



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería en Ciencias y Sistemas

**CONSOLAS VIRTUALES PARA
MEZCLA DE AUDIO PROFESIONAL**

Juan Francisco Rojas Santizo

Asesorado por el Ingeniero Otto René Escobar Leiva

Guatemala, julio de 2009

UNIVERSIDAD SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**CONSOLAS VIRTUALES PARA
MEZCLA DE AUDIO PROFESIONAL**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR:

JUAN FRANCISCO ROJAS SANTIZO

ASESORADO POR EL ING. OTTO RENÉ ESCOBAR LEIVA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO EN CIENCIAS Y SISTEMAS

GUATEMALA, JULIO DE 2009

UNIVERSIDAD SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Milton De León Bran
VOCAL V	Br. Isaac Sultan Mejía
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADORA	Inga. Virginia Victoria Tala Ayerdi
EXAMINADOR	Ing. Pedro Pablo Hernandez Ramírez
EXAMINADOR	Ing. César Augusto Fernández Cáceres
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

Consolas virtuales para mezcla de audio profesional,

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ciencias y Sistemas, con fecha febrero de 2008.



Juan Francisco Rojas Santizo



**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE CIENCIAS Y SISTEMAS**

Ref: ASESOR 02-01

Guatemala 4 de marzo de 2009

Señores
Comisión de Revisión de Tesis
Carrera de Ciencias y Sistemas
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala
Guatemala, Ciudad

Respetables Señores:

El motivo de la presente es informarle que como asesor del estudiante Juan Francisco Rojas Santizo he procedido a revisar el trabajo de tesis titulado "Consolas virtuales para mezcla de audio profesional" y que de acuerdo a mi criterio el mismo se encuentra concluido y cumple con los objetivos definidos al inicio.

He tenido reuniones periódicas con el estudiante y luego de haber revisado cuidadosamente el trabajo, considero que cumple con los requisitos de calidad y profesionalismo que deben caracterizar a un futuro profesional de la Informática.

Aprovecho para informarle que he leído detenidamente el documento Ref: ASESOR 01-01 y aplicando las recomendaciones que se dan en el mismo procedo a firmar de revisado el trabajo de tesis.

Sin otro particular me suscribo de ustedes,

Atentamente,

Otto René Escobar

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Otto René Escobar", written over a horizontal line.



Universidad San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería en Ciencias y Sistemas

Guatemala, 23 de Marzo de 2009

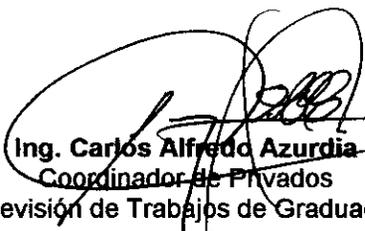
Ingeniero
Marlon Antonio Pérez Turk
Director de la Escuela de Ingeniería
En Ciencias y Sistemas

Respetable Ingeniero Pérez:

Por este medio hago de su conocimiento que he revisado el trabajo de graduación del estudiante **JUAN FRANCISCO ROJAS SANTIZO**, titulado: **"CONSOLAS VIRTUALES PARA MEZCLA DE AUDIO PROFESIONAL"**, y a mi criterio el mismo cumple con los objetivos propuestos para su desarrollo, según el protocolo.

Al agradecer su atención a la presente, aprovecho la oportunidad para suscribirme,

Atentamente,


Ing. Carlos Alfredo Azurdia
Coordinador de Privados
y Revisión de Trabajos de Graduación



E
S
C
U
E
L
A

D
E

C
I
E
N
C
I
A
S

Y

S
I
S
T
E
M
A
S

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE CIENCIAS Y SISTEMAS
TEL: 24767644

El Director de la Escuela de Ingeniería en Ciencias y Sistemas de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del asesor con el visto bueno del revisor y del Licenciado en Letras, de trabajo de graduación titulado “CONSOLAS VIRTUALES PARA MEZCLA DE AUDIO PROFESIONAL” presentado por el estudiante JUAN FRANCISCO ROJAS SANTIZO, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODO”



Ing. Marlon Antonio Pérez Turk
Director, Escuela de Ingeniería en Ciencias y Sistemas

Guatemala, 14 de julio 2009



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería en Ciencias y Sistemas, al trabajo de graduación titulado: **CONSOLAS VIRTUALES PARA MEZCLA DE AUDIO PROFESIONAL**, presentado por el estudiante universitario **Juan Francisco Rojas Santizo**, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

A large, handwritten signature in black ink, appearing to be 'Murphy Olympo Paiz Recinos', written over a horizontal line.

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
DECANO

Guatemala, julio de 2009



/cc

ACTO QUE DEDICO A:

DIOS

Por guiarme en un camino de propósitos en mi vida.

MIS PADRES:

Basilia Enriqueta Santizo de Rojas y Juan Francisco Rojas Cruz, por sus consejos, apoyo y el regalo de libertad que me dieron.

MIS HIJOS:

Ingrid Valeska y Héctor Francisco, por recordarme con hechos, que se vive de momentos.

MI ESPOSA:

Ingrid Maribel de León, por sus atenciones, paciencia y apoyo.

MIS HERMANOS:

Ana Julia y Luis Raúl, por su apoyo en el camino del aprendizaje y la unión que construimos.

MI FAMILIA EN GENERAL:

Tíos, tías, primos, primas, cuñado, cuñadas, suegros y a los todos los que de una u otra forma me dieron ánimo para continuar dando pasos en mi camino.

MI AMIGO:

Hector Hernandez de León, por su amistad en el sendero de ideales, metas y propósitos sin olvidar su apoyo para concluir la carrera.

MIS CATEDRÁTICOS:

Por su apoyo y guía profesional.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
GLOSARIO.....	VII
RESUMEN.....	XI
OBJETIVOS.....	XIII
INTRODUCCIÓN.....	XV
1 CONSOLAS REALES.....	1
1.1 Consolas análogas.....	1
1.1.1 Descripción.....	1
1.1.2 Ventajas.....	3
1.2 Consolas digitales.....	3
1.2.1 Descripción.....	3
1.2.2 Conversión análogo digital.....	5
1.2.2.1 Procesamiento digital de señales.....	5
1.2.2.1.1 Señales y sistemas discretos.....	5
1.2.2.1.2 Transformada Z.....	6
1.2.2.1.3 Filtros digitales.....	8
1.2.2.1.3.1 Generalidades.....	8
1.2.2.1.3.2 Filtros digitales lineales.....	9
1.2.2.2 Teorema de muestreo.....	10
1.2.2.3 Conversores análogo digital.....	13
1.2.2.3.1 Tamaño de la muestra.....	14
1.2.2.3.2 Frecuencia de la muestra.....	15
1.2.2.4 Conversores digital análogo.....	16
1.2.2.5 Conversores ADC080x.....	16

2 FUNCIONES DE LAS CONSOLAS REALES.....	19
2.1 Enrutamiento de señal.....	19
2.1.1 Canales.....	19
2.1.2 Buses.....	19
2.1.3 Inserciones.....	20
2.2 Procesamiento de señal.....	20
2.2.1 Balance.....	20
2.2.2 Ecuación.....	20
2.2.3 Ganancia.....	21
2.2.4 Solo.....	21
2.2.5 Mute.....	22
2.2.6 Inversores de onda.....	22
2.3 Procesamiento externo de señal.....	24
2.3.1 Compresión.....	24
2.3.1.1 Parámetros de compresión.....	25
2.3.1.1.1 Nivel de umbral (<i>threshold</i>).....	25
2.3.1.1.2 Tiempo de ataque(<i>attack time</i>).....	26
2.3.1.1.3 Tiempo de relajación (<i>release time</i>).....	26
2.3.1.1.4 Tiempo de mantenimiento (<i>hold time</i>).....	27
2.3.1.1.5 Relación de compresión.....	27
2.3.2 Limitación.....	28
2.3.3 Reverberado.....	28
2.3.3.1 Parámetros de reverberado.....	29
2.3.3.1.1 Tiempo de decaimiento.....	29
2.3.3.1.2 Retardo de las primeras reflexiones.....	29
2.3.3.1.3 Intensidad de las primeras reflexiones.....	30
2.3.3.2 Tipo de reverberación.....	30
2.3.3.3 Densidad de las reflexiones.....	30
2.3.3.4 Absorción selectiva de determinadas frecuencias.....	31

2.3.4 Otros procesadores de audio.....	32
3 FUNCIONES DE LAS CONSOLAS VIRTUALES.....	33
3.1 Ruteo de señal.....	33
3.1.1 Canales.....	33
3.1.1.1 Canal de audio.....	34
3.1.1.2 Canal de grupos.....	35
3.1.1.3 Canal Midi.....	35
3.1.1.4 Canal de automatización.....	36
3.1.1.5 Canal de cinta.....	37
3.1.1.6 Buses.....	37
3.2 Procesamiento de señal.....	38
3.2.1 Balance.....	38
3.2.2 Ecuación.....	39
3.2.2.1 Ganancia (<i>Gain</i>).....	39
3.2.2.2 Frecuencia (<i>Frequency</i>).....	40
3.2.2.3 Q.....	40
3.2.3 Ganancia.....	40
3.2.4 Mute y solo.....	40
3.2.5 Inversores de onda.....	41
3.3 Procesamiento de señal (Plugins).....	42
4 FORMATOS DE AUDIO PARA CONSOLAS VIRTUALES.....	43
4.1 Características a considerar.....	43
4.1.1 Frecuencia de muestreo.....	43
4.1.2 Resolución.....	43
4.2 Formatos de audio.....	44
4.2.1 Wav.....	44
4.2.2 AIFF.....	44

4.2.3 Otros formatos de audio auxiliares.....	44
4.2.3.1 MP3.....	44
4.2.3.2 Microsoft ADPCM (WAV).....	45
4.2.3.3 IMA/DVI ADPCM (WAV).....	45
4.2.3.4 Mu-Law & A-Law waveforms(WAV).....	46
4.2.3.5 Sound Blaster voice file format (VOC).....	46
4.2.3.6 RealAudio 3.0 (RA).....	46
4.2.3.7 Au, uLaw, NeXT, SunAudio.....	46
4.2.3.8 8-bit signed raw format (SAM).....	47
4.2.3.9 Dialogic ADPCM (VOX).....	47
4.2.3.10 Rae PCM Data (PCM).....	47
5 PROGRAMAS MÁS USADOS PARA CONSOLAS VITUALES.....	49
5.1 Nuendo.....	49
5.1.1 Adaptabilidad del sistema.....	49
5.2 Protools.....	50
5.2.1 Adaptabilidad del sistema.....	50
5.3 Ardour.....	51
5.3.1 Adaptabilidad del sistema.....	52
CONCLUSIONES.....	53
RECOMENDACIONES.....	55
BIBLIOGRAFÍA.....	57

