

# AUDIO DIGITAL

## PRINCIPIOS DE AUDIO DIGITAL

### Lo mas básico:

#### *Sistema binario:*

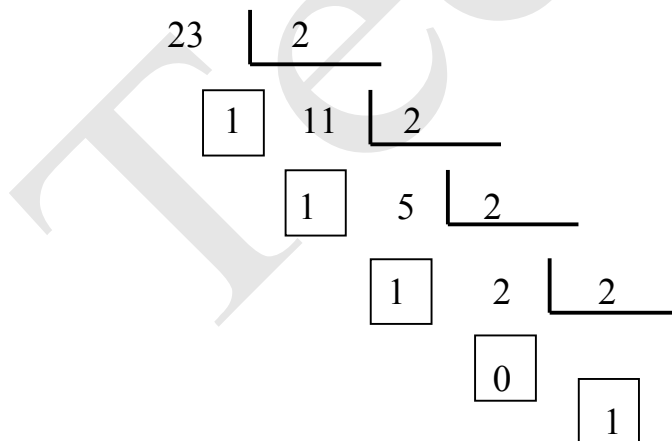
Es un sistema numérico que utiliza sólo dos dígitos, y se usa para manejar fácilmente números complejos. Es también llamado sistema de base 2.

Un número binario puede ser representado por cualquier secuencia de bits (dígitos binarios), que a su vez pueden ser representados por cualquier mecanismo capaz de estar en dos estados mutuamente exclusivos. Las siguientes secuencias de símbolos podrían ser interpretadas todas como el mismo valor binario numérico:

```
1 0 1 0 0 1 1 0 1 0
| - | - - | | - | -
x o x o o x x o x o
y n y n n y y n y n
```

El valor numérico representado en cada caso depende del valor asignado a cada símbolo. En una computadora, los valores numéricos pueden ser representados por dos voltajes diferentes; sobre un disco magnético, polaridades magnéticas pueden ser utilizadas.

### **Conversión de un número decimal a su correspondiente binario**



Los “residuos” de estas divisiones, conforman el número 23 representado en el sistema binario. Los bits se agrupan en **bytes**, que son octetos de bits. (ver gráfico) Para poder pasar los bytes al sistema decimal, tenemos que leer el octeto de atrás hacia adelante, y asignarle una potencia de 2 a cada bit: el primer bit representa 1, el segundo 2, el tercero 4, el cuarto 8, el quinto 16, el sexto 32, el séptimo 64, y el octavo 128. De esta forma, se obtiene un número entre 0 y 255.

<sup>7</sup> 2	<sup>6</sup> 2	<sup>5</sup> 2	<sup>5</sup> 2	<sup>3</sup> 2	<sup>2</sup> 2	<sup>1</sup> 2	<sup>0</sup> 2
128	64	32	16	8	4	2	1
			1	0	1	1	1

Figura 1. Todos los valores que corresponden a posiciones a las que se asigna el valor binario de 0 (cero) no se cuentan, ya que 0 representa DESACTIVADO. De la misma manera, los números que corresponden a las posiciones con valor binario 1 se sumarán, (16 + 4 + 2 + 1= 23) ya que 1 representa ACTIVADO.

Representación de nuestros 10 dígitos en el sistema binario:

- 0      0
- 1      1
- 2      10
- 3      11
- 4      100
- 5      101
- 6      110
- 7      111
- 8      1000
- 9      1001

## Terminología:

Unidad:	Núm. bits	Ejemplo:
Bit	1	1
Nibble	4	0101
Byte (Octeto)	8	0000 0101
Palabra	16	0000 0000 0000 0101
Doble Palabra	32	0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0101

Cuando decimos que un sistema digital es de 16 bits por ejemplo, entendemos que la palabra digital que se desglosa de cada una de las muestras de la frecuencia de muestreo, tiene un total de 16 ceros y unos. Estos, “dispuestos” de forma estratégica, podrán representar diferentes valores de amplitud (de 0 a 65.535 para ser exactos) para cada muestra de audio.

$2^{16}$  (es lo mismo que)  $2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 = 65,536$

*Nota: en la práctica jamás me he encontrado con una situación que me haya obligado a realizar cálculos (suma, resta, etc.) con números binarios, pero considero que si nuestras plataformas de trabajo se basan en este sistema numérico, debemos conocer al menos lo básico en cuanto a cómo estos sistemas manejan sus cuentas y por ende, nuestros sonidos.*

## Conversión A/D (Grabación)

La digitalización o conversión analógica-digital (conversión A/D) consiste básicamente en realizar medidas de la amplitud de la señal en forma periódica, y traducirlas a un lenguaje numérico. La conversión A/D también es conocida por el acrónimo inglés ADC (analog to digital conversion).

Durante el muestreo y la retención, la señal aun es analógica puesto que aún puede tomar cualquier valor. No obstante, a partir de la cuantificación, cuando la señal ya toma valores finitos, la señal ya es digital.

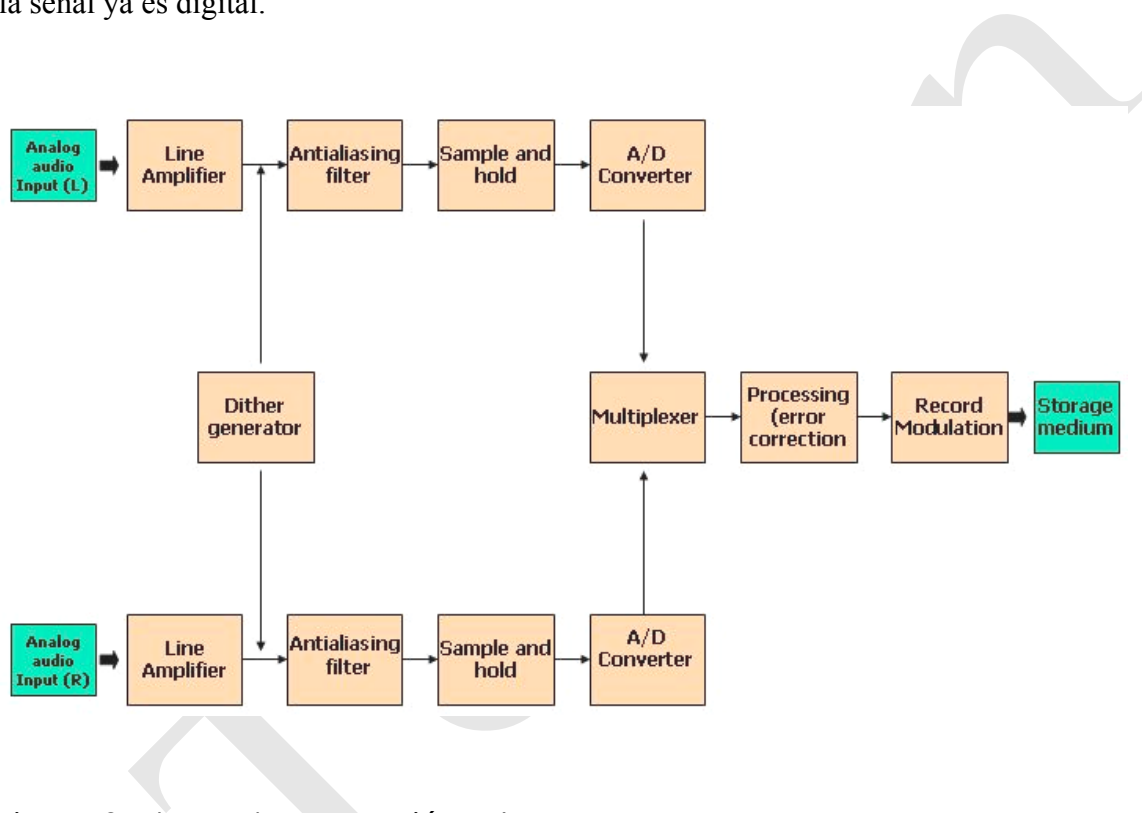


Figura 2. Etapa de conversión A/D

- **Line amplifier:** amplificador de línea
- **Dither generator:** se aplica ruido analógico a la señal a digitalizar para enmascarar la distorsión que se generará en el proceso de cuantificación. (se detallará mas adelante)
- **Anti-aliasing filter:** filtro analógico que evita el ingreso de frecuencias mayores a la mitad de la frecuencia de muestreo, según lo establecido por el teorema de Nyquist (se detallará mas adelante)
- **Sample and hold:** Circuito de muestreo y retención. Su función es la de retener por un tiempo limitado el voltaje de la señal analógica, mientras el conversor A/D realiza la operación de digitalización para la muestra anterior. Realiza esta tarea a la velocidad exacta de la frecuencia de muestreo.
- **Analog to Digital Converter:** dispositivo electrónico que convierte a la señal analógica en su correspondiente valor digital.
- **Multiplexer:** es un dispositivo que toma información en paralelo en su entrada, y entrega esa misma información en forma serial en su salida.
- **Processing-Error Correction:** se le agrega a la señal el código correspondiente de corrección de errores.

