psicoacústicos. En otras palabras se puede decir que se comprime al ignorar bits que no afectan de forma audible al sonido reproducido aprovechando así al máximo las características del oído humano.

Para mantener la descripción del circuito de funcionamiento de la forma más sencilla posible, se debe considerar que la entrada de audio se analiza y filtra en tres bandas de frecuencia alta (por encima de 11 kHz) que se hace al principio y esta retrasada en lo referido a la sincronización de fase posterior media y baja.

Estas tres bandas pasan a través de los circuitos de transformación matemática, o sea, los bloques MDCI (modified discrete cosine transform transformación discreta del coseno modificada).

A continuación, se efectúa el proceso de decisión de tamaño de bloque. La decisión se hace basándose en el tipo de señal con que se encuentra. El bloque recibe un cuadro de tiempos y es analizado con un nivel alto o bajo. La idea es que una pequeña ráfaga de sonido con un cambio significativo al principio y al final comprendidos en un bloque. No tiene que ser analizada durante mucho tiempo ya que los factores importantes son esos cambios en sí.

Por tanto, se puede ver la salida desde el ATRAC como un flujo constante de datos a una velocidad de 292 kbit/s (en un CD era de 1.5Mbit/seg). Evidentemente, existirá una pérdida de datos con respecto a un CD. En pasajes con poco contenido musical, no se notará, pero pasajes con fuertes variaciones, podrían quedar afectados.

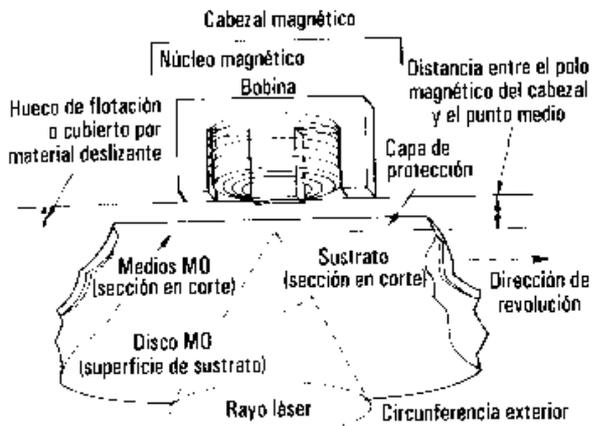
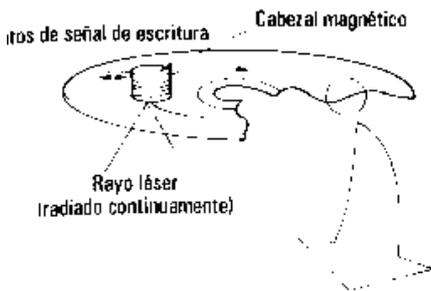


Fases en la codificación ATRAC

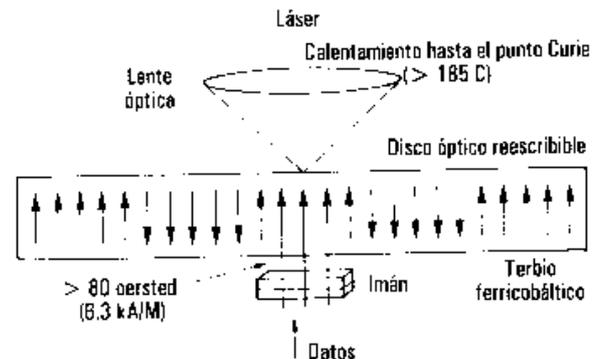
GRABACIÓN

El proceso de grabación se basa en las propiedades magnéticas del disco. Un disco virgen viene con una zona de guía en la que no se puede grabar, que contiene detalles de distribución y las condiciones de funcionamiento del disco, similar al directorio de un disquete informático. Esta zona es de la forma de picadura utilizada en los CD, pero con una reflectividad mucho más baja. El resto del disco está formateado, para continuar la comparación con el disquete, con un surco preformado. Este surco aparece junto con la pista de datos y es una señal de onda sinusoidal de frecuencia modulada de 22,05 kHz con información de dirección. Esto controla el Servo CLV y permite que la unidad sepa exactamente dónde se encuentra el láser en cada momento (como se dijo, con referencia a prueba de golpes).