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Consola analógica.....	2
2	Consola digital.....	5
3	Regiones de convergencia.....	7
4	Señal de muestreo.....	10
5	Señales $S(t)$, d , $S_d(t)$	11
6	Filtro de paso bajo.....	12
7	Representación de valores analógicos en digital.....	14
8	Frecuencia de muestreo.....	15
9	Esquema de un canal con enrutamiento y proceso de señal.....	23
10	Parámetros de un compresor.....	25
11	Uso del parámetro de umbral.....	25
12	Relaciones de compresión.....	27
13	Compresor de audio.....	28
14	Ondas de sonido reflejadas antes de llegar al oído.....	31
15	Módulo de reverberación.....	31
16	Editor de forma de onda.....	34
17	Consola virtual.....	38
18	Ecualizador paramétrico.....	39
19	Controles mute y solo por canal.....	41

TABLAS

I	Equivalente binario a decimal, formato digital de 16 bits.....	13
II	Distribución de pines para ADC 080x.....	18
III	Estándar de comunicación de PlugIns por sistema operativo.....	42

GLOSARIO

ADAT	(Alesis Digital Audio Tape) Reproductor/cinta para audio digital multipistas, antiguamente utilizado para grabar pistas separadas en una sesión de grabación con capacidad de 8 ó 24 pistas.
ADC	<i>“Analog to Digital Converter”</i> Conversor digital a análogo.
Analógico	Señal eléctrica que posee como característica central y básica un dominio y un contradominio sin discontinuidades y con rangos amplios de variación en el tiempo.
Consola	Dispositivo por medio del cual se pueden controlar diversos parámetros de sonido como volumen, ecualización, etc.
DAC	<i>“Digital to Analog Converter”</i> Conversor análogo a digital.
DAT	<i>“Digital Audio Tape”</i> Reproductor/cinta para audio digital, antiguamente usado para grabar una mezcla final de audio.
dB	Unidad utilizada para la comparación de magnitudes.

Digital	En términos de la teoría de la información son aquellas señales discretas y cuantizadas.
DirectX	Tecnología estándar para la interconexión de procesadores de audio bajo Sistemas Operativos Windows.
EQ	Se utiliza para hacer referencia a un proceso de ecualización.
Fader	Potenciómetro utilizado en superficies de control para regular el nivel de volumen de un canal de audio, su desplazamiento es vertical.
Gain	(Inglés: ganancia) Control de ganancia de diferentes parámetros de procesamiento de audio.
Hz	Hercio, unidad de medida para frecuencia, ciclos por segundo.
JACK	(Audio Connection Kit) Es un servidor de sonido que provee conexión de baja latencia entre aplicaciones tipo jackified, para audio y datos MIDI.
KHz	Kilo Hercio 1×10^3 Hercios.
LADSPA	(Linux Audio Developer's Simple Plugin API) Tecnología

estándar para la interconexión de procesadores de audio bajo Sistemas Operativos Mac os X y Linux.

Masterización Proceso que se realiza en el audio mezclado para ajustar niveles de compresión, ecualización y limitación de la señal permitiendo maximizar la señal para utilizar en radio, TV, etc.

Mezcla En audio se utiliza el término para el proceso por el cual se unen diferentes sonidos en uno o dos canales de audio, considerando diferentes parámetros que permiten escuchar de forma adecuada dicha unión.

MIDI (Musical Instrument Digital Interfase) Es un protocolo de comunicación entre instrumentos, permite de esta forma el intercambio de información entre los mismo y un almacenamiento de datos más eficiente.

Q Parámetro de ecualización que define el ancho de banda en un ecualizador paramétrico.

RTAS (Real Time Audio Suite) Tecnología estándar para la interconexión de procesadores de audio bajo sistemas operativos Mac os X y windows.

Sample (Inglés: muestra) Término utilizado para referirse a muestreo, cantidad de señal de audio muestreada.

- TMD** (Time-Division Multiplexing) multiplexor en la transmisión de audio, permite varios señales en un canal.
- Virtual** Sistema que genera una realidad ilusoria.
- VST** (Virtual Studio Technology) Tecnología estándar para la interconexión de procesadores de audio bajo sistemas operativos Mac os X y windows.

RESUMEN

Comprende un análisis de funcionalidad desde las consolas analógicas, digitales hasta las virtuales, considerando la teoría de digitalización para comprender el impacto que tienen los diferentes parámetros del formato digital en la calidad de audio.

El conversor análogo a digital y viceversa tiene un funcionamiento vital para la existencia de las consolas virtuales, por ese motivo se analiza a detalle la teoría sobre la frecuencia de muestreo y la resolución de la muestra.

La mejor forma de comprender los beneficios obtenidos de una consola virtual es estudiando todos los elementos de operación de una consola real analógica y digital.

El término automatización tiene un profundo impacto en la versatilidad de una consola al momento de realizar mezclas, por eso el tema es analizado en cada caso.

Los PlugIns para el proceso de audio son un concepto innovador, nueva tecnología utilizada en las consolas virtuales que brinda escalabilidad. Los detalles de todos los sistemas de comunicación que utilizan para adherirse como parte de la consola son mencionados en los programas de software mas utilizados como consolas virtuales.

OBJETIVOS

- **General:**

Permitir al lector una visión clara de por qué las consolas virtuales se han convertido en un estándar de grabación, dejando atrás las consolas reales analógicas y digitales, así como toda la teoría matemática que sustenta la digitalización, base para la existencia de las mismas.

- **Específicos:**

1. Conocer los parámetros y funciones de una consola analógica real.
2. Conocer la funcionalidad de una consola digital real.
3. Documentar toda la teoría matemática que sustenta la digitalización de señal auditiva.
4. Conocer los diferentes procesos dinámicos que puede llevar una señal de audio.
5. Comprender la importancia de la tecnología de PlugIns para el proceso de audio.
6. Conocer los sistemas de comunicación que tienen los PlugIns para adherirse a una consola virtual como parte de ella.
7. Conocer los programas de software más utilizados para consolas virtuales de mezcla de audio profesional.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas computarizados han cambiado notablemente la forma de trabajo, mediante el empleo de herramientas de hardware y software. El área de sonorización profesional es una de las más beneficiadas con ésta tecnología, específicamente nos centramos en las consolas virtuales para mezcla de audio profesional. En la mayor parte de estudios para audio profesional se está cambiando de técnicas de mezcla en consolas reales a consolas virtuales que permiten una mayor flexibilidad para el manejo y automatización audio.

Para comprender mejor el proceso de mezcla en consolas virtuales damos un vistazo general sobre consolas reales analógicas y consolas reales digitales. Para el procesamiento de audio se introduce el concepto innovador, los PlugIns.

Todos los avances tecnológicos en el área de audio profesional y la base para la existencia de las consolas virtuales está en la teoría matemática que apoya la digitalización de señales como lo es la transformada en “Z”, teoría de muestreo, filtros, etc., que son abordados en detalle.

1 CONSOLAS REALES

1.1 Consolas análogas

1.1.1 Descripción

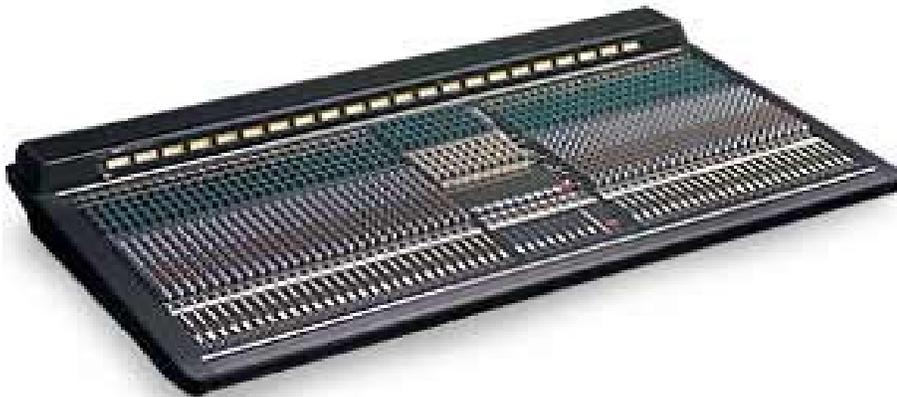
Este dispositivo mezcla varios canales sonoros de entrada en una o varios canales sonoros de salida. Dispone de funciones como ecualización, ajuste/monitoreo de nivel, uno o más canales de envío para procesos dinámicos o efectos sonoros (echo, reverberación, etc), canales auxiliares de sonido y control de nivel por canal en caso se realice una mezcla con salida estereofónica.

En la grabación profesional de audio es necesaria la utilización de equipo de alta fidelidad, normalmente estos equipos suelen ser caros y en el caso de las consolas analógicas el espacio y cantidad de equipo activo necesario para realizar una tarea de mezcla puede ser un factor en contra, su uso data desde los inicios de la grabación profesional y sus elementos electrónicos iniciaron con procesos por tubos al vacío hasta sistemas transistorizados y circuitos integrados a la fecha .

El tamaño que estas consolas van adquiriendo, a medida que se hacen mas completas para dar una mayor funcionalidad en la captura y proceso de audio es cada vez más grande, existen consolas que llegan a medir hasta siete metros y con una gran cantidad de botones para control donde es difícil tener acceso rápido a todos para controlar diferentes parámetros.

El consumo de energía en estos equipos suele ser elevado, debido a la tecnología electrónica que utilizan.

Figura 1. Consola analógica



1.1.2 Ventajas

- Debido al manejo de una señal continua el sonido es real.
- Se evitan problemas de sincronía en relación a la consolas digitales.
- Todos los parámetros son visibles y no hay confusión en ubicación sobre un canal de trabajo y otro.
- Elementos como compresores regularmente son de tubos permitiendo un sonido con mayor grado de potencia.
- Los pre-amplificadores para micrófono son de alta calidad.
- Pueden ser utilizadas para grabación en vivo sin mayores problemas de compatibilidad con equipos de procesamiento externo.

1.2 Consolas digitales

1.2.1 Descripción

La evolución en los sistemas integrados de procesamiento (ADC's más rápidos, computadores más eficientes.), el tratamiento de la señal analógica en su equivalente a digital utilizando la transformada en "Z" (algoritmo de procesamiento en el dominio de la frecuencia, filtrado digital, etc.) dio lugar a las consolas digitales, como resultado de estos adelantos así como la integración de micro procesadores, el tamaño tamaño de los equipos y la flexibilidad del manejo de la señal de audio se han beneficiado.