- **Record Modulation:** Modulación o codificación específica de cada sistema de almacenamiento.
- **Storage medium:** Medio físico de almacenamiento (disco rígido por ejemplo)

## Conversión D/A (Reproducción)

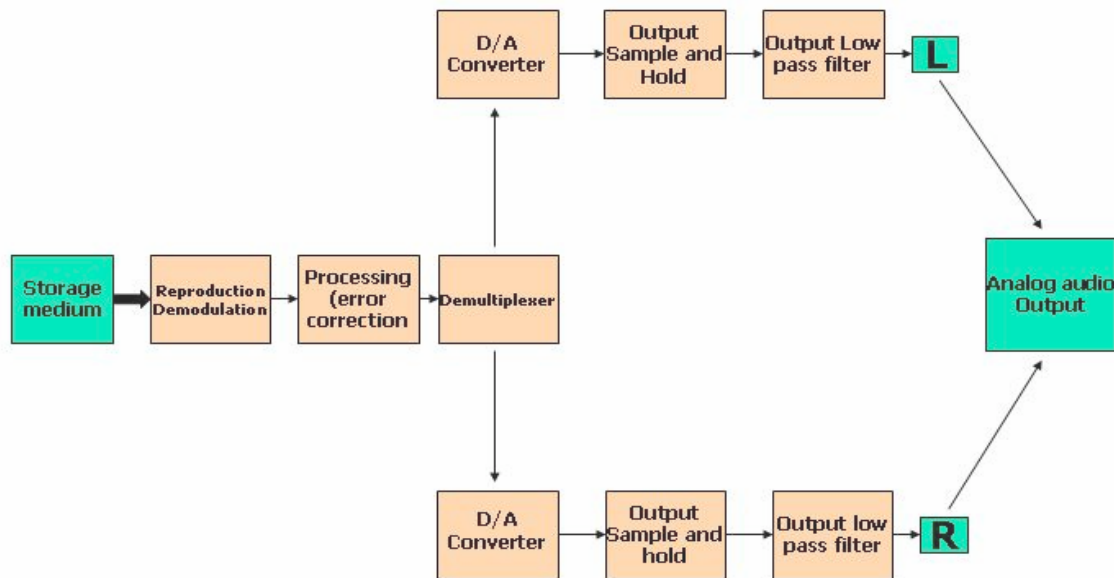


Figura 3. Etapa de reproducción D/A

- **Storage medium:** Medio físico de almacenamiento (disco rígido por ejemplo)
- **Reproduction-De-modulation:** la información codificada es decodificada por el sistema para ser reproducida.
- **Processing-Error Correction:** si se encuentran errores en la decodificación, se activan los algoritmos de corrección de error.
- **De-multiplexer:** la información en serie es ordenada nuevamente en paralelo.
- **Digital to Analog Converter:** convierte en pulsos eléctricos la información digital.
- **Output Sample and Hold:** Circuito de muestreo y retención de salida. Su función es la de retener por un tiempo limitado al voltaje de la señal analógica, para entregar pulsos estables al siguiente eslabón de la cadena.
- **Output Low Pass Filter:** también llamado filtro “anti-imaging”, reduce los armónicos impares generados en el sistema debido al almacenamiento de ondas “cuadradas”.

## SAMPLING RATE (FRECUENCIA DE MUESTREO)

El muestreo digital es uno de los procesos involucrados en la digitalización de las señales periódicas. Consiste en tomar muestras periódicas de la amplitud de la señal analógica.

El intervalo entre muestras debe ser constante. El ritmo de este muestreo, llamado frecuencia o tasa de muestreo determina el número de muestras que se toma en un intervalo de tiempo (el segundo de reloj).

El proceso de muestreo no debe ser confundido con el de cuantificación.

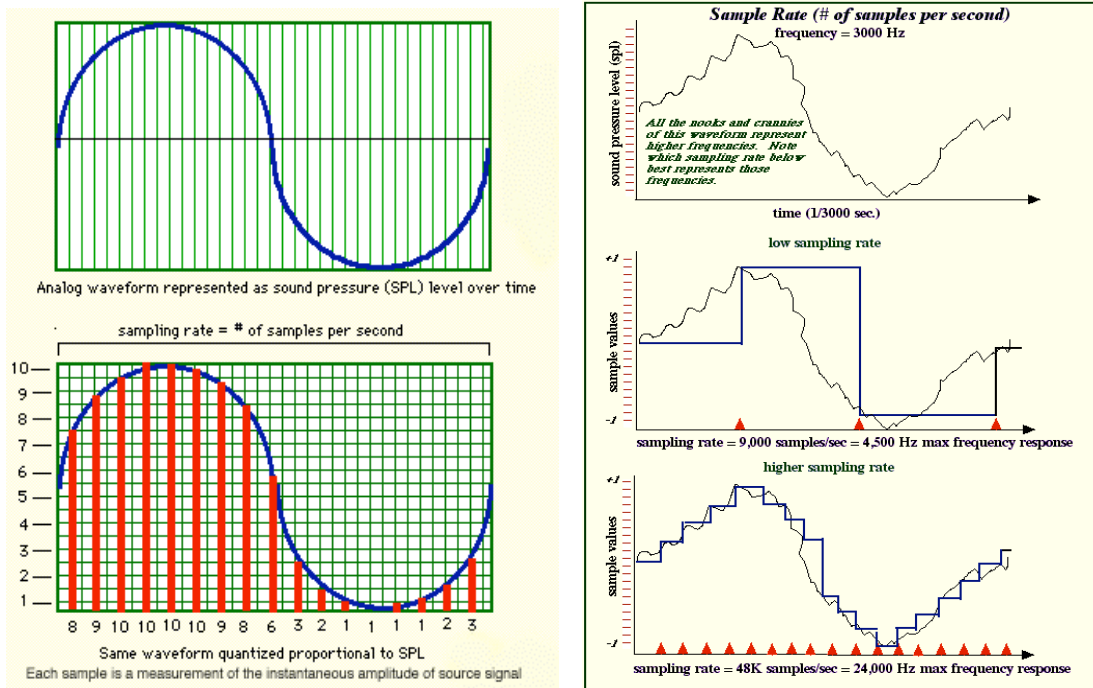


Figura 4. Si dentro de un segundo de tiempo incrementamos las muestras para la codificación digital del audio, tenemos una mayor posibilidad de representar correctamente la onda analógica original.

## TEOREMA DE NYQUIST

Para que una frecuencia pueda ser reconstruida digitalmente desde su muestreo, debemos tener por lo menos dos muestras por cada ciclo de esa frecuencia (preferentemente mas)

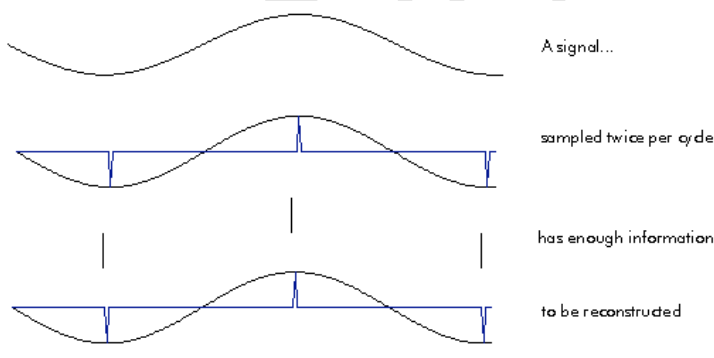


Figura 5. Intervalos de muestreo.

## Aliasing

Este fenómeno sucedería si permitiésemos ingresar a nuestro sistema de digitalización frecuencias más altas que el doble de la llamada “frecuencia Nyquist”.

Está demostrado rigurosamente que para evitar el aliasing es necesario asegurarse de que en la señal analógica a muestrear con una frecuencia  $s$ , no existen componentes sinusoidales de frecuencia mayor a  $2s$ . Esta condición es llamada el criterio de Nyquist, y es equivalente a decir que la frecuencia de muestreo  $s$  debe ser al menos dos veces mayor que el ancho de banda de la señal.

El Teorema de Nyquist indica que la frecuencia de muestreo mínima que tenemos que utilizar debe ser mayor que  $2 \cdot f_{max}$ , donde  $f_{max}$  es la frecuencia máxima de la señal compleja. Si utilizamos esa frecuencia de muestreo, podremos reproducir posteriormente la señal a partir de las muestras tomadas.