Al hacer las grabaciones, se genera una cabecera, denominada UTOC (tabla de contenidos o índice), donde el usuario puede introducir datos para personalizar las grabaciones.



ESCRITURA DE UN DISCO MAGNÉTICO-ÓPTICO



Proceso de grabación de un MD

DISCOS VÍRGENES

El disco virgen tiene un sustrato de óxido metálico (terbio, ferrita y aleación de cobalto). El láser calienta el sustrato de forma localizada a unos 185 °C, el punto de Curie, por el que adquiere una nueva orientación magnética si se ve influido por un campo externo. Mientras tanto, sobre el otro lado del disco hay un cabezal magnético que graba usando una modulación de campo magnético. En esta operación, los datos son sobrescritos, no hay borrado. El cabezal magnético utilizado es bastante especial con un tiempo de inversión de flujo posible de 100 ns (f_{max} 10MHz).

LECTURA DE DISCOS VÍRGENES

Se usa el láser para leer un disco grabado pero como no hay picaduras, la luz láser que se refleja no varía en intensidad. Sin embargo la luz ha pasado a través del manto magnético del disco antes de chocar con la lámina reflectora, y su polarización se habrá visto afectada. Esto se debe al denominado efecto *Kerr*. Los datos magnéticos son por tanto leídos por el láser, pero será necesario un bloque adicional, capaz de detectar variaciones no de intensidad (caso del CD), sino de polarización. Para ello se emplea un prisma especial que se denomina prisma Wollaston.

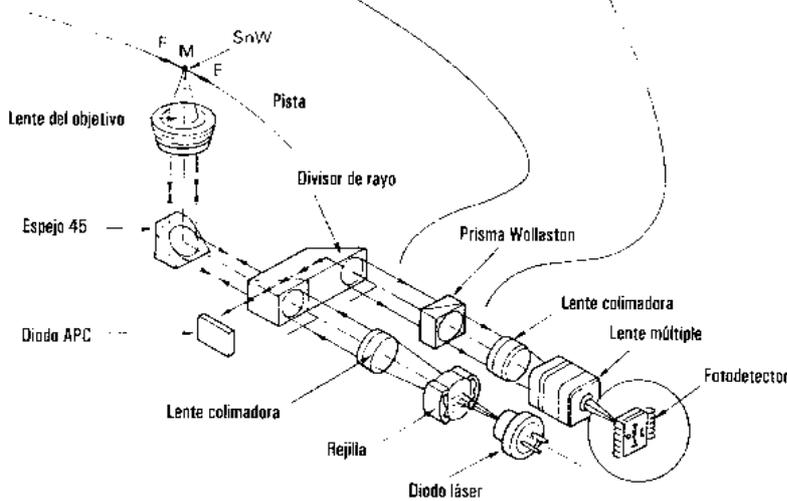
BLOQUE ÓPTICO

La potencia total de los tres rayos es de unos 7 mW. El rayo principal aislado tiene una potencia de unos 5 mW. Es importante recordar esta distinción cuando se leen los datos de alineación.

El prisma Wollaston se usa para extraer la información de polarización láser cuando se lee un disco virgen. Los fotodetectores I y J se utilizan para facilitar la descodificación de la polarización de discos grabados.

El prisma Wollaston consiste en dos cristales de roca tallados a 45°, y el rayo incidente resultante se divide en en cuatro salidas.

Hay dos rayos laterales principales emitidos por el prisma como resultado de la separación de los componentes orientados al norte y orientados al Sur del rayo incidente.