Como ventaja mas notoria tenemos los sistemas de automatización que estas consolas brindan en trabajos de pos producción, para tener un ejemplo de lo que representa en un trabajo de mezcla, imagine que un instrumento musical (trompeta) debe sobresalir unicamente 5 segundos a la mitad y al final de la canción digamos que es al minuto dos con treinta segundos (00:02:30:0000) y al minuto 3 con cincuenta segundos (00:03:50:0000) respectivamente, en una consola analógica la única forma de lograrlo es estando atento a estos eventos en el tiempo real de mezcla y evaluar al final si quedo bien o se tiene que repetir. En el caso de las consolas digitales, estos eventos se pueden automatizar, es decir estas consolas graban el movimiento de los faders (eventos en nivel de faders) para luego de escuchar la mezcla automatizada si el trabajo no esta bien únicamente se hagan las correcciones en las partes donde hay que atenuar o aumentar el nivel, permitiendo una gran cantidad de ajustes sin tener que repetir lo que esta bien.

Procesamiento dinámico como ecualización compresión y limitación están incorporados en estas consolas, ahorrando costos pues evita la necesidad de comprar procesadores externos para cada canal como en el caso de las consolas analógicas, todos los eventos de este proceso también se pueden automatizar. El control de ecualización es más flexible, permitiendo el manejo de los parámetros como ancho de frecuencia, frecuencia central y ganancia en decibeles para cada frecuencia con un total hasta de cuatro frecuencias simultaneas por canal.

La asignación de buses y enrutamiento es digital comparado con las consolas analógicas que muchas de estas configuraciones se hacen manualmente conectando y desconectando cables a la consola.

Figura 2. Consola digital



1.2.2 Conversión análogo digital

1.2.2.1 Procesamiento digital de señales

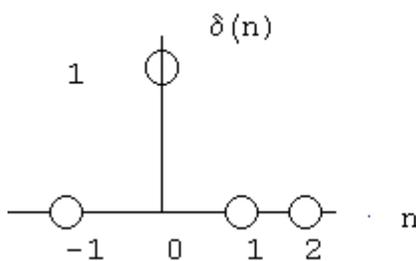
1.2.2.1.1 Señales y sistemas discretos

Toda señal audible natural esta dentro del dominio de las señales continuas. Para el proceso de esta información de forma digital se realiza un cambio de dominio a señales discretas. En el dominio discreto se realiza la toma de la señal continua en lapsos de tipos simétricos, quedando sin conocimiento del estado de la señal entre los lapsos que no cubre dicha frecuencia, la notación para esta señal esta definida como $x(n)$ o $x(nT)$.

Para los sistemas digitales una señal muy útil es el pulso digital unitario definido como:

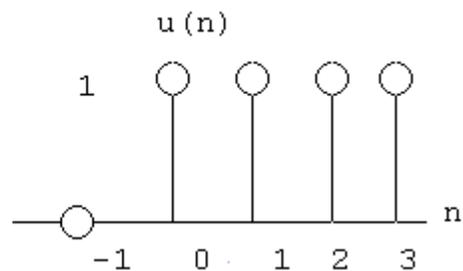
Secuencias delta:

$$\delta(n) = \begin{cases} 1, & n = 0 \\ 0, & n \neq 0 \end{cases}$$



Secuencias escalon:

$$u(n) = \begin{cases} 1, & n \geq 0 \\ 0, & n < 0 \end{cases}$$



1.2.2.1.2 Transformada Z

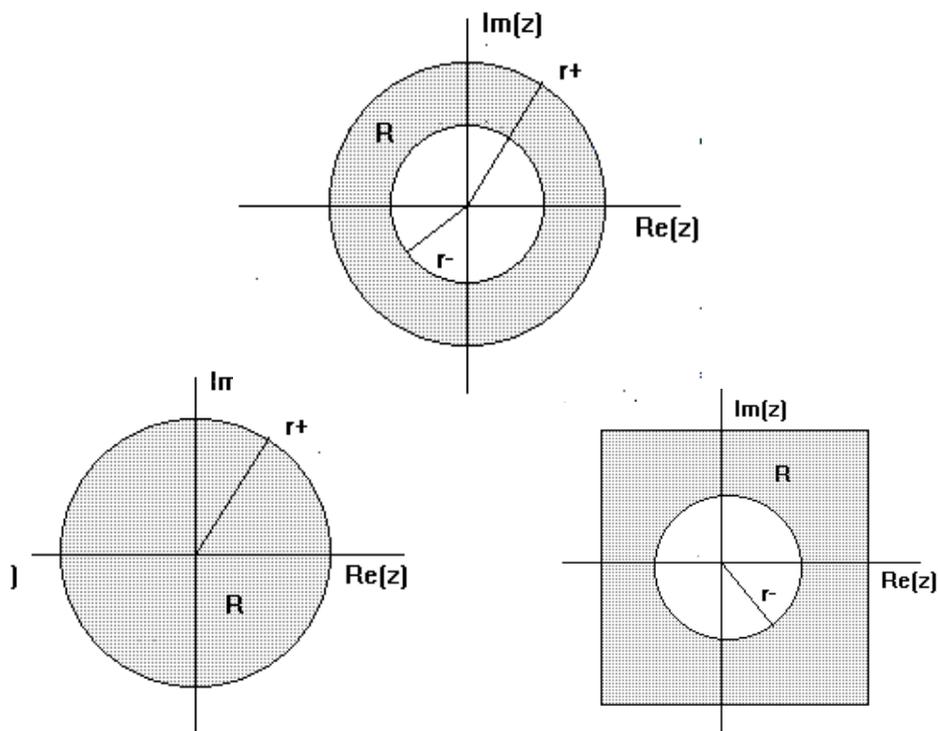
Jean Baptiste Fourier fue el matemático que demostró que una señal periódica se puede expresar como una suma de varias sinusoides de distintas frecuencias, amplitud y fase. La suma de estas señales sinusoidales se llama serie de Fourier y en su forma mas general se conoce como transformada Z que es una secuencia de $x(n)$ en la función $X(z)$ en la que $X(z)$ esta definida por:

$$X(z) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(n) z^{-n}$$

Esta función también se puede definir como $X(z)$ es la transformada en Z de $x(n)$.

El dominio de la transformada en z puede estar tanto dentro de los números reales y los complejos, de esta forma la teoría de variable compleja en una región de convergencia R en $X(z)$ es un anillo (serie de Laurent) cuyo límite está dentro de $r^+ < |z| < r^-$, cuando $x(n)$ tiende a $-\infty$ o $+\infty$:

Figura 3. Regiones de convergencia



1.2.2.1.3 Filtros digitales

Las técnicas de captación de sonido natural pueden tener efectos indeseado en los sistemas digitales, tal es el caso de frecuencias sonoras no audibles al oído humano esto puede tener como consecuencia almacenamiento de datos no necesarios y pérdida de control en el proceso de la información. En este punto es donde tiene su importancia el filtrado digital.

1.2.2.1.3.1 Generalidades

El objetivo de los filtros es la extracción de la señal útil dentro de un todo, mediante criterios bien establecidos dependiendo el caso lo requiera. Los sistemas digitales tienen un gran desempeño en esta tarea gracias a la transformada z.

Según el efecto que el filtro pueda tener este puede ser:

- Filtro temporal: establecido en casos previos a un proceso final o en un tiempo específico en la señal.
- Filtro de frecuencias: se define por la respuesta que pueda tener a ciertas frecuencias o rango de frecuencias.
- Filtrado óptimo: cuando el caso permite un criterio claro para optimización.
- Filtrado estocástico o determinístico: este filtro tiene un criterio aleatorio para influir sobre la señal procesada.

1.2.2.1.3.2 Filtros digitales lineales

Los filtros digitales son un algoritmos con diferentes objetivos en el procesamiento de la señal. Estos pueden ser creados por programas o micro programas instalados en hardware (firmware).

La forma general de representar un filtro digital es:

$$y(n) = \sum_{i=0}^M b_i x(n-i) - \sum_{k=1}^N a_k y(n-k)$$

Con una ecuación de esta forma determinamos que es necesario para la implementación de un filtro digital las restas o sumas, retrasos y multiplicaciones, ya que los resultados dependen de la diferencia entre el estado actual y anterior de la muestra. n es un entero en unidades discretas, a_k y b_i son coeficientes del filtro que multiplican valores pasados del resultado y valores pasados de la entrada respectivamente.

Cuando el coeficiente a_k es cero permite una dependencia única de la entrada del sistema, esto consigue un filtro RIF o no recursivo con propiedades de respuesta de fase lineal y coeficientes cuantizados estables. Su función de transferencia es:

$$H(z) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} h_n z^{-n} = \sum_{n=0}^M b_n z^{-n}$$

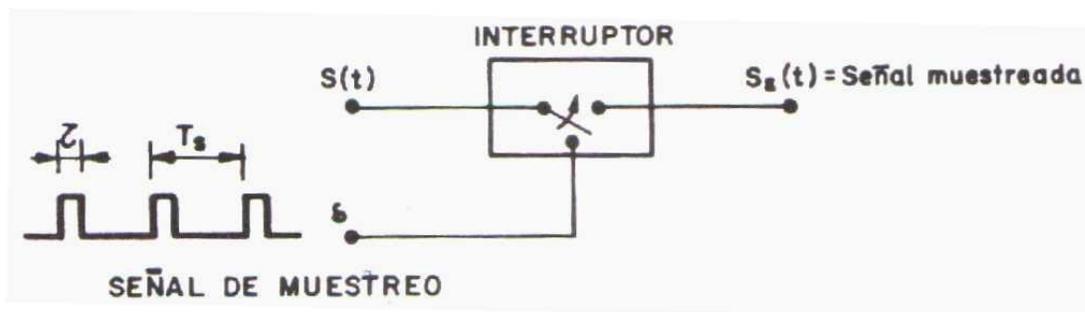
Cuando a_k no es cero se tiene una dependencia de la salida generando así un efecto recursivo mas conocido como filtros RII con características de respuesta de fase no lineal e inestabilidad en el cálculo cuando son usadas variables de largo finito. La función de transferencia es:

$$H(z) = \frac{1}{\sum_{n=0}^N a_n z^{-N}}$$

1.2.2.2 Teorema de muestreo

Una señal continua $S(t)$ con un ancho de banda tal que la frecuencia máxima dentro de la misma es f_m es posible reconstruirse sin distorsión si la frecuencia f_s con que se toma la muestra $f_s > 2 f_m$.

Figura 4. Señal de muestreo



Para cumplir con las elevadas tasas de muestreo se necesitan transistores de efecto de campo funcionando como interruptores y cuentan con las siguiente características:

- Elevada resistencia de aislamiento si el interruptor esta desconectado.
- Baja resistencia cuando se conecta el interruptor.
- Alta velocidad de conmutación entre ambos estados.