Si utilizásemos una frecuencia de muestreo más baja que la que sugiere el teorema de Nyquist, obtendríamos una frecuencia "alias" que reforzaría a aquellas que están dentro del rango audible.

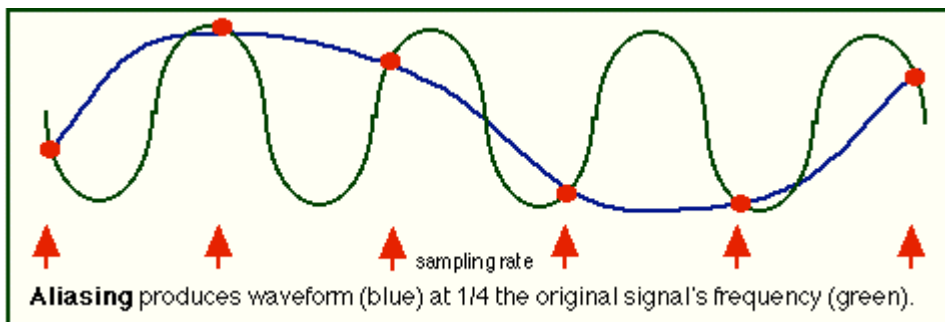


Figura 6. No se dispone de suficientes intervalos de muestreo para representar una frecuencia tan alta (ver longitud de onda), generándose como consecuencia la correspondiente frecuencia "alias".

## Filtros

El fenómeno aliasing se evita aplicando un Low Pass Filter (antialiasing filter) en la sección de conversión A/D. Este es un filtro con un diseño de poca resonancia (ringing), y evita el ingreso al convertidor a todas aquellas frecuencias que sean mayores a la mitad de la frecuencia de muestreo nominal del sistema.

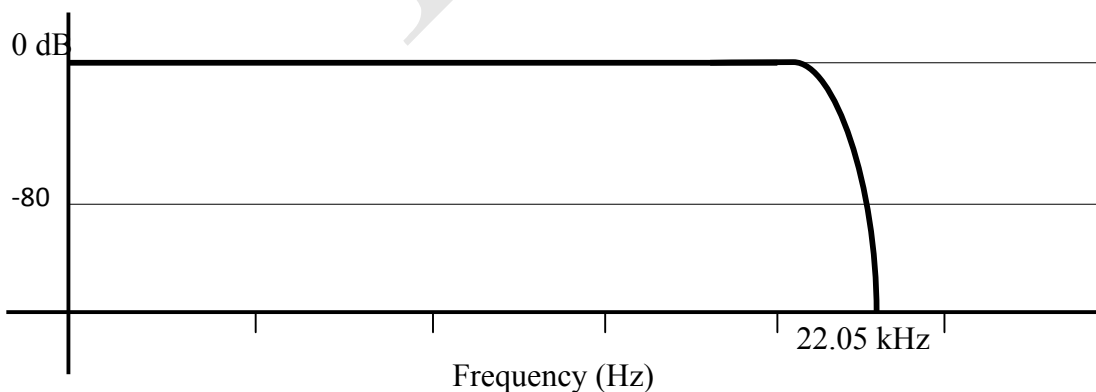


Figura 7. Filtro Antialiasing. Frecuencia de muestreo @ 44.1KHz

## Filtro Antialiasing ideal

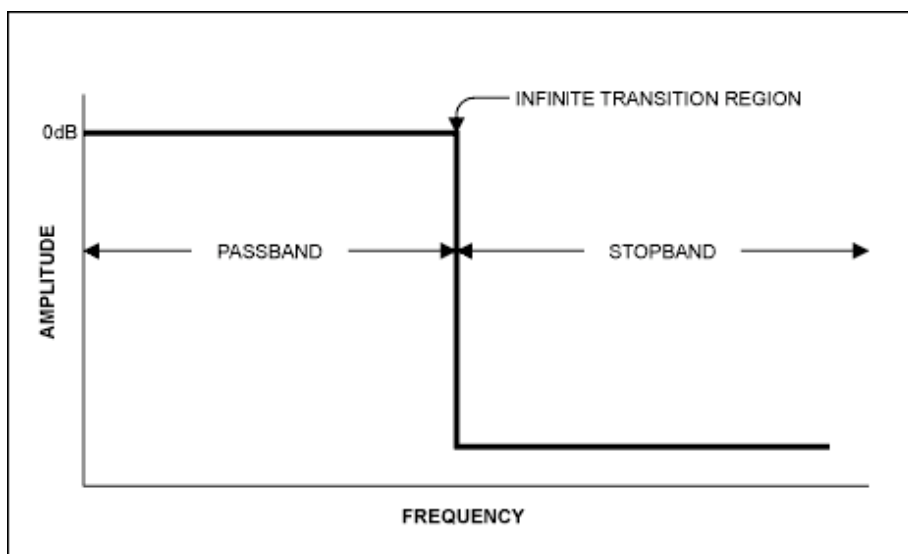


Figura 8. En el diseño de filtros analógicos es imposible realizar un filtro de tipo "brickwall" sin su correspondiente y elevado ringing (resonancia). Este filtro no sería para nada plano en su respuesta en frecuencia, lo que terminaría añadiendo cierta degradación sónica de la señal a digitalizar.

## Filtro Antialiasing real

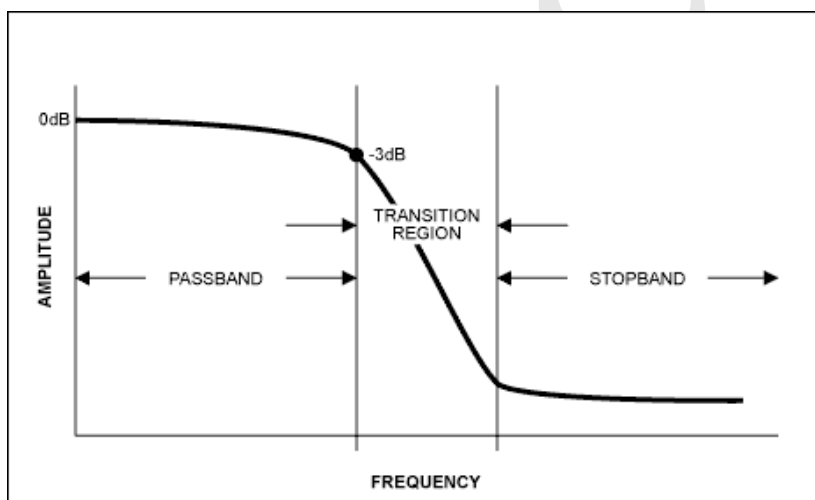


Figura 9. En el diseño de filtro real observamos una región de transición hasta alcanzar la atenuación infinita.

Debido a cierto grado de resonancia en la zona de la frecuencia de corte (-3 dB) de todos los filtros analógicos, y a lo establecido por el Teorema de Nyquist, surge la elección de la frecuencia de muestreo estándar 44.1 KHz. De esta forma, se desplaza dicha resonancia hacia frecuencias menos audibles y por arriba de 20 KHz, y la frecuencia de muestreo es más del doble que la frecuencia mas alta a muestrear.

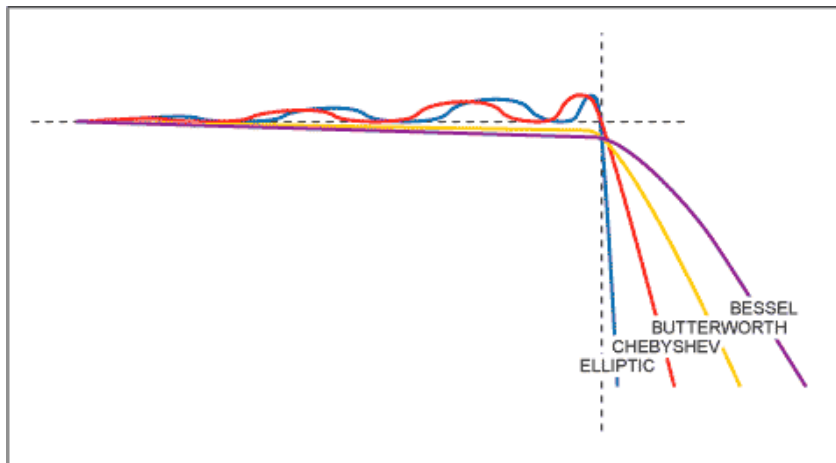


Figura 10. Algunos tipos de filtros Antialiasing

## **Oversampling (sobremuestreo)**

Proceso mediante el cual los conversores A/D trabajan a gran velocidad de muestreo ( $f_s \times 12 - 128$ ), evitando de esta forma el uso de filtros analógicos anti-aliasing. Su tarea es implementada digitalmente.

