



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

**INFLUENCIAS Y TENDENCIAS DE LA INFORMÁTICA EN LA
MÚSICA ELECTROACÚSTICA GUATEMALTECA:
DOS MUESTRAS**

ERWIN FRANCISCO RUIZ VALLADARES
ASESORADO POR: ING. JOSE ROBERTO RAUL DE LA ROSA SÁNCHEZ

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2004

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**INFLUENCIAS Y TENDENCIAS DE LA INFORMÁTICA EN LA
MÚSICA ELECTROACÚSTICA GUATEMALTECA:
DOS MUESTRAS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ERWIN FRANCISCO RUIZ VALLADARES

ASESORADO POR: ING. JOSE ROBERTO RAÚL DE LA ROSA SÁNCHEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO EN CIENCIAS Y SISTEMAS

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2004

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
VOCAL I	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL II	Lic. Amahán Sánchez Álvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing. Jorge Luis Álvarez Mejía
EXAMINADOR	Ing. Claudia Licet Rojas Morales
EXAMINADOR	Ing. Manuel Fernando López Fernandez
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

INFLUENCIAS Y TENDENCIAS DE LA INFORMÁTICA EN LA MÚSICA ELECTROACÚSTICA GUATEMALTECA: DOS MUESTRAS

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería en Ciencias y Sistemas, con fecha enero de 2003.

Erwin Francisco Ruiz Valladares



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

Guatemala, 7 de octubre de 2004

Ingeniero
Luis Alberto Vettorazzi España
Director de la Escuela de Ingeniería
En Ciencias y Sistemas

Respetable Ingeniero Vettorazzi:

Por este medio hago de su conocimiento que he revisado el trabajo de graduación del estudiante **ERWIN FRANCISCO RUIZ VALLADARES**, titulado: **“INFLUENCIAS Y TENDENCIAS DE LA INFORMÁTICA EN LA MÚSICA ELECTROACÚSTICA GUATEMALTECA: DOS MUESTRAS”**, 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

DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTO

A DIOS,

el gran director de la orquesta de la vida.

A MIS PADRES,

por todo el amor, comprensión y esfuerzo que dedicaron para que nosotros, sus hijos, saliéramos adelante; por haberme enseñado el valor de la vida, de la preparación, de la madurez y de la justicia.

A MI ABUELITA CELSA,

que siempre existirá en la vida de todos los que aprendimos de su sencillez y sabiduría.

A MIS HERMANAS,

por todo su apoyo y paciencia en todo este trecho de vida.

A ITAKAMO,

Javier, Carlos y Néstor, mis hermanos en la música, con el deseo de que esa amistad y esos momentos de creatividad pura no se acaben nunca.

AL DR. IGOR DE GANDARIAS,

por su tiempo, su esfuerzo y su apoyo incondicional y desinteresado para la realización de este proyecto

A TODOS MIS AMIGOS A QUIENES LA MÚSICA LES DA VIDA,

con dedicación especial, por poner cada quien su aporte para que la música en Guatemala se desarrolle y se obtengan cada día mejores resultados; por permitirme compartir con ellos momentos tan llenos de magia, por compartir el talento que tienen, por las largas audiciones y los momentos de ensayos y presentaciones.

AL ING. ROBERTO DE LA ROSA,

por su ayuda y amistad desinteresada y todo el esfuerzo invertido como asesor de este trabajo.

A MI FAMILIA,

por todo el apoyo y la atenciones que tuvieron durante toda mi carrera universitaria.

A MIS AMIGOS,

de la oficina, de la universidad, del colegio y de la vida; por esas palmadas de aliento que a veces se necesitan para seguir adelante, por su paciencia y amistad