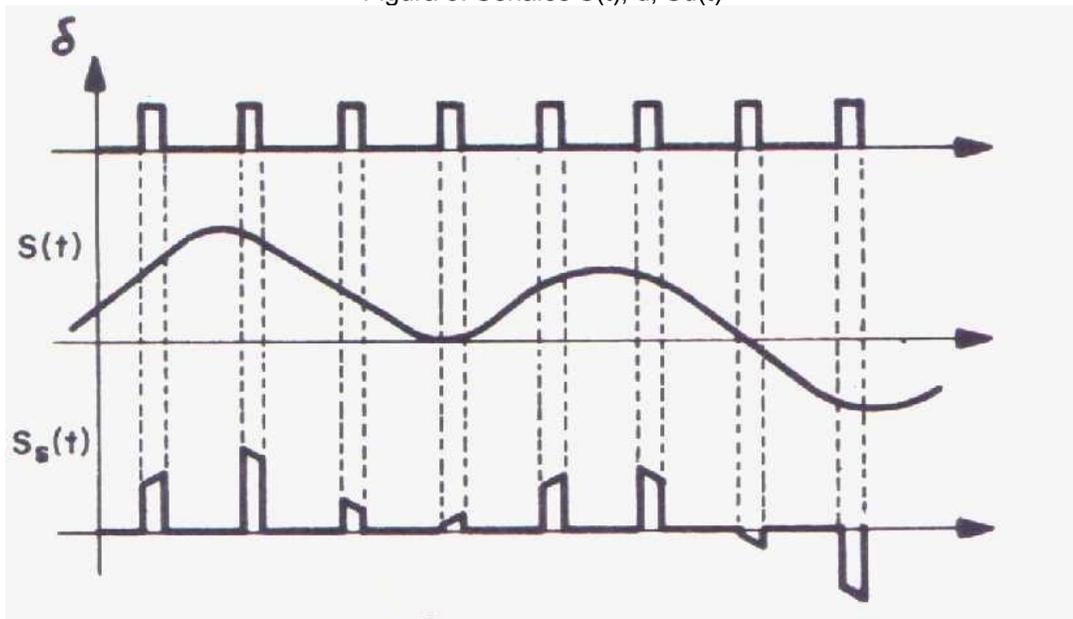
En la figura se muestran las tres formas de señal principales:

$S(t)$: señal a muestrear

d : señal muestreadora

$S_d(t)$: señal muestreada

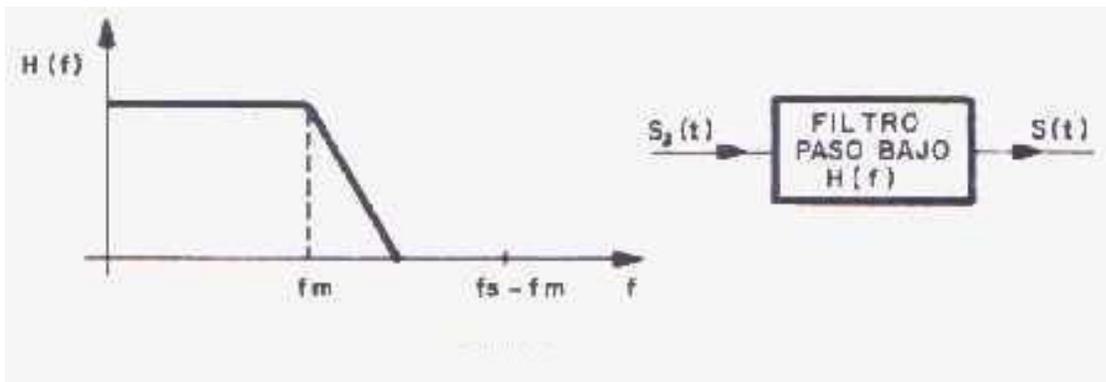
Figura 5. Señales $S(t)$, d , $S_d(t)$



Viendo el proceso de forma gráfica es fácil darnos cuenta que la señal es mas precisa cuando fm (frecuencia de muestreo) tiende a cero. Cuando fm es demasiado grande la información es poco precisa y degenerativa por el lapso de tiempo muerto.

Para la que reconstrucción de la señal muestreada sea similar a la real se utiliza un filtro pasa bajo con una función de transferencia como la siguiente:

Figura 6. Filtro de paso bajo



La respuesta del filtro, es plana hasta una frecuencia, que como mínimo debe ser igual a fm y luego caer a cero antes de alcanzar una frecuencia con el valor $fs-fm$.

1.2.2.3 Conversores análogo digital

Conversores analógico a digital, o ADC que convierte la señal de una fuente auditiva analógica (como una guitarra o un micrófono) a un valor binario equivalente (señal digital) para su proceso y/o almacenamiento. El ADC toma lecturas de la fuente auditiva real en periodos de fracción de segundo, cada lectura es llamada muestra. El número de muestras tomado por segundo se llama proporción de muestra. La conversión a una señal digital requiere de trasladar cada lectura analógica que genera cualquier sonido natural en el ambiente (señal continua), a muestras en datos discretos con cierta frecuencia en el tiempo.

En el formato digital, se usan los números binarios para guardar los valores que representan cada muestra. Cada valor numérico binario tiene una representación en el sistema decimal que a su vez significa un valor de la muestra.

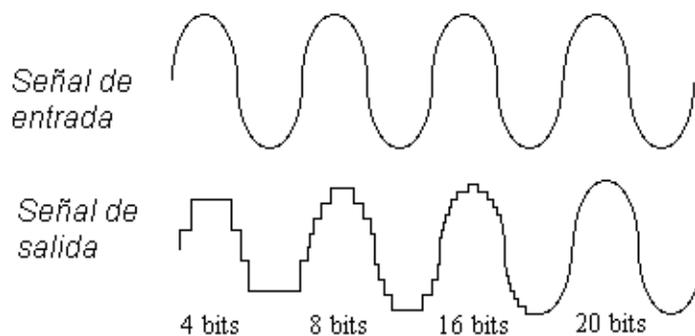
Tabla I: Equivalente binario a decimal, formato digital de 16 bits

BINARIO	DECIMAL
0000000000000000	0
0000000000000001	1
0000000000000010	2
0000000000000100	4
0000000000001000	8
1111111111111111	65,535

1.2.2.3.1 Tamaño de la muestra

El bit se usa para guardar el valor tomado. En un sistema del 8-bits, hay 256 posibles valores para que puedan representarse 256 voltajes analógicos diferentes. Un sistema del 16-bits proporciona 65,535 posibles combinaciones. Un dato del 16-bits es capaz de proporcionar una exactitud mayor, superior al del 8-bits, a mayor cantidad de bits en la muestra mayor rango dinámico.

Figura 7. Representación de valores analógicos en digital

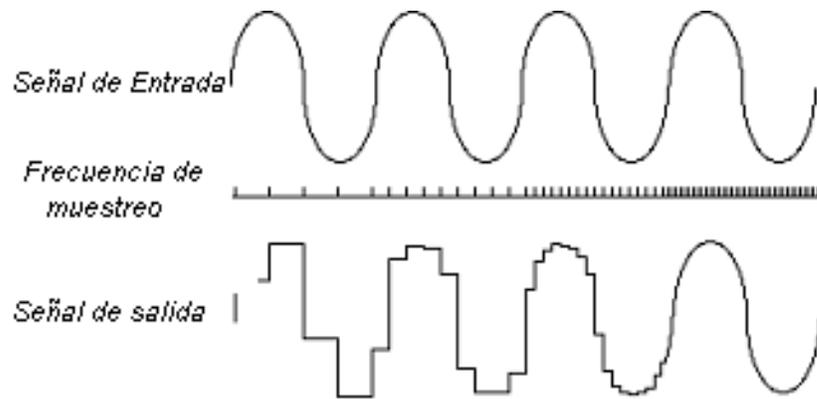


Actualmente los sistemas de audio profesional trabajan con 24 bits de resolución.

1.2.2.3.2 Frecuencia de la muestra

La frecuencias que el ADC tiene para tomar las muestras es igualmente importante que la resolución en bits, ambos determinando la calidad de una grabación digital. Para conseguir un mayor nivel de exactitud al grabar, la frecuencia de la muestra debe ser mayor que dos veces la frecuencia del sonido mas alta a grabar. La declaración matemática de esto se llama el Teorema de Nyquist. El oído humano puede escuchar sonidos dentro de un ancho de banda entre 20Hz - 20kHz, entonces debe usar muestreo mayor que 40,000 veces por segundo (mayor que el doble de 20kHz). Los sistemas actuales permiten grabar a 192,000 veces por segundo.

Figura 8. Frecuencia de muestreo



1.2.2.4 Conversores digital análogo

Este elemento es llamado DAC por sus siglas en inglés (Digital Analog Conversor), su funcionamiento es inverso al ADC, al reproducir, éste toma los valores binarios almacenados convirtiéndolos en señales de voltaje analógicas (muestras) que son enviadas a un amplificador para ser audibles. Las características de resolución en bits y frecuencia de muestreo son las mismas que las del ADC.

1.2.2.5 Conversores ADC080x

Uno de los circuitos usados en la conversión analógico a digital para que la información pueda ser procesada se consigue con un convertidor analógico/digital de la serie ADC080x, estos A/D disponen de una salida de 8 bits y son muy rápidos con una velocidad de conversión de aproximadamente 100uS. Trabajan a 5 voltios, dispone de reloj interno o externo. Las instrucciones son:

CS (Chip Select) autoriza el funcionamiento del convertidor .

WR (Write) Da la orden de inicio del convertidor .

RD (Read) Efectuá la lectura de los datos .

INTR (Indicador fin conversión .

Con CS y WR con posición lógica 1 el convertidor A/D se bloquea y no actúa.

La conversión empieza con la llegada de un pulso 1 a la entrada de WR si la entrada de CS esta a 0.

Durante la transición de 1 a 0 de la señal en la entrada del WR o del CS, se reinicia el controlador interno, y el registro de datos y la salida del INTR se pone a 1.

Después que la conversión sea completa la pata INTR realiza una transición de 1 a 0, esto puede ser usado para interrumpir un microprocesador o señalar la posibilidad de un nuevo resultado para otra conversión.

Una operación de lectura del RD con CS a 0 limpia la INTR y autoriza los lach de salida.

Los períodos entre transiciones de 0 a 1 o de 1 a 0 deben ir precedidos de unos períodos de tiempo en espera de 0,5 ms para permitir la adecuación de todos los circuitos internos del convertidor A/D. Este tiempo puede ser menor aunque es cuestión de controlar las tablas de tiempos según el proceso que se este realizando.