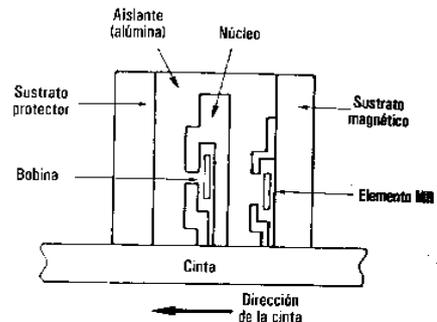
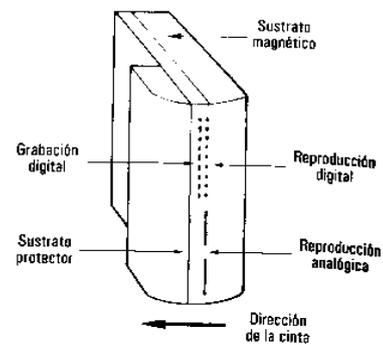
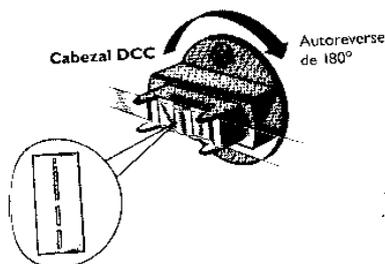
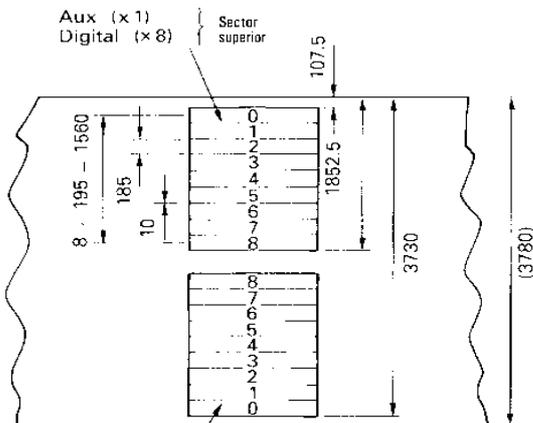


Estos rayos laterales son los rayos I y J detectados por las secciones del fotodetector I y J de la OPU(optical pick-up unit). El efecto magnético sobre el láser (el efecto Kerr) provocará que la salida lo la J sea una más alta que la otra. Así es como se lee la influencia magnética de la polarización láser.

Estructura del fotodetector y la OPU del MD

EI DCC

Detalle de las pistas digitales y cabezal



Detalle del cabezal del DCC

Es el formato doméstico de cinta que presentó PHILIPS en 1992 como sustituto de la casete. Físicamente es muy similar a esta pero tiene la peculiaridad de que se inserta siempre por la misma cara (aunque graba en los dos sentidos de la cinta) y está mucho más protegido del polvo y de cualquier contacto físico. Sólo es accesible la cinta por el grabador-reproductor (como en las cintas de vídeo) que utiliza un cabezal del tipo *autoreverse*.

La frecuencia de muestreo que emplea es de 48kHz (aunque digitalmente puede recibir las otras dos: 32kHz y 44'1 kHz), y el sistema de transporte va a la misma velocidad que las cassetes convencionales (4'75 cm/s). Existen dos versiones: grabables y pregrabados.

Al igual que en el caso del MD, se emplea la compresión digital para reducir el flujo de datos. En este caso se trata de un algoritmo diferente, aunque con características similares. Philips lo ha bautizado como PASC (Precisión Adaptative Sub Coding). En realidad no es más que otra versión de los ya populares compresores de señales digitales basados en la transformada del coseno. Al final se obtiene un flujo de bits que viene a ser la cuarta parte del necesario (sobre 400kbit/s).

En este caso y a diferencia del MD y DAT, se emplea un cabezal fijo, pero muy especial. La mitad es un cabezal magnético de audio normal (2 pistas estéreo) para mantener la compatibilidad con las cassetes analógicas, y la otra mitad contiene 9 cabezales de lectura del tipo magneto-resistivos, y oros nueve de grabación del tipo magneto-inductivo. Los cabezales de grabación tienen un ancho de 185 μm , mientras que los de lectura lo tienen de 70 μm , de esta manera queda reducido el peligro de una pérdida del seguimiento de las pistas. De las 9 pistas digitales, 8 se emplean para la grabación de datos, y la novena como pista de control.

El sistema dispone de un gran panel donde se pueden visualizar informaciones acerca del título de la canción, autor, u otros como los relativos al tiempo que queda de cinta, canción, etc.

Al igual que otros sistemas de grabación digitales incorpora el SCMS(Serial Copy Management system), que asegura que sólo se podrá realizar una copia digital de una cinta digital pregrabada.

Diagrama bloques DCC