Se reducen digitalmente la cantidad de muestras antes del almacenamiento de datos, y se incrementa de igual modo antes de la conversión D/A.

*Nota: es totalmente recomendable el uso de conversores A/D con tecnología de sobremuestreo. Son muy comunes en la mayoría de los diseños actuales.*

## **Bit depth (Profundidad de bits)**

En audio digital, los bits se hacen cargo de demostrar la amplitud de cada una de las muestras que entrega la frecuencia de muestreo. Es en este proceso en donde queda plasmado directamente el uso del sistema binario.

Parece obvio entonces que a la hora de elegir entre trabajar a 16 ó 24 bits, siempre es preferible hacerlo a 24 bits. Lamentablemente el estándar actual de CD Audio sigue teniendo una estructura de 16 bits. Muchos especialistas en el tema, afirman que con una resolución de 16 bits es suficiente como para reproducir audio con alta definición para la gran mayoría de las personas. Otros opinan que hay una gran diferencia audible entre 16 y 24 bits. El DVD Audio es de 24 bits y se suponía que iba a ser el próximo estándar de reproducción, despojando de su lugar al CD Audio.

La pregunta más frecuente al abordar este tema, es por qué no trabajar directamente a 16 bits si luego hay que “terminar” en 16 bits. Aclaremos esto un poco mas adelante...

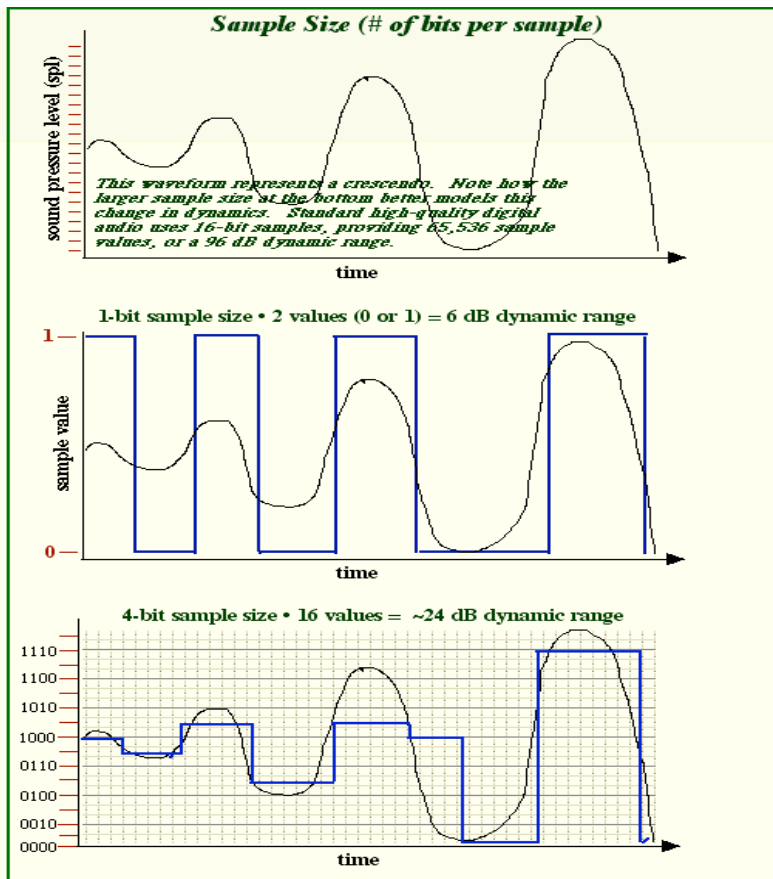


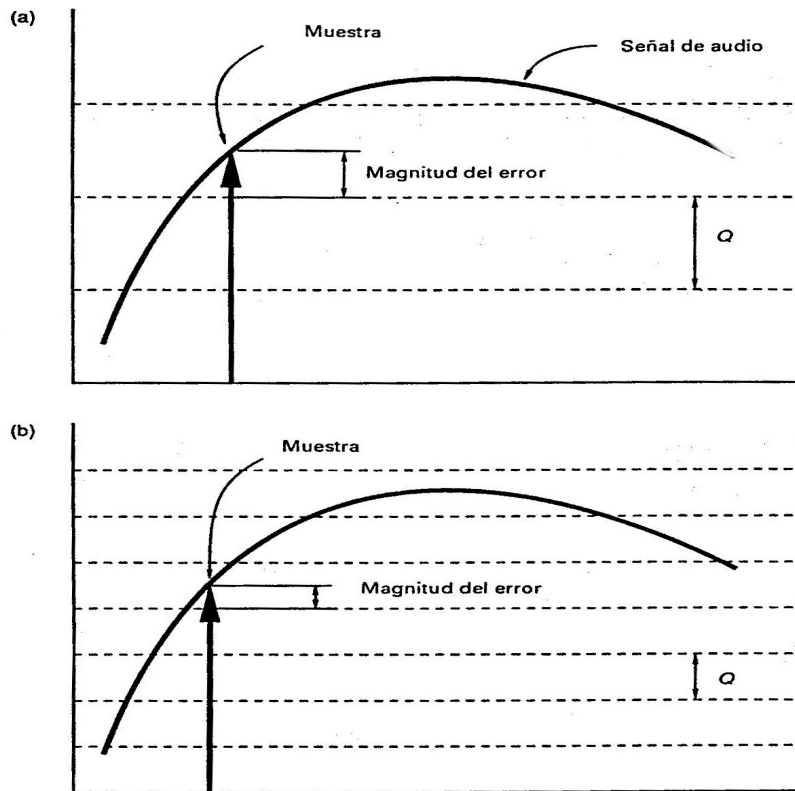
Figura 11. El siguiente gráfico muestra un “crescendo” cuya amplitud de muestra esta representada por un sistema de 1 bit (sólo 2 posibilidades), y luego por un sistema de 4 bits (16 posibilidades). Se grafica claramente que la recuperación digital del sonido original, es mayor al incrementar el número de bits.

## Quantization error (error de cuantificación)

El error de cuantificación o ruido de cuantificación se produce cuando el voltaje a muestrear se encuentra en un punto intermedio entre dos posibilidades de muestreo del conversor A/D. En esta situación el sistema se verá obligado a “redondear” el resultado de su cálculo, entregando un valor que difiere con la señal analógica original.

Este ruido o error es no lineal, o sea que varía de acuerdo a la señal y es una forma de distorsión. Hay varias formas de moldear o enmascarar este problema.

Figura 12. El siguiente gráfico demuestra como varía la magnitud del error de acuerdo a la cantidad de bits del sistema de digitalización. La flecha hacia arriba indica el momento exacto de una de las muestras por segundo.



Este efecto es inevitable y es enmascarado con el agregado de “dither” antes de la conversión A/D (y como lo muestra la figura 2) esto se produce en el dominio analógico.

**Dither:** es una forma de ruido aplicado intencionalmente al audio, para otorgar un carácter aleatorio a la distorsión no lineal de bajo nivel generada por el error de cuantificación. También lo encontraremos en el dominio digital y será utilizado para el mismo fin, cuando se realicen procesos digitales que como resultado entreguen cierta cantidad de error por redondeo de cuenta, o por la re-cuantificación del audio a una profundidad de bits menor.

No obstante, si bien el dither reduce la distorsión, agrega una cierta cantidad de piso de ruido a la señal de audio. Perceptualmente el dither es beneficioso, ya que el oído tolera más fácilmente el ruido que la distorsión.

Algunos de los diferentes tipos de dither son: rectangular, triangular, Gaussian, etc. Estos se diferencian por su contenido armónico y por su forma de onda.

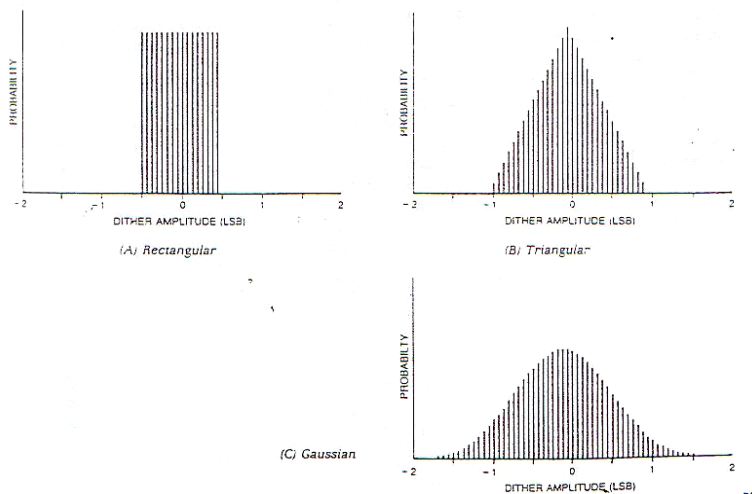


Figura 13.  
Tipos de Dither.