Para conseguir una conversión en continuo CS y RD deben de estar a 0 y la pata INTR conectada a la entrada de WR. Esta conexión INTR/WR fuerza a 0 la pata de WR y asegura la operación del circuito.

Tabla II: Distribución de pines para ADC 080x

Pin	Nombre	Funcion	Logica
1	CS- Chip Select	Habilita el chip	I / 0
2	RD- Salida autorizada	Lee la informacion	I / 0
3	WR- Start conversion	Iniciar conversion	I / 0
4	CLKIN	Entrada de reloj	
5	INTR	Indicador fin conversion	I / 0
6	Vlts +	Señal positiva analogica	-0,3/16V
7	Vlts -	Señal negativa analogica	0
8	A GND	Tierra analogica	0
9	Vref/2	1/2 maximo del Pin 6	
10	D GND	Tierra digital	
11/18	DB7 a DB0	Salidas digitales	I / 0
19	CLK R	Salidas reloj interno	
20	Vcc	Alimentacion	hasta 6,5V

2 FUNCIONES DE LAS CONSOLAS REALES

2.1 Enrutamiento de señal

2.1.1 Canales

Los canales son rutas por medio de las cuales cada señal auditiva es controlada por separado, es decir que un canal recibe información auditiva de una sola entrada para ser procesada dentro de la consola, los canales a su vez nos permiten controlar parámetros como la ganancia de la señal previo a los controles de volumen de la consola (faders), el nivel o volumen de la señal dentro de los demás canales por medio de los faders, la separación estereofónica, proceso del sonido como ecualización de distintas frecuencias y anchos de banda, escuchar únicamente la señal de un canal específico o eliminarlo en relación a todos los demás, y los envíos a los buses.

2.1.2 Buses

Permiten el control separado de la señal auditiva, a diferencia de los canales, la señal de audio que reciben es asignada desde cada canal y no directamente de una entrada física de la consola, eso permite llevar información de mas de un canal hacia este bus. La salida es un conector externo útil para conectar un procesador de señal como los mencionados en la sección 2.3 .

2.1.3 Inserciones

Es la salida y entrada física por canal previas al control de nivel o fader, su función mas conocida es procesamiento dinámico de señal previa a los controles de la consola, es aquí también donde se puede hacer un control del nivel de entrada a la consola, pues si no se tiene control de esto la señal puede ir muy baja o saturada de origen.

2.2 Procesamiento de señal

2.2.1 Balance

Dispositivo por canal que permite controlar los niveles de señal enviados a los dos canales maestros (izquierdo y derecho en el caso de una mezcla estereofónica) para dar un efecto espacial por ejemplo, en la mezcla de piano los tonos altos se escuchan en un canal y los bajos en otro.

2.2.2 Ecualización

Permite atenuar o amplificar frecuencias auditivas, las consolas digitales permiten frecuencia variable en el rango de 20Hz. a 20kHz. y ancho de frecuencia, las consolas analógicas tiene las frecuencias fijas y en ambos tipos de consolas se cuenta con cuatro controles de ecualización por canal: bajo, medio bajo, medio alto y alto con centro en las frecuencias de 80 Hz, 400 Hz, 2500 Hz y 12000 Hz respectivamente.

2.2.3 Ganancia

Maximiza la compatibilidad en impedancia cuando se conecta un equipo externo a la consola como micrófonos de alta y baja impedancia (según la aplicación y captación sonora que se realice), módulos de síntesis como teclados y órganos entre los mas conocidos, reproductores de CD o cassette, tarjetas de Sample, etc. La ganancia es el primer proceso al que se somete la señal auditiva dentro de la consola, un ejemplo de su aplicación es cuando se utiliza un micrófono de baja impedancia para la captación de voz, si la persona que utiliza el micrófono habla con poco volumen o el micrófono esta alejado, la señal que llega de este será muy débil, el control de ganancia se puede llevar a un nivel de volumen aceptable como si la fuente fuera ideal o en el caso contrario atenuar para que no exista sobre-modulación de origen.

2.2.4 Solo

Es un botón que permite escuchar el o los canales, en el cual se encuentra presionado, el objetivo es lograr que en la mezcla de muchos canales se pueda procesar un canal en especial y apreciar que tan procesada se encuentra esta señal para luego incorporarla con los demás canales y determinar el efecto global del proceso, sin tener que bajar el control de volumen de todos los canales que no queremos escuchar.

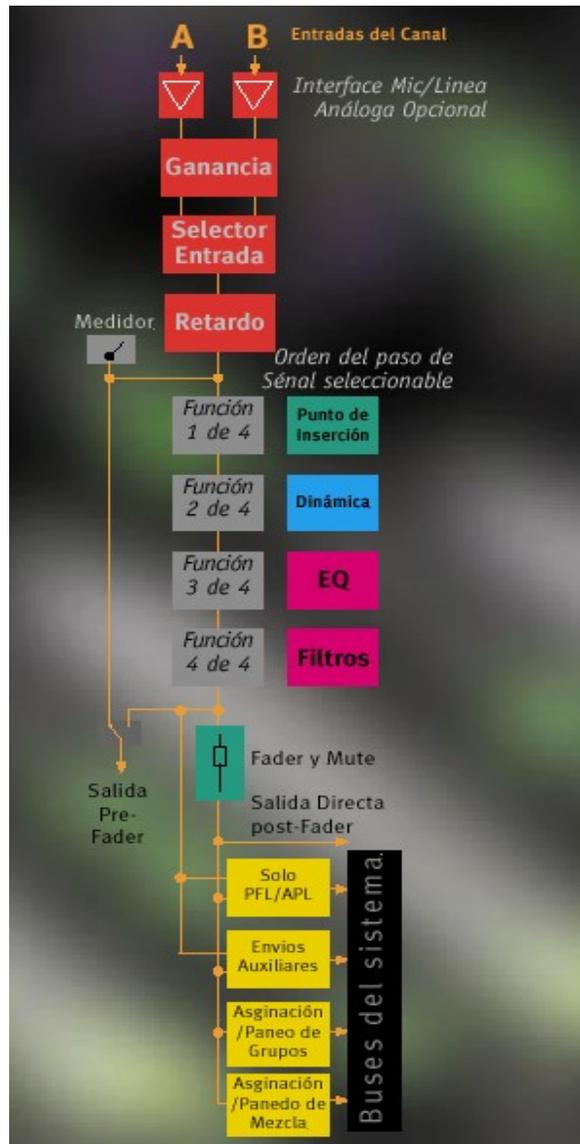
2.2.5 Mute

Al contrario del botón de solo este se encarga de silenciar el canal en el que se presiona, es útil cuando se tiene una mezcla con problemas y se quiere determinar qué canal los está provocando anulando el sonido canal por canal.

2.2.6 Inversores de onda

Útil cuando se graba con más de un micrófono a la vez, por ejemplo cuando se graba un piano en estero se utilizan 2 micrófonos el retraso que existe entre la captación de señal del primer micrófono al segundo puede provocar una anulación del sonido, efecto que se da porque el sonido tiene forma sinusoidal según el tiempo en un punto determinado la fase es positiva y en otro negativa permitiendo que dos tomas distantes de sonido puedan sumar su potencia y tener cero como resultado, es aquí donde se convierte en una herramienta poderosa para la inversión de fase.

Figura 9. Esquema de un canal con enrutamiento y proceso de señal



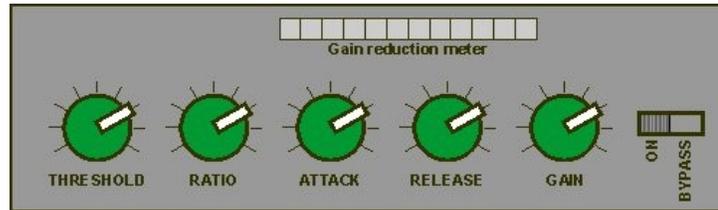
2.3 Procesamiento externo de señal

2.3.1 Compresión

Este dispositivo se encarga de controlar la energía sonora (volumen) según la configuración y el caso lo requiera. Algunas razones para dicho control son:

- La forma matemática de expresar la energía del sonido es un valor en RMS, este valor representa la raíz media cuadrada. Un motivo para controlar esta energía es por qué el oído humano es muy sensible a los cambios de nivel de la misma y con la compresión se logra mantener un nivel muy regular, si por ejemplo un cantante pasa de un susurro a un fuerte grito el nivel se mantiene audible en el susurro y sin saturación durante el grito.
- Otra razón puede ser por seguridad, controlando los niveles mas altos de energía y reduciéndolos a niveles mas bajos se puede evitar saturación y peligro de dañar cualquier equipo que se encuentre en la cadena de sonido hasta llegar a los altavoces, este tipo de compresión mas funciona como un limitador.
- Cuando el ancho de banda por el cual el sonido se conduce es reducido se puede lograr un mejor efecto reduciendo el rango dinámico de la señal. Efecto muy utilizado en transmisiones de radio por amplitud modulada (AM).

Figura 10. Parámetros de un compresor

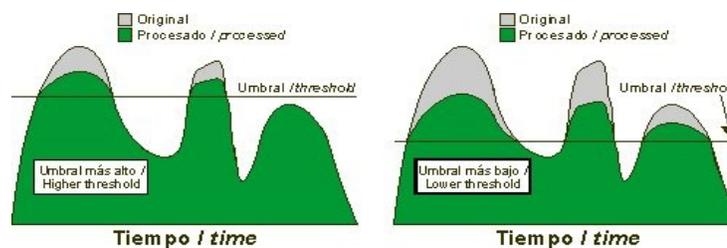


2.3.1.1 Parámetros de compresión

2.3.1.1.1 Nivel de umbral (*threshold*)

Este parámetro controla el nivel en el cual el compresor se activa. Cuando la señal excede el nivel definido el compresor empieza a funcionar, las unidades se definen en dBs.

Figura 11. Uso del parámetro de umbral



2.3.1.1.2 Tiempo de ataque(*attack time*)

El tiempo que el compresor tarda en activarse cuando el umbral es superado se define con este parámetro, los rangos están entre 50 y 500 micro-segundos para el mínimo y entre 20 y 500 mili-segundos para el máximo. Se debe tener especial cuidado con el uso de este parámetro, pues por ejemplo una frecuencia de 100 Hz dura 10 mili-segundos, si el tiempo de ataque se coloca en 1 mili-segundo modificara la forma de onda y generara una distorsión. Por otro lado, si el tiempo es demasiado largo corremos el riesgo de distorsión o arruinar algún equipo en la cadena de sonido por disipar la energía muy tarde. En este punto es importante el equilibrio

2.3.1.1.3 Tiempo de relajación (*release time*)

En contraposición al tiempo de ataque, este parámetro se encarga de desactiva el proceso del compresor una vez la señal esta por debajo del umbral, los tiempos están entre 40 y 60 mili-segundos para el mínimo y entre 2 a 5 segundos el máximo. Si el tiempo es demasiado corto puede crear un efecto de bombeo (pumping en ingles) por la activación y desactivación rápida. Este parámetro es mas sencillo de configurar cuando se aplica a un solo instrumento o sonido en especial.