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
GLOSARIO.....	IX
OBJETIVOS.....	XI
RESUMEN.....	XIII
INTRODUCCIÓN.....	XV
1. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL SONIDO.....	1
1.1 Tono y frecuencia.....	1
1.2 Intensidad y amplitud.....	2
1.3 Formas de onda básicas y sus características.....	5
1.4 Timbre.....	9
1.4.1 Armónicas.....	9
1.5 Modulación de amplitud.....	12
1.6 Modulación de frecuencia.....	14
2. FUNDAMENTOS DE AUDIO DIGITAL.....	15
2.1 Muestreo discreto del tiempo.....	15
2.1.1 La naturaleza del muestreo.....	16
2.2 El teorema del muestreo.....	18
2.2.1 Teorema de Shannon-Nyquist.....	20
2.2.2 Ejemplificación.....	21
2.3 <i>Aliasing</i>	23
2.3.1 Sobreposición de frecuencias.....	23
2.3.2 Solución al <i>aliasing</i>	25
2.4 Cuantización.....	26
3. EL PROTOCOLO MIDI.....	31
3.1 Conceptos generales.....	31

3.1.1	Generadores y controladores.....	31
3.1.2	Orígenes	35
3.2	Implementación.....	37
3.2.1	Especificaciones	37
3.2.2	Procesadores MIDI	39
3.3	Sistemas de numeración.....	40
3.4.	La transmisión MIDI	43
3.4.1	Tipos de <i>byte</i>	43
3.4.2	Canales MIDI.....	45
3.4.3	Tipos de mensaje	46
3.5	<i>Channel messages</i>	47
3.5.1	<i>Channel voice</i>	47
3.5.1.1	<i>Note off</i> (apagar nota).....	47
3.5.1.2	<i>Note on</i> (prender nota).....	48
3.5.1.3	<i>Polyphonic aftertouch (poly pressure)</i> (presión polifónica) ...	49
3.5.1.4	<i>Control change</i>	49
3.5.1.5	<i>Program change</i>	51
3.5.1.6	<i>Aftertouch (channel pressure)</i> (presión).....	52
3.5.1.7	<i>Pitch bend</i>	52
3.6	<i>Channel mode</i>	53
3.6.1	<i>Reset all controllers</i>	53
3.6.2	<i>Local control</i>	54
3.6.3	<i>All notes off</i>	54
3.6.4	<i>Omni mode off</i>	55
3.6.5	<i>Omni mode on</i>	55
3.6.6	<i>Mono mode on (poly mode off)</i>	56
3.6.7	<i>Poly mode on (mono mode off)</i>	57
3.7	<i>System messages</i>	58
3.7.1	<i>System exclusive</i>	58

3.8	<i>System common</i>	62
3.8.1	<i>Song position pointer</i> (señalador de posición dentro de la canción) 62	
3.8.2	<i>Song select</i>	62
3.8.3	<i>Tune request</i>	63
3.8.3.1	Timing clock	63
3.8.3.2	<i>Start</i>	64
3.8.3.3	<i>Continue</i>	64
3.8.3.4	<i>Stop</i>	64
3.8.3.5	<i>Active sensing</i>	64
3.8.3.6	<i>System reset</i>	65
4.	LA MÚSICA ELECTROACÚSTICA.....	67
4.1	¿Qué es la música electroacústica?	67
4.2	Historia de la música electroacústica.....	69
4.3	La música electroacústica en Guatemala.....	70
4.3.1	Compositores de música electroacústica guatemaltecos	71
4.3.1.1	Joaquín Orellana (Guatemala)	71
4.3.1.2	Igor de Gandarias (Guatemala).....	72
4.3.1.3	David de Gandarias (Guatemala).....	73
5.	ANÁLISIS DE ELEMENTOS DIGITALES UTILIZADOS EN OBRAS ELECTROACÚSTICAS GUATEMALTECAS.....	75
5.1	Obra <i>Conquista 2</i>	75
5.1.1	Datos generales de la obra	75
5.1.2	Datos técnicos de la obra	76
5.1.2.1	Configuración MIDI.....	76
5.1.2.2	Sampler y secuenciador	76
5.1.2.3	Notación específica de la obra	78
5.1.3	Elementos musicales logrados en la obra	78
5.1.2.2	Prolongación de una nota	79