**Nota:** en ciertos libros o publicaciones encontrarán esta explicación con la aclaración de que el ruido dither NO enmascara la distorsión no lineal de bajo nivel, más bien, permite al sistema de digitalización codificar amplitudes inferiores al bit menos significativo. Consideremos una señal de audio con una amplitud en torno a un intervalo de cuantificación. La señal de entrada podría estar comprometida completamente dentro de un intervalo de cuantificación, lo que resultaría en una señal cuantificada de valor constante (continua DC). O podría por el contrario estar oscilando alrededor del umbral de cuantificación produciendo una señal cuadrada. De esta forma el cuantificador, en niveles bajos, puede actuar como un limitador de nivel. En otras palabras, aparece una gran cantidad de distorsión. El efecto es totalmente diferente cuando se suma dither a la señal de audio.

Tratando de ir por un camino más simple, intento alejarme bastante de las definiciones muy técnicas y considero que con el término “enmascarar” consigo explicar claramente de que se trata este proceso.

Para aquel que quiera profundizar mucho más en el tema, recomiendo visitar las siguientes direcciones:

[www.digido.com](http://www.digido.com)

[www.moultonlabs.com](http://www.moultonlabs.com)

## MSB & LSB (Bits de mayor y menor importancia)

Cuando agregamos 1 bit a un sistema de digitalización de audio, estamos doblando la posibilidad de demostrar el voltaje del audio analógico. Esto quiere decir que por cada bit estamos ganando 6 dB de rango dinámico. Debido a esto, un sistema de 16 bits tiene un rango dinámico de 96 dBFS\*, uno de 20 bits tendría 120 dBFS y uno de 24 bits debería tener 144 dBFS.

En el mundo real y no en las matemáticas, el máximo rango dinámico de un sistema se encuentra por los -110 dBFS aproximadamente, ya que el propio ruido de los componentes analógicos del sistema, no se ha podido disminuir más allá de ese nivel.

Cuál es el concepto entonces de utilizar 24 bits en la codificación?

- Así como los grabadores de cinta abierta logran grabar audio que se encuentra por debajo de su piso de ruido, y eso aporta a la sonoridad del sistema, lo mismo sucede en el dominio digital.

- Logramos minimizar el error de cuantificación y optimizar el rango dinámico, lo cual nos brinda más espacialidad en la grabación y un audio más definido.

Muchos no pueden escuchar la diferencia entre 16 y 24 bits de muestreo. Eso depende de la capacidad de cada oyente.

*dBFS: Decibel Full Scale. Escala utilizada para nombrar decibeles digitales. El valor "0" es el máximo nivel o tope de la escala.*

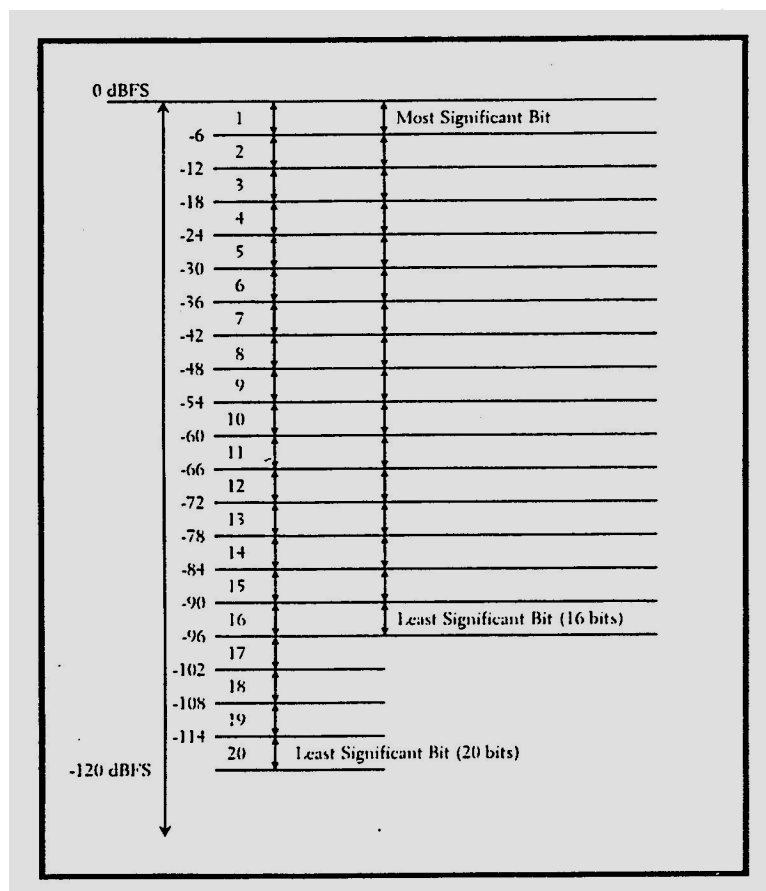


Figura 14. En un sistema de 20 bits, los bits 17, 18, 19 y 20 son los de menor importancia.

Cuando se realiza el proceso de re-cuantificación, por ejemplo pasando un archivo digital de audio de 24 bits a 16 bits, el sistema quitará automáticamente los bits de menor importancia. Estos, se encargan de demostrar todo el audio de muy bajo nivel, mientras que los bits cercanos al tope de escala, se encargan de demostrar el audio de mayor nivel.

Si lo pensamos, a los efectos audibles es más conveniente quitar la información del audio de bajo nivel que quitar la data del audio de mayor nivel (el audio de bajo nivel se encuentra de algún modo enmascarado por el audio de mayor nivel e inmerso en gran parte en el piso de ruido del sistema).

Cuando el programa musical se encuentra en etapas de gran nivel, con audio en la mayor parte del rango dinámico, la pérdida de los últimos bits es algo que puede pasar desapercibido para muchos. El problema se hace presente en los pasajes musicales de muy bajo nivel (fade ins, fade outs, pianissimos, etc.).

Una vez más, este fenómeno es solucionado con el agregado de dither, pero ahora en el dominio digital. Este “truncado” de información produce falta de espacialidad en las mezclas, focalización confusa de las fuentes de sonido y un incremento muy leve de las frecuencias medio agudas debido a la distorsión no lineal de bajo nivel.

Recordemos que estamos llevando un archivo de 24 bits a 16 bits y de esta manera estamos truncando la información contenida en los últimos 8 bits. Agregando dither, una vez más, esa distorsión es enmascarada y terminamos escuchando nuestro archivo de 16 bits con una resolución aparente de 19 bits aproximadamente. Es por eso que se dice que el ruido dither incrementa el rango dinámico.

## **Algunos ejemplos de Dither**

**Waves IDR (L1, L2 y L3)**

**Weiss Pow-R (Type I, Type II y Type III)**

**Apogee UV-22:** aumenta el nivel por arriba de 15 KHz, donde es más difícil escucharlo.

**Sony's Super Bit Mapping:** es un ruido ecualizado que adapta su forma en función del audio.

**Lexicon's Psychoacoustically Optimized Noise System (PONS)**

*Nota: a la fecha (Julio de 2007), para aquellos que trabajen en plataforma Macintosh, puedo recomendar el programa Barabatch. El él encontrarán todo tipo de conversión de archivos, conversión de frecuencia de muestreo y opción de dither. Todo esto con una excelente calidad de sonido.*

## **Noise Shaping (Conformación del ruido)**

Es un proceso que se puede aplicar en el momento de la re-cuantificación cuando el ruido dither es agregado al audio. Su uso es muy recomendable si se encuentra disponible.

El Noise Shaping desplaza el dither hacia la zona del espectro audible donde es más difícil escucharlo, mejorando de esta forma la relación señal ruido.

No olvidemos que el ruido dither no deja de ser justamente ruido que “contamina” al audio.