2.3.1.1.4 Tiempo de mantenimiento (*hold time*)

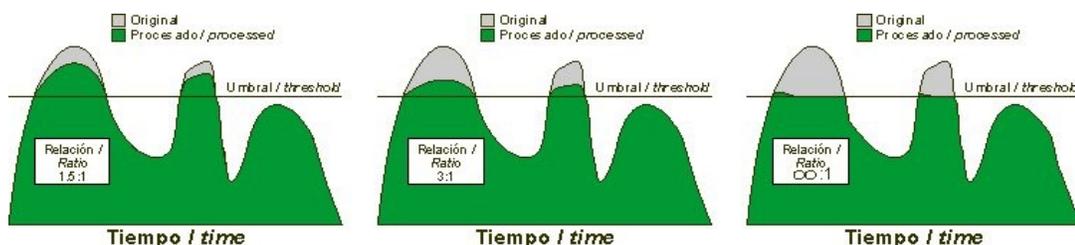
Un parámetro que viene en pocos compresores, su función es evitar que en tiempos cortos de relajación el compresor genere distorsión en determinadas frecuencias esperando a que llegue el siguiente ciclo para la desactivación. Por ejemplo, para una frecuencia de 20 Hz 50 mili-segundos evitan distorsión.

2.3.1.1.5 Relación de compresión

La cantidad en que se atenuara la señal es definida con este parámetro, el rango puede estar entre 1:1 y 40:1, se lee uno a uno y cuarenta a uno respectivamente. Por ejemplo, si se define una relación de 6:1, esto representa que por cada 6 dB que se exceda del umbral se reducirá a 1 dB, así excede 12 dB se reducirá a 2 dB.

Una relación alrededor de 3:1 se considera moderada, 5:1 es media y alta 8:1, cuando la compresión es mayor de 20:1 funciona como limitador.

Figura 12. Relaciones de compresión



2.3.2 Limitación

La compresión es una forma de limitación, los compresores con una relación mayor de 20:1 y un tiempo de ataque rápido cortan de forma abrupta un pico de señal que exceda el umbral definido.

Se puede decir que la compresión es una forma muy sutil de limitar una señal y la limitación una forma agresiva de tratar los excesos de la misma. La mayor parte de compresores tiene función dual, compresión y limitación.

Figura 13. Compresor de audio



2.3.3 Reverberado

Cuando un sonido es generado, la fuente original rebota en diferentes superficies, la sumatoria de todas estas reflexiones que resultan como un sonido más largo según los retardos es lo que se conoce como reverberación. La tonalidad de la reverberación depende de la superficie donde se producen las reflexiones y la distancia de las mismas en relación al oyente.

Las reflexiones sonoras tienden a desaparecer con el tiempo, el cerebro percibe estas como un sonido adicional debido a que la separación de la fuente directa supera los 50 milisegundos, a este efecto se le llama de precedencia o Haas, si el tiempo es menor al mencionado el cerebro integra el sonido y no lo percibe como algo adicional.

2.3.3.1 Parámetros de reverberado

2.3.3.1.1 Tiempo de decaimiento

Es un parámetro que define el tiempo en el que las reverberaciones decaen 60 dB, en espacios reales está determinado por el tamaño del recinto, lugares grandes tienen tiempos largos hasta de 5 segundos mientras que los pequeños menos de medio segundo. Es un fenómeno fácil de percibir en recintos como iglesias.

2.3.3.1.2 Retardo de las primeras reflexiones

Este es el tiempo en el que la primera reflexión llega al oyente y está directamente relacionado con la distancia que hay entre el oyente y las superficies reflectantes.

2.3.3.1.3 Intensidad de las primeras reflexiones

A mayor distancia de las superficies reflectantes menor será la intensidad con la que estas sean percibidas, así pues las primeras reflexiones serán más intensas que las siguientes. La sensación de un recinto grande la puede producir una reverberación larga y con intensidad moderada.

2.3.3.2 Tipo de reverberación

Existen tipos de reverberaciones configurados como recintos específicos tal es el caso de las tipo plate, room, etc. En la actualidad se pueden generar sensaciones extrañas produciendo reverberaciones antinaturales cuando se utilizan reverberaciones no lineales o se filtran frecuencias variables de estas.

2.3.3.3 Densidad de las reflexiones

Este parámetro relaciona la cantidad de superficies en las que rebota el sonido, la densidad puede ser diferente en la frecuencia audible ya que algunas superficies absorben más un tipo específico de frecuencias que otros.

2.3.3.4 Absorción selectiva de determinadas frecuencias

El efecto de una superficie reflectora específica puede lograrse mediante el filtrado o ecualizado de determinadas frecuencias simulando el comportamiento absorbente real del material. En la práctica la reverberación se utiliza para dar una sensación de distancia sobre el objeto sonoro fuente pues mientras mas cerca se esta del objeto menor puede resultar el efecto de esta.

Figura 14. Ondas de sonido reflejadas antes de llegar al oído

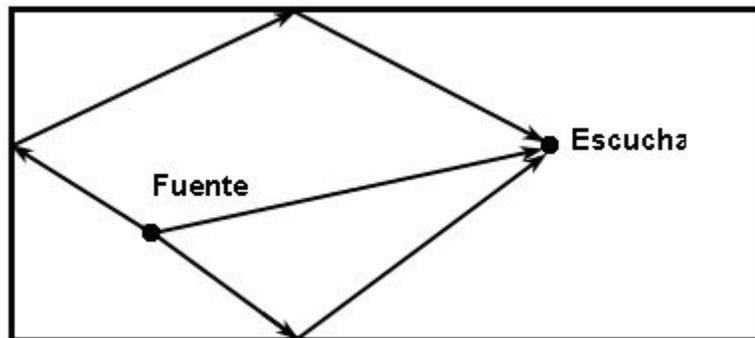


Figura 15. Módulo de reverberación



2.3.4 Otros procesadores de audio

Existen muchos procesadores de señal que permite por ejemplo afinar la tonalidad de una voz o instrumento (si esta desafinado), efectos de cambio de velocidad del tiempo que pueden dar la sensación de aumentar o disminuir la revoluciones en una reproductora de CD, efecto doppler, etc. Aquí únicamente hemos mencionado los más utilizados en un estudio de audio profesional estándar.

3 FUNCIONES DE LAS CONSOLAS VIRTUALES

Las consolas virtuales tienen la misma función que las consolas reales, adicional a estas funcionalidades todo el procesamiento de señal es digital y la superficie de control no es más que el monitor de la computadora con funciones de procesamiento antes inimaginables realizadas a través de algoritmos de software que permiten trabajar la información auditiva con calidad profesional y flexibilidad, expandiendo de esta forma las posibilidades donde el límite es la creatividad y la capacidad del hardware con el que se trabaja.

Estas consolas han acercado las posibilidades de plasmar la inspiración artística de muchos usuarios comunes sin la necesidad de tener todo un estudio profesional, ahora llamados estudios caseros.

3.1 Ruteo de señal

3.1.1 Canales

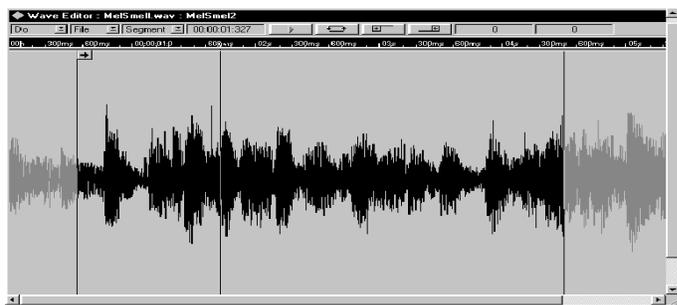
Los canales tienen las mismas funciones que en las consolas reales a diferencia que se van creando de forma dinámica según se vayan necesitando y su número máximo se ve limitado por la capacidad de procesamiento de la computadora que se está usando. Los canales tienen diferentes características que son definidas al crear cada canal.

3.1.1.1 Canal de audio

Este canal guarda cualquier fuente de sonido que pueda conectarse directamente a la entrada de sonido de la computadora, esta entrada también puede ser reasignada al canal que se desee, puede ser un micrófono, una guitarra eléctrica o similar. Por lo regular estos canales tienen el sonido de cada elemento que interviene en la mezcla de forma individual.

La mayor parte de las consolas virtuales manejan esta información con el formato estándar WAV del cual hablaremos posteriormente en la sección 4.3.1, una ventaja de esta forma de almacenamiento es que el acceso aleatorio a cualquier segmento grabado, es instantáneo a diferencia de las consolas reales que es necesario un elemento externo que permita grabar la señal auditiva que en su momento necesitan ser adelantado o atrasados como una cinta. Otra ventaja es que se puede tener la información de tal forma que se puede modificar con un editor de forma de onda para hacerle correcciones en algún segmento o insertar, cortar o agregar partes de otros canales considerando que esta edición es no destructiva, es decir en cualquier momento se puede regresar a la grabación original.

Figura 16. Editor de forma de onda



3.1.1.2 Canal de grupos

Este tipo de canal no almacena directamente sonido dentro de el como el canal de audio, en su lugar este canal recibe señal de canales de audio con la intención de agrupar estos. La salida de los canales de audio son asignadas a estos canales de grupo.

3.1.1.3 Canal Midi

MIDI es un tipo de información para control usada con sintetizadores. Por ejemplo: Su ordenador puede enviar mensajes a una impresora sobre cómo quiere que sea el aspecto de una página. La impresora entonces se ocupa de convertir esa información en una hoja de papel impresa.

Con MIDI el sintetizador trabaja como una “impresora musical”: el ordenador le envía información, especificando la nota, el volumen y la duración que sera tocada, y el sintetizador se ocupa de esta información creando el audio “real”.

Una de las ventajas de esta técnica es que una grabación hecha con cualquier instrumento que genere señales MIDI puede reproducirse con cualquier sonido simplemente cambiando los ajustes del sintetizador.

General MIDI (abreviado como GM) es una especificación adicional para instrumentos MIDI. Si un instrumento o tarjeta de sonido es compatible con General MIDI, tendrá un amplio grupo de sonidos comunes incorporados (piano, bajo, percusión, cobres, cuerdas, etc.). Si crea música con un instrumento compatible con General MIDI ésta puede reproducirse en cualquier otro instrumento GM y la música sonará igual en cuanto al instrumento asignado. Esto le permite compartir sus canciones con otros, e incluso publicar sus trabajos en un formato de datos común con poco espacio utilizado.

3.1.1.4 Canal de automatización

Estos canales permiten almacenar información sobre automatización de cada canal en la consola, si en un momento determinado por ejemplo el sonido de un canal se le agrega un poco de reverberación y luego este se elimina, en las consolas reales esto se tendría que hacer manual y se tendría que repetir el proceso cuantas veces se escuche la mezcla, se complica mas el problema en las consolas analógicas pues los parámetros de este procesamiento (como un tipo de reverberación en especial) no pueden ser almacenados como parte la mezcla, también el canal de automatización almacena información de niveles de volumen, ecualización, compresión, etc. Como parte la mezcla total de tal forma que cuando la sesión es abierta todos los parámetros involucrados son colocados como fueron grabados y modificados en un momento determinado según se programo.

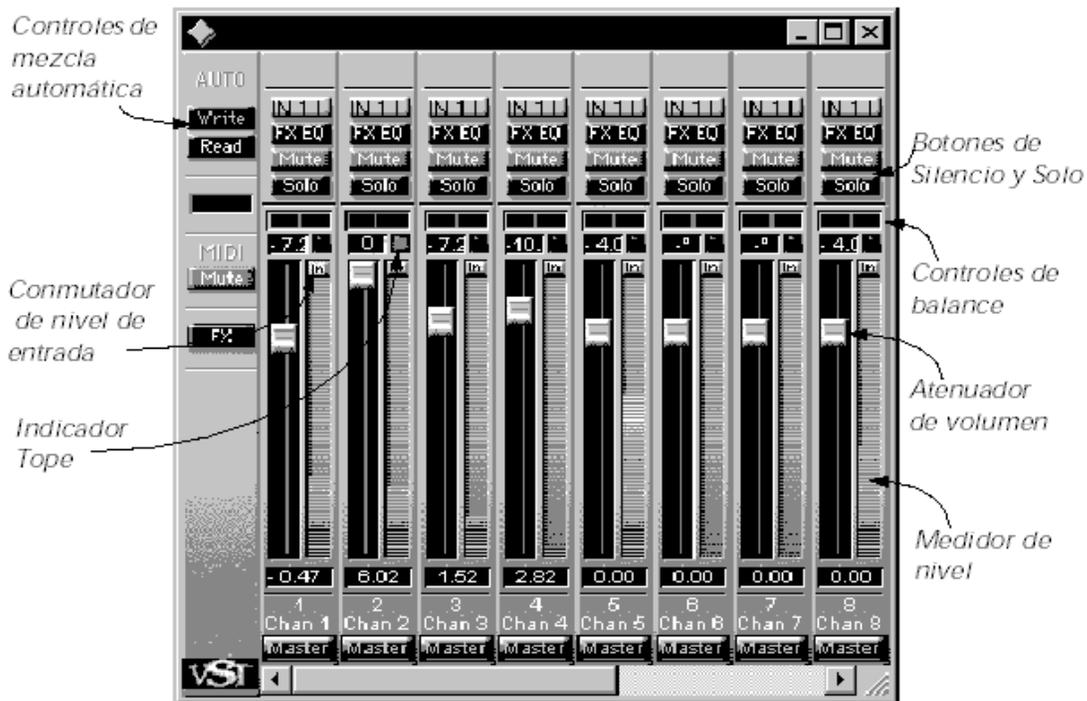
3.1.1.5 Canal de cinta

Este canal almacena datos relacionado para sincronización con dispositivos externos como DAT, ADAT, grabadores de cinta y otros.

3.1.1.6 Buses

La mayor parte de las consolas virtuales permiten la creación de hasta 32 buses para el envío de datos, que en comparación a los sistemas analógicos que manejan un estándar de 8 buses o a lo sumo 16 en las consolas mas grandes, tiene un gran impacto en el tamaño físico que debería tener una consola real, en una consola virtual el espacio físico no es problema. Las consolas virtuales permiten cualquier forma de procesamiento de señal con los buses. Además cada uno de estos buses puede ser creado y eliminado según sea necesario sin problemas de ser cableados de nuevo como en las consolas analógicas. La cantidad de estos buses se limita por el número de salidas físicas que tiene el hardware de audio instalado (tarjeta de sonido con un determinado número de salidas para audio digital o analógico).

Figura 17. Consola virtual



3.2 Procesamiento de señal

3.2.1 Balance

El balance, establece la posición estereofónica de cada canal de audio. Igual que el volumen, los valores del balance se pueden automatizar usando la función Write/Read o “Dynamic Events” (Evento Dinámico) del canal de audio. Cuando cambia el balance para un canal, se muestra el valor numéricamente (máximo para cada canal L63-R63) en la pantalla de nivel debajo del atenuador de volumen.

3.2.2 Ecuación

Las consolas virtuales cuentan con algoritmos de ecualización cuyo efecto es el mismo que el de un actualizador electrónico por canal de audio. Dependiendo de la potencia de procesamiento se pueden activar hasta 4 bandas de EQ paramétrico por cada canal.

Figura 18. Ecuación paramétrico



3.2.2.1 Ganancia (Gain)

Atenúa o aumenta el nivel alrededor de la frecuencia establecida. El rango de valor es ± 12 dB.

3.2.2.2 Frecuencia (Frequency)

Frecuencia central para la ecualización. Alrededor de esta frecuencia, el sonido aumenta o atenúa según los valores de Ganancia. El rango del parámetro de Frecuencia está de 20Hz a 20Khz.

3.2.2.3 Q

Controla en ancho de banda de la frecuencia frecuencia alrededor del valor central. Cuanto más estrecha es la banda de frecuencia, más drástico es el efecto de aumento o atenuación.

3.2.3 Ganancia

El control de ganancia no es manejado por el software de la consola virtual pues este nivel es directamente configurado por el software que controla el hardware.

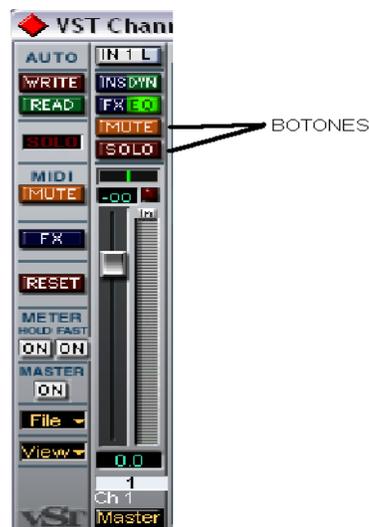
3.2.4 Mute y solo

Para cada canal de audio, hay un botón "Mute" y un "Solo" que pueden ser de gran utilidad cuando queremos escuchar con atención uno o varios canales de audio.

- Pulsando el botón Mute, silencia la salida del canal de audio.
- Pulsando el botón Solo silencia la salida de todos los canales de audio menos los que tienen solo pulsado.

Los valores Mute y Solo pueden automatizarse usando las funciones de Write/Read en la consola virtual (útil cuando en partes de la mezcla se quiere silenciar alguna pista).

Figura 19. Controles mute y solo por canal



3.2.5 Inversores de onda

Este procesamiento de señal se realiza por medio de procesamiento de algoritmos adicionales al consola virtual que pueden ser agregados según la necesidad. Los algoritmos de procesamiento adicional son fabricados muchas veces por terceros y son llamados plugins, los cuales describimos a continuación.

3.3 Procesamiento de señal (Plugins)

Las consolas virtuales ofrecen en esta parte una gran versatilidad. En una consola real todo el procesamiento de sonido se hace por medio de dispositivos físicos lo que implica que por cada proceso se necesita un dispositivo adicional, estos dispositivos en las consolas virtuales no son más que algoritmos llamados Plugins, en ambos casos puede representar una inversión pero a diferencia de los dispositivos físicos los Plugins puede usarse la cantidad de veces que se quiera en los canales que se necesite lo que representa un gran ahorro en costos y espacio además de permitir automatización en todos los parámetros de cada Plugin.

Los Plugins se conectan a una consola virtual mediante estándares de comunicación, podríamos imaginar que esta forma de comunicación es el equivalente a los cables de audio que conectan un dispositivo de procesamiento con una consola real. Los estándares de comunicación puede depender del sistema operativo que se utilice.

Tabla III: Estándar de comunicación de Plugins por sistema operativo

Estándar/OS	Linux	Os X Mac	Windows
Direct X	emulado	no	si
LADSPA	si	si	si
RTAS	no	si	si
TMD	no	si	no
VST	emulado	si	si

4 FORMATOS DE AUDIO PARA CONSOLAS VIRTUALES

4.1 Características a considerar

4.1.1 Frecuencia de muestreo

La frecuencia de muestreo garantiza que la señal auditiva sea lo más parecido a la realidad. Los sistemas de grabación profesional permiten hasta frecuencias de la tecnología actual permite grabar hasta 192 khz. Este tema fue tratado en la sección 1.2.2.3.2.

4.1.2 Resolución

La resolución es determinante para el rango dinámico de una grabación digital y la calidad del dato que se muestrea. Para una mayor explicación haga referencia a la sección 1.2.2.3.1.

4.2 Formatos de audio

4.2.1 Wav

Es un formato de audio sin compresión basado en el formato PCM, debido a que no existe pérdida en este formato es utilizado como estándar para las consolas virtuales, WAV viene de Wave, que significa "onda" en inglés.

Almacena muestras de audio digital de 8,16,20 y 24 bits, gestiona los datos en mono o en estéreo y admite varias frecuencias de muestreo: 11.025 kHz, 22.05 kHz, 44.1 kHz, 48 kHz hasta 192 kHz .

4.2.2 AIFF

Formato de sonido digital co-desarrollado por Apple Inc. Para el sistema operativo de Macintosh. Es un formato líder al igual que WAV en el campo del audio profesional debido a que almacena información sin compresión también está basado en formato PCM.

4.2.3 Otros formatos de audio auxiliares

4.2.3.1 MP3

Formato de compresión del sonido que forma parte de las especificaciones MPEG-1 y MPEG-2 (MPEG Audio Layer 3).

Se basa en la codificación perceptiva de audio. Esta técnica mantiene la máxima fidelidad respecto al sonido original (de calidad CD) alterándolo de forma casi imperceptible. Se ocultan determinados sonidos que no son perceptibles por el oído humano logrando ahorro de espacio en almacenamiento, además incorpora un algoritmo de compresión del sonido, con un ratio de compresión de 10:1 y 12:1, logrando reducir su tamaño 12 veces a partir de un CD Audio estándar. La calidad y el tamaño de estos archivos los han hecho muy aceptados. Es utilizado para la transmisión de audio por Internet y otros medio de transmisión donde el ancho de banda para transmisión es un factor crítico.