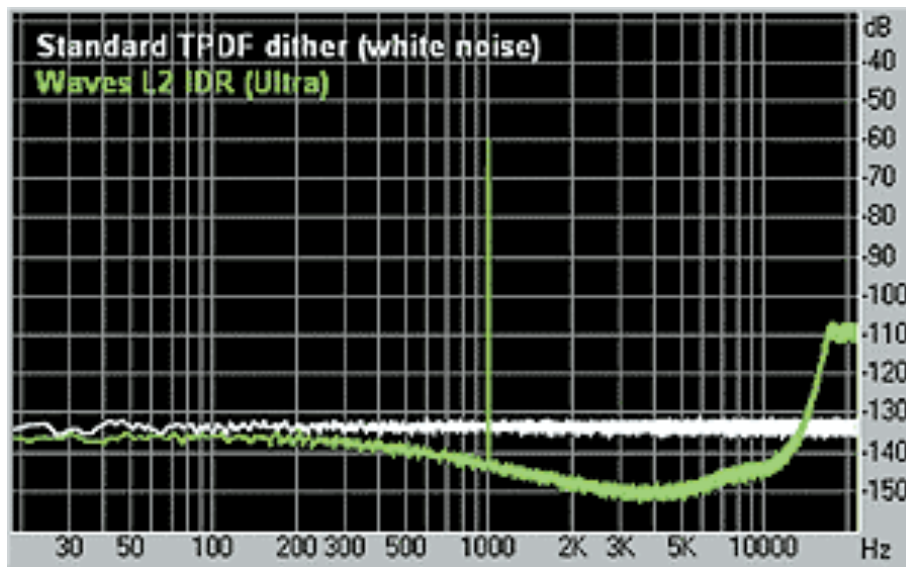


Figura 15. Respuesta plana: TPDF (Triangular Probability Density Function white noise dither) Respuesta curva: ruido “conformado” por el noise shaping.

## **Procesos digitales, profundidad de bits en consolas y DAW’s (Digital Audio Workstation)**

Como consecuencia de procesos digitales tales como ecualización, compresión, etc., se incrementa la cantidad de bits en la palabra digital que representa al audio. Podemos trabajar en sesiones de mezcla con archivos de 24 bits, pero debido a los procesos que le apliquemos a estos archivos, estos se verán incrementados en palabras de hasta más de 32 bits. La sumatoria de canales en un Master Fader de una sesión de mezcla multitrack, puede llegar a producir un resultado de hasta 48 bits.

Debido a esto, los sistemas trabajan generalmente a 32 bits, y muchos plugins lo hacen a 48 bits. Existen softwares dedicados a la masterización de audio que trabajan a 64 bits internos de procesamiento.

Pro Tools LE: 32 bits Floating Point (aritmética de punto flotante)

Pro Tools HD: 48 bits Fixed Point (aritmética de punto fijo)

[http://akarchive.digidesign.com/support/docs/WhitePaper\\_48BitMixer.pdf](http://akarchive.digidesign.com/support/docs/WhitePaper_48BitMixer.pdf)

## Codificación y Modulaciones

### Modulación PCM

La mayoría de los programas de edición digital de audio utilizan una codificación de datos llamada PCM (Pulse Code Modulation). Esta codificación es el resultado del muestreo digital del audio a intervalos uniformes, y de la utilización del sistema binario como su lenguaje nativo.

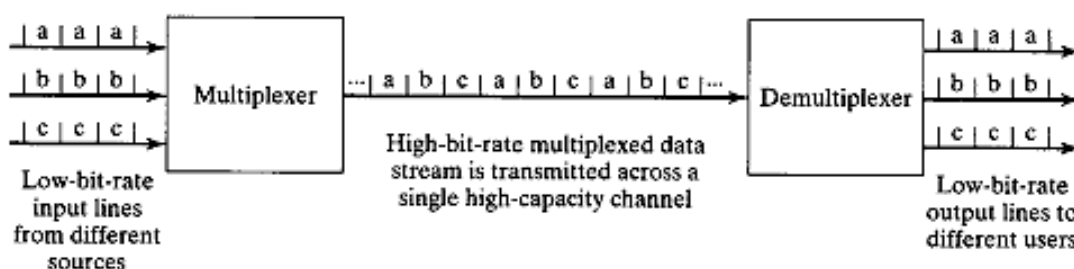


Figura 16. La información recibida en “paralelo” de varios conversores A/D, es multiplexada para transformarla en información “serial” y luego almacenarla. En la reproducción multitrack de esta información, sucede exactamente lo contrario.

### Otros códigos de almacenamiento

**Delta Modulation:** utiliza sólo un bit a una frecuencia de muestreo extremadamente alta (800 KHz). Utilizada por DBX y Delta Labs.

**Sigma Delta Modulation.**

**Delta Pulse Code Modulation.**

Problema: La palabra digital es tan larga como la grabación misma, y los cálculos por procesamiento son demasiado complejos.

### Modulación EFM utilizada en el disco compacto

Es la forma en que se encuentra codificada la información dentro de un CD, y significa “eight to fourteen modulation”.

Los símbolos de 8 bits son transformados en símbolos de 14 bits para poder diferenciarlos mejor entre sí, y así optimizar la corrección de errores.

## Corrección de errores

### **Interleaved (Entrelazado / Intercalado):**

Las muestras son reordenadas en forma “intercalada”, de manera que al volver a ordenar las muestras en su estado original, se consigue transformar errores de ráfaga en errores aleatorios.

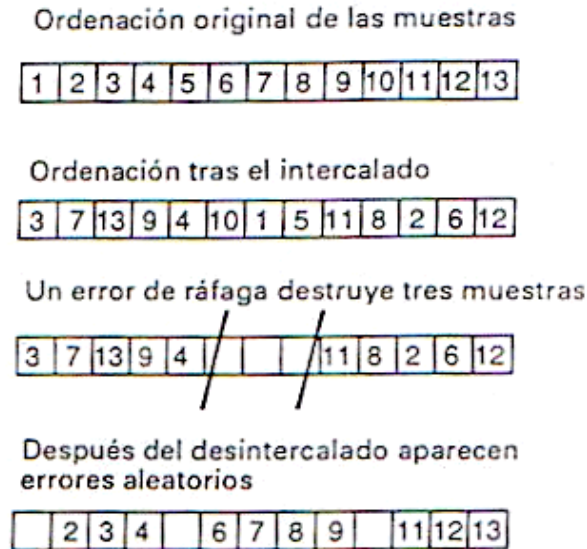


Figura 17. Interleaved.

### **CIRC (Cross Interleaved Reed-Solomon Code):**

Es el código de corrección de errores utilizado en el CD.

Comúnmente nos referimos a él como algoritmo de corrección de error.

<http://cadigweb.ew.usna.edu/~wdj/reed-sol.htm>

### **Interpolación:**

Cuando los errores exceden la capacidad de corrección del CIRC, se utiliza la interpolación.

Esta consiste en obtener la amplitud de las muestras perdidas a partir de la amplitud de las muestras adyacentes.

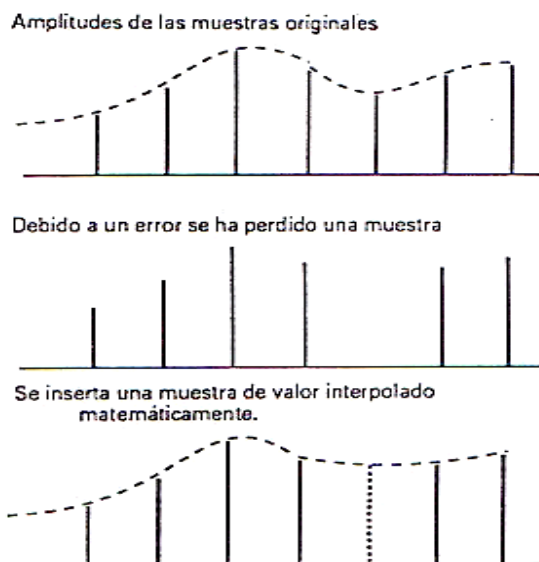


Figura 18. Interpolación.

## Conversión de Frecuencia de muestreo

Proceso mediante el cual podemos reducir o ampliar la cantidad de muestras por segundo para su correcta reproducción y compatibilidad con otros sistemas. Siempre se tratará de modificar lo menos posible la información existente.

**Downconversion** (decimation): 48K – 44.1K por ejemplo

**Upconversion** (interpolation): 44.1K – 48K por ejemplo

**Sample rate conversion** (combinación de los anteriores): realiza ambas conversiones.

Información técnica acerca de conversión de frecuencia de muestreo:

[http://en.wikipedia.org/wiki/Sample\\_rate\\_conversion](http://en.wikipedia.org/wiki/Sample_rate_conversion)

## Word Clock / Digital Clock / Digital Sync

Es una señal digital de reloj transmitida junto con la data que representa al audio. Determina la sincronización de esta data entre los diferentes dispositivos digitales.

Se determina una relación de maestro/esclavo, y los dispositivos esclavos sincronizan su clock interno a la señal entrante de sincro.

**El digital clock representa un papel muy importante en la calidad del audio digital.**

La transferencia estable y constante del Word Clock, evitará errores en la lectura de la data que representa al audio.

Generalmente, los dispositivos que contienen los conversores A/D, se utilizan como maestros de Word Clock, ya que técnicamente esta es la opción más estable.

El Word Clock es transmitido por conexiones dedicadas (cable coaxial de 75 Ohms con conector estándar BNC en el mejor de los casos), o por las mismas conexiones de audio (AES-EBU, S-PDIF, ADAT, T-DIF, etc.). Estos protocolos de transferencia digital de audio, son de 32 bits y transportan información de reloj junto con la información de audio.

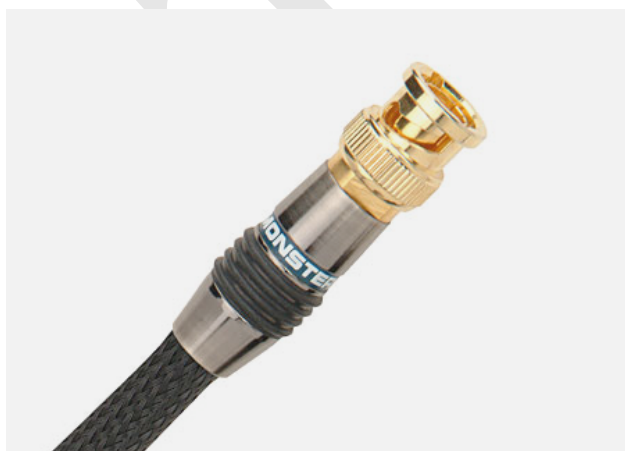


Figura 19. Conector BNC

## Inestabilidad temporal (Jitter)

A la variación en el eje del tiempo de una señal digital se la denomina jitter. En particular, es la variación en el tiempo de una señal de reloj, medida con respecto a una señal de referencia ideal. Por ejemplo, el jitter se manifiesta como las desviaciones en los instantes del cruce por cero de la forma de onda de una señal. Las variaciones temporales en una señal analógica son perfectamente audibles, ya que se manifiestan como inestabilidad en el tono de la señal. Sin embargo, el jitter de una señal digital puede provocar errores de bit en la cadena de datos; o hacerse audible de forma indirecta como incremento del ruido y distorsión de la forma de onda de salida; o si la inestabilidad es corregida (de-jittered), puede que no provoque errores de bit o defectos audibles. El jitter está siempre presente, y sus efectos y la tolerancia requerida dependen del eslabón en el que aparezca dentro de la cadena de tratamiento de la señal. Niveles relativamente elevados de jitter pueden aparecer en la transmisión de señal entre dispositivos, sin que tengan repercusión alguna sobre la señal. Sin embargo, en los procesos de conversión, incluso niveles de jitter extremadamente bajos son capaces de producir errores en la forma de onda resultante. Este problema es encontrado en varios lugares de la cadena de grabación/reproducción, pero es crítico en la etapa de la conversión A/D.

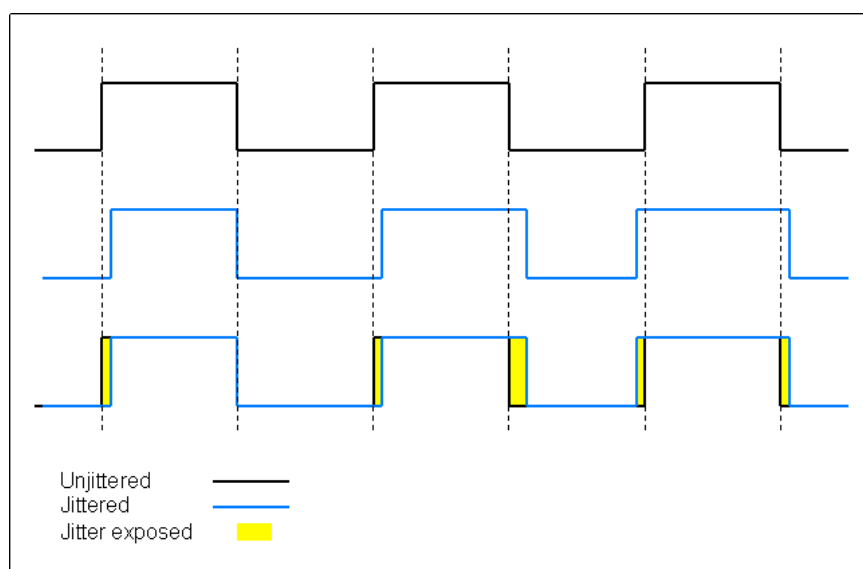


Figura 20. Jitter.

### ***Jitter en muestreo y conexionado de equipos***

La trascendencia del jitter depende básicamente del punto de la cadena en que se introduzca. Por ejemplo, es muy importante distinguir entre el jitter que aparece en la interconexión entre equipos (que afecta a la transferencia digital de datos) y el jitter del muestreo, ya que los errores que provocan son de naturaleza completamente diferente. El jitter en la interconexión influye en la temporización (periodicidad del bit) de los datos enviados. Es preocupante cuando su magnitud es tal que provoca errores en la señal recuperada, por lo que la calidad de los datos recibidos debe ser monitoreada por los circuitos de corrección de errores del receptor.

En la mayoría de las cadenas de datos el código de canal utilizado permite regenerar el reloj; el receptor recupera el reloj de la cadena de datos que recibe, y se sincroniza con el reloj transmitido. Un circuito receptor con un reloj fijo, no sería capaz de engancharse a la señal con ligeras variaciones en su temporización ni siquiera cuando la velocidad de transmisión de los datos fuera

exactamente igual en emisor y receptor (debido a posibles diferencias de fase entre los mismos). Por este motivo los circuitos de recepción utilizan lazos enganchados en fase (PLL) para poder alinear los relojes internos del equipo con la secuencia de datos recibida.

### ***Jitter en los soportes de almacenamiento***

Los soportes de información como cintas magnéticas y discos ópticos introducen errores de base de tiempo en sus datos de salida. Esto se debe a las variaciones de velocidad que producen en los sistemas de arrastre.

### ***Jitter en CD Players***

Todo reproductor de discos compactos produce una gran cantidad de jitter. Esto se debe a la inestabilidad de sus fuentes de energía, y por consecuencia sus leves variaciones de voltaje. Además, toda la parte mecánica que se involucra en el sistema de reproducción, incrementa la cantidad de jitter.

## **Digital Phase Locked Loops**

Un digital PLL es un circuito diseñado para establecer un clock muy estable, rechazando el clock jitter que pueda llegar desde el dispositivo maestro y regenerando el mismo como un nuevo clock. Lamentablemente, algunos digital PLL's agregan cierta cantidad de jitter, debido a su propio diseño.

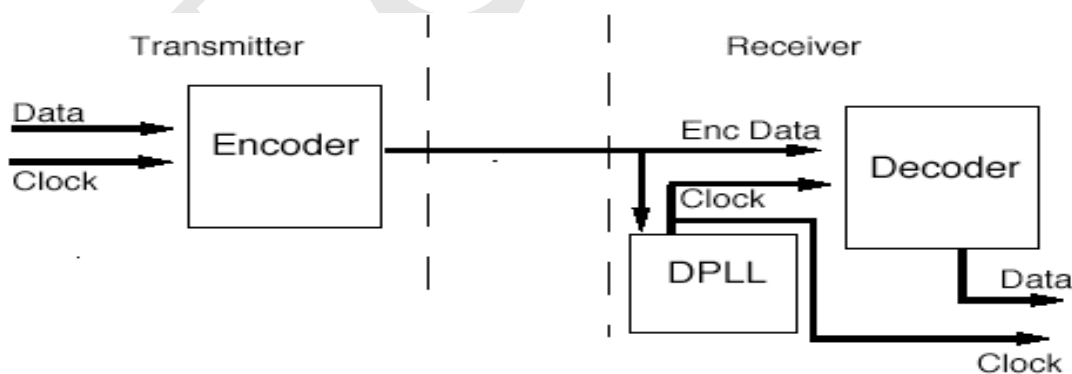


Figura 21. Phase Locked Loop.

## DC Offset

### (Desplazamiento de la corriente continua)

Puede ser producido por convertidores AD mal calibrados, o por malos procesos digitales.

El centro de la forma de onda (reposo), no es exactamente 0 volts.

Se reduce el headroom en dirección al offset.

También podría ser confundido con piso de ruido en un sistema, ya que en un medidor se representa de igual modo.