4.2.3.2 Microsoft ADPCM (WAV)

En este formato de audio es almacenado a una compresión de 4 bits por canal, cuando es cargado (Tomando más tiempo de lo usual) es ampliado a 16 bits.

4.2.3.3 IMA/DVI ADPCM (WAV)

Este formato también comprime 16 bits a 4 bits, pero más rápido que el ADPCM. Se requiere un driver de audio DVI a 4 bit para leer estos archivos. Posee características de distorsión, las cuales pueden ser mejores o peores dependiendo como se comprimió la muestra original. En este formato es mejor guardar audio a 16 bits que a 8.

4.2.3.4 Mu-Law & A-Law waveforms(WAV)

En este formato el audio de 16 bits es comprimido a 8 bits. Produce una tasa alta de relación S/N (Señal/Ruido) comparado con un PCM a 8 bits, pero con el precio de una mayor distorsión que un audio original a 16 bits. Provee mejor calidad que los formatos ADPCM a 4 bits.

4.2.3.5 Sound Blaster voice file format (VOC)

Este formato soporta archivos de 8 bits solamente; mono arriba de los 44.1 KHz, y estéreo arriba de los 22 KHz.

4.2.3.6 RealAudio 3.0 (RA)

Formato de audio progresivo a través de la red por medio de servidores y players, usando diferentes niveles de compresión y calidad propiedad de Real Networks. Es muy usado para transmisión de audio por Internet.

4.2.3.7 Au, uLaw, NeXT, SunAudio

Es un formato UNIX que se puede leer en muchas otras plataformas, usualmente a 8 bits.

4.2.3.8 8-bit signed raw format (SAM)

Los archivos con extensión SAM se asumen a 8 bits de datos firmados raw sin cabecera. La tasa de muestreo se asume a 22050 Hz. Este formato es popular por la construcción de archivos MOD, ya que el audio en los archivos MOD es firmado a 8 bits. Utilizado para sintetizadores por muestreo (sampler).

4.2.3.9 Dialogic ADPCM (VOX)

Formato de audio ADPCM con resolución a 4 bits. Optimizado para grabación de voz en dispositivos portátiles. Este formato sin cabecera, por lo que un archivo con extensión VOX sera asumido como tal.

4.2.3.10 Rae PCM Data (PCM)

El formato es simplemente el vaciado del PCM de todos los datos para la onda. No hay información de cabecera contenida en el archivo.

5 PROGRAMAS MÁS USADOS PARA CONSOLAS VITUALES

5.1 Nuendo

Nuendo es una solución completa con 200 canales de audio incluye elementos de procesamiento básico para la grabación y post-producción profesional, con corrección y la mezcla automatizada. Un suave funcionamiento sobre el trabajo le permite crear una obra maestra musical o producción de medios para video juegos nuevo, programas de televisión, o aún una serie radiofónica. Nuendo cuenta con una interfaz sencilla y amigable aunque su costo es relativamente alto.

5.1.1 Adaptabilidad del sistema

Basado en tecnología anfitrión-huésped, Nuendo puede aprovechar todos los recursos que están disponible en vez de atarse a una configuración de soporte físico en particular. Otra vez la flexibilidad de ser un sistema nativo le deja libremente escoger una computadora portátil o de escritorio dependiendo de sus necesidades. Para el soporte de dispositivos de entrada y salida de audio trabaja con Driver ASIO y WMA. Para el proceso de audio soporta PlugIns en DirectX y VST.

Nuendo trabaja con los sistemas operativos Windows y Mac OS X.

5.2 Protools

Pro Tools software soporta dos formatos propietarios de PlugIns para procesamiento de audio: TDM y RTAS. En ambos casos los PlugIns son almacenados dentro de un procesador de hardware propio del Protools, el objetivo es que todo el proceso se realice por el procesador de este hardware externo evitando que el procesador de la computadora se sobrecargue.

Como una herramienta adicional al software, Protools ha creado interfaces de comunicación al software que permiten el control de todos los parámetros, crear estas interfaces ha hecho de Protools una herramienta muy versátil convirtiéndola en un estándar de grabación profesional.

El punto en contra de este producto es que no acepta hardware que no sea Protools. Está pensando para ser un producto escalable en cierta medida más el costo es alto en caso se requiera de sus periféricos para versatilidad total con el software.

5.2.1 Adaptabilidad del sistema

Protools utiliza tecnología TMD y RTAS para el manejo de PlugIns de proceso de audio. La interfaz es sencilla y amigable. Un factor en contra es la deficiente edición MIDI. Funciona en sistemas operativos de Windows y Mac OS X. Según la licencia y versión del producto limita la cantidad de canales de audio.

5.3 Ardour

Ardour es un programa libre de código abierto con licencia GPL dirigido a músicos y técnicos de sonido a nivel profesional, con alto nivel de funcionalidad. Es altamente recomendable para quienes quieran migrar desde programas privativos como ProTools o Nuendo hacia el mundo de GNU+Linux.

Diseñado desde 1999, por Paul Davis y todo el recuso humano que desee colaborar con el proyecto pensando en realizar tareas más complejas.

La posibilidad de agregar funcionalidades por parte del usuario es un gran punto a favor pues se cuenta con el código fuente para hacerlo directamente, estas mejoras pueden ser aportadas a la comunidad para mejorar la usabilidad del software.

Los sistemas de audio profesional basados en Linux tienen un concepto de operación muy avanzado llamado JACK. La arquitectura está especialmente diseñada para sistemas configurados para baja latencia y alta demanda. Los sistemas de grabación de audio profesionales no pueden proporcionar retrasos audibles ni caídas (conocidas como xruns), se les exige que soporten operaciones sincrónicas de clientes múltiples en un entorno de baja latencia. Una de las tareas principales de JACK es la administración de flujos múltiples de datos de audio, que pasa por una variedad de aplicaciones con E/S sincronizada. De todas las arquitecturas para audio profesional esta es la mejor diseñada y mas avanzada, pues tiene código trabajado a nivel de kernel del sistema operativo, algo que en sistemas privativos no es posible.

5.3.1 Adaptabilidad del sistema

Para el procesamiento de audio por PlugIns utiliza el sistema de comunicación LADSPA y cuenta con una amplia gama los mismos de forma libre y de alta calidad no dejando nada que desear a los desarrollados de forma privativa. El hardware soportado depende de los driver creados por los fabricantes y el proyecto ALSA (Linux) encargado del desarrollo de drivers open source. En la actualidad un 95% del hardware profesional es soportado.

La interfaz es simple y amigable, con alta flexibilidad de conexión a otros programas de procesamiento debido a la arquitectura Jack. Permite utilizar periféricos externos para control de todos los parámetros (superficies de control). Automatización completa de cualquier parámetro. Número de pistas ilimitado así como frecuencias de muestreo hasta 192kHz.

El software funciona bajo el sistemas operativos Linux y Mac OS X.

CONCLUSIONES

1. Las consolas analógicas son el origen de todo proceso audiofónico, cuyo uso está seriamente limitado por costos en equipos adicionales, espacio y falta de automatización.
2. La aplicación de la teoría matemática permitió la digitalización de la señal auditiva, que a su vez, permitió cambios profundos en la forma de procesar y almacenar el audio a nivel profesional.
3. Las consolas digitales permiten automatización en la mayoría de procesos que incorpora la misma, quedando limitada por automatización en equipos externos, costos y dependencia de almacenamiento externo. A su vez éstas tienen prestaciones insustituibles para sonorización en vivo.
4. Los sistemas de almacenamiento de audio se ven directamente beneficiados con las consolas virtuales para mezcla de audio.
5. Las consolas virtuales presentan un avance en la automatización de procesos de audio (PlugIns) que en otros sistemas son externos.

6. Los PlugIns son un sistema de proceso de audio basados en algoritmos matemáticos, estableciendo la base para un sistema completamente escalable que permite reutilización, ahorro de costos y espacio.
7. La edición de audio en las consolas virtuales es no destructiva y permite el retroceso de cualquier proceso.
8. La consola virtual open source Ardour es una gran alternativa para profesionales. Permite usar una herramienta completa de este tipo sin costo.
9. La arquitectura de audio JACK que utiliza la consola virtual Ardour sobre el sistema operativo Linux es la más avanzada y flexible hasta el momento.

RECOMENDACIONES

1. Para un eficiente uso de una consola virtual durante una mezcla multipista, el uso de una superficie de control es importante, ahorra tiempo cuando se necesita mover mas de un parámetro a la vez.
2. Las consolas virtuales quedan limitadas a trabajos de estudio en producción y postproducción, el uso de las mismas para sonorización en vivo no es funcional.
3. La teoría matemática mínima para iniciarse en la grabación digital es la relacionada a los conversores en la parte de tamaño y frecuencia de la muestra.
4. Al momento de trabajar procesos dinámicos con consolas virtuales, es necesario un entrenamiento auditivo, pues es muy fácil llevar un sonido a nivel destructivo por la flexibilidad en esta tecnología.
5. El número de PlugIns en una mezcla queda limitado a la capacidad de procesamiento del CPU en el caso de los sistemas DirectX, VST y LADSPA, por lo que un equipo con procesador mayor de Intel DualCore es imprescindible en mezclas mayores de 10 pistas.

6. La tecnología LADSPA para procesamiento de audio es de buena calidad y sin costo, su uso se recomienda por tener acceso al código y poder crear variaciones del mismo.

7. El uso de Protools puede ser de importancia si se piensa en interactuar con otros estudios de grabación, debido a que sus formatos son un estándar en el medio profesional.

BIBLIOGRAFÍA

1. Bertran Albertí, Eduard. **Procesado Digital de señales - I Fundamentos para comunicaciones y control.** España: Editorial UPC, 2006. 290pp.
2. Gibson, Bill. **Sound Advice on Mixing.** Estado Unidos de América: Thomson Course Technology, 2002. 80pp.
3. Hausman, Carl y otros. **Produccion en la radio moderna.** 5ª ed. México: Editorial Cengage Learning Editores, 2001. 411pp.
4. Katz, Robert A. **Mastering Audio: The Art and the Science.** Estado Unidos de América: Focal Press, 2002. 319pp.
5. Leider, Colby. **Digital Audio Workstation: Mixing, Recording, and Mastering on Your Mac Or PC.** México: McGraw-Hill Professional, 2004. 398pp.
6. Papoulis, Athanasios. **Sistemas digitales y analogicos, transformadas de Fourier, estimacion espectral.** 2ª ed. España: Editorial Marcombo, 1985. 324pp.
7. Valenzuela, José. **Audio digital: Conceptos basicos y aplicaciones.** Estado Unidos de América: Editorial Backbeat Books, 1997. 120pp.