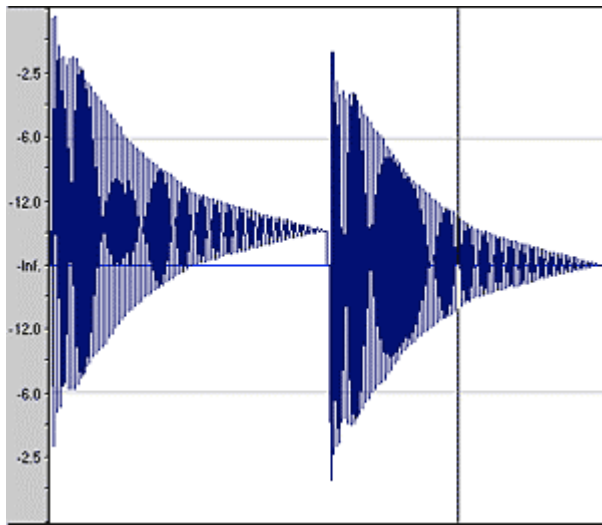


Figura 22. DC offset.

## Protocolos de transferencia de audio digital

### **- AES/EBU (Audio Engineering Society, European Broadcasting Union)**

- Interconexión Profesional o Balanceada
- Conector XLR-3
- 32 bits (24 de audio)
- 2 canales (Estereo / Mono)
- Hasta 100 mts. Sin ecualización
- Voltaje peak to peak: 3-10 Volts.
- Cable de 110 Ohms



Figura 23. Conectores AES – EBU (2 canales)

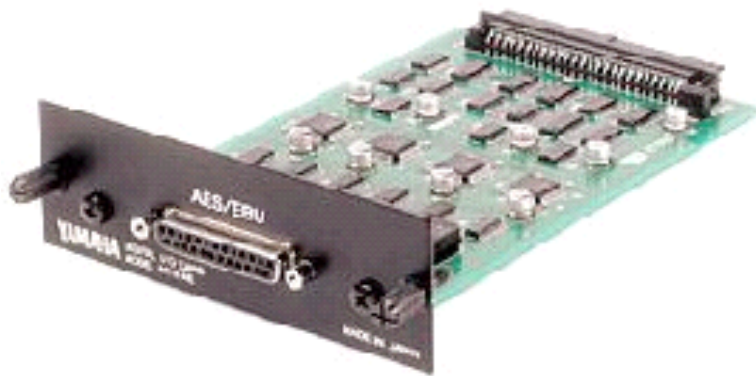


Figura 24: Interfase AES – EBU (8 canales)

### **S/PDIF (Sony/Philips Digital Interface Format)**

- Interconexión Semiprofesional o Consumidor
- Conector RCA
- 32 bits (24 de audio)
- 2 canales (Estereo / Mono)
- Hasta 15 mts.
- Voltaje peak to peak: menor que AES/EBU (máximo 0.5 Volts)
- Cable coaxial de 75 Ohms



Figura 25. Conectores RCA y cable coaxial estándar.

### Optical Transmisión

- Transmisión de data digital mediante pulsos de luz a través de un cable de fibra óptica
- 8 canales: Optico ADAT
- 2 canales: Toslink
- Sin problemas de tierra
- Largo recomendable 5 mts
- Bajo rango de error en la transmisión.



Figura 26. Cable de fibra óptica.

## T-DIF (Tascam Digital Interface Format)

- Estándar de conexionado creado por Tascam
- Conector D-25
- 32 bits (24 de audio)
- 8 canales in/out (16 canales)
- Largo de cable según modelo (1.5 a 3 mts)

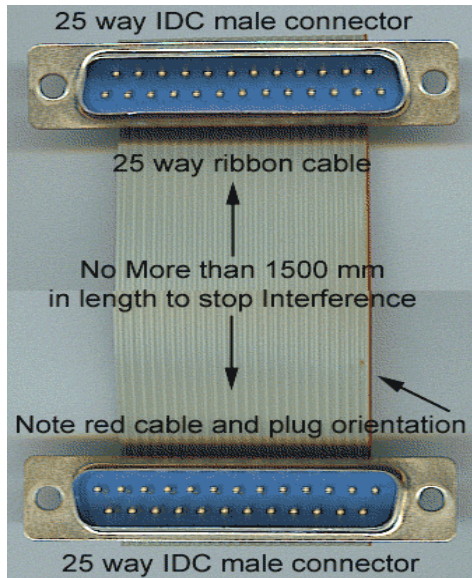


Figura 27. Cable cinta T-DIF y conectores D-25.

## MADI (Multi-channel Audio Digital Interface)

- Interconexión basada en el protocolo AES/EBU
- 56 canales simultáneos
- Conectores BNC
- 32 bits (24 de audio)
- Hasta 50 mts.
- Cable coaxial de 75 Ohms

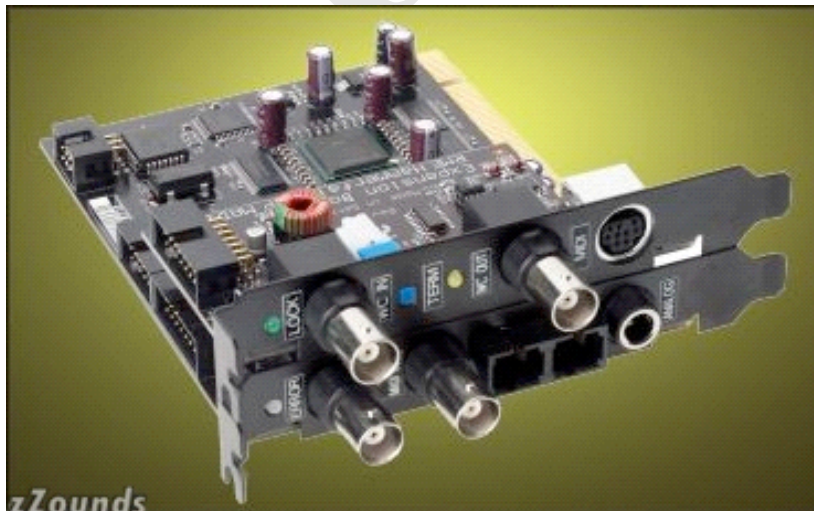


Figura 28. Interfase MADI.

## COBRANET (Audio Ethernet)

- Protocolo desarrollado por Peak Audio, transporta audio en tiempo real sin comprimir, a través de Fast Ethernet Networks
- 64 canales simultáneos
- Sample Rate 48 ó 96 KHz
- 32 bits de resolución
- Conector RJ-45
- Hasta 2 Km.

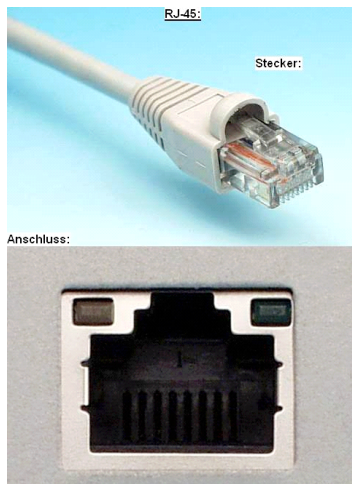


Figura 29. Cobranet. Conector de red RJ-45.

## Formato de Archivos

**AIFF: Audio Interchange File Format.** Originalmente creado para su uso en Macintosh, hoy es utilizado como archivo en común entre mac y PC. Puede ser mono o estéreo, de punto fijo. Soporta archivos de 8 a 32 bits, frecuencias de muestreo de hasta 192 KHz. y corrección Interleaved.

El orden de los bits es “big-Endian” (MSB primero), lo cual es el estándar de Motorola. Por el contrario el estándar “little-Endian” (LSB primero), corresponde a Intel.

**WAVE.** Formato desarrollado por Microsoft, es el famoso .wav, que puede ser mono o estéreo, de punto fijo o flotante.

Soporta altas frecuencias de muestreo y corrección Interleaved. El orden del byte es little-Endian.

**BWF: Broadcast Wave Format.** Basado en el formato WAVE. Contiene datos que tienen que ver específicamente con las aplicaciones de transmisión, como identificadores únicos de fuente y data relacionada con la estación de transmisión.

**SDII: Sound Designer II.** Desarrollado por Digidesign para su uso sobre plataforma mac, su extensión es SDII. Es imposible su lectura en PC, ya que las características del archivo, residen en el resource fork.

Oficialmente la frecuencia de muestreo es hasta 48 KHz. pero Digital Performer trabaja con archivos de este tipo hasta 96 KHz.

**Lectura sugerida:**

**- *Principles of Digital Audio (Ken C. Pohlmann)***

Autor de este apunte: ***Toto Strapporava***

Propiedad: ***Escuela Tecson.***

TECSON