5.1.2.3	Matices.....	79
5.1.2.4	Multifonía	80
5.1.2.5	Transformación del tímbrico sonoro.....	81
5.1.2.6	Fragmentación melódica.....	81
5.1.2.7	Inflexión.....	83
5.1.3	Proceso de creación, edición y reproducción.....	83
5.2	Obra <i>La feria fantástica</i>	86
5.2.1	Datos generales de la obra	86
5.2.2	Datos técnicos de la obra.....	87
5.2.3	Estación de trabajo <i>Fairlight 3 Series</i>	87
5.2.4	Notación específica de la obra	89
5.2.3	Elementos musicales utilizados en la obra	90
5.2.3.1	Prolongación de una nota	90
5.2.3.2	Matices.....	90
5.2.3.3	Multifonía	91
5.2.3.4	Transformación del tímbrico sonoro.....	91
5.2.3.5	Inflexión.....	91
5.2.4	Proceso de creación, edición y reproducción.....	92
6.	TENDENCIAS Y NUEVAS TECNOLOGÍAS.....	95
6.1.	<i>Software</i> y <i>hardware</i> de edición digital de sonido y MIDI.....	95
6.1.1	<i>Software</i> editor de ondas.....	95
6.1.2	<i>Software</i> editor de multipistas de audio digital	100
6.1.3	Secuenciador MIDI y audio digital.....	103
6.2	Sistemas operativos	105
	CONCLUSIONES.....	107
	RECOMENDACIONES	108
	BIBLIOGRAFÍA.....	109
	ANEXO.....	112

INDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1 - Forma de onda	3
2 - Amplitud.....	5
3 - Forma diente de sierra.....	6
4 - Forma de onda triangular.....	7
5 - Forma de onda cuadrada	8
6 - Armónicas.....	10
7 - Combinación de frecuencias fundamentales y armónicas.....	11
8 - Modulación de amplitud.....	13
9 - Períodos de muestreo y amplitud	19
10 - Muestreo y reconstrucción de señal	22
11 - Aliasing	25
12 - Circuito anti- <i>aliasing</i>	26
13 - Cuantización y frecuencia de muestreo.....	28
14 - Circuito MIDI.....	38
15 - Configuración MIDI.....	76
16 – Sampler Roland S-50.....	76
17 - Secuenciador Roland MC-500.....	77
18 - Notación específica de la obra "Conquista 2"	78
19 – Matices.....	80
20 - Multifonía	81
21 - Fragmentación melódica.....	82
22 - Inflexión	83
23 - Fuentes sonoras	84

24 - Estación de trabajo <i>Fairlight</i>	87
25 - SoundForge 5.0.....	97
26 - SoundForge 5.0.....	97
27 - Wavelab 3.0	98
28 - Steinberg Clean 3.0.....	99
29 - <i>Chip</i> DSP.....	102
30 - Logic Audio.....	104
31 - Tarjeta DSP	105
32 – Especificaciones estación Fairlight	112
33 – Partitura obra <i>Conquista 2</i>	113

TABLAS

I	- Sonidos y decibeles	4
II	- Números binarios, decimales y sexagesimales	42
III	- Representación de Binarios, decimales y hexagesimales con 8 bits	43
IV	- Canales MIDI.....	45
V	- Tabla de parámetros <i>Note Off</i>	48
VI	- Parámetros <i>Note On</i>	48
VII	- Presión Polifónica.....	49
VIII	- Parámetros <i>Control Change</i>	50
IX	- Parámetros Program Change.....	51
X	- Parámetros de Presión.....	52
XI	- Parámetros del <i>Pitch Bend</i>	52
XII	- Parámetros <i>Reset All Controllers</i>	53
XIII	- Parámetros <i>Local Control</i>	54
XIV	- Parámetros All Notes Off	55
XV	- Parámetros <i>Omni Mode Off</i>	55
XVI	- Omni Mode On.....	56
XVII	- Parámetros Mono Mode On.....	56
XVIII	- <i>Poly Mode on</i>	57
XIX	- Cuatro combinaciones de <i>Poly On/Off</i> y <i>Omni On/Off</i>	57
XX	- Mensajes del <i>System Exclusive</i>	60
XXI	- Parámetros del <i>Song Position Pointer</i>	62
XXII	- Parámetros de <i>Song Select</i>	63

GLOSARIO

<i>Aliasing</i>	Error causado por la digitalización no controlada de una señal analógica, con lo cual se crean ondas fantasmas.
Audio digital	Es el resultado de la aplicación de métodos digitales en la grabación, reproducción y almacenamiento de sonido.
<i>Chip DSP</i>	Microprocesador dedicado a tratamiento de señales digitales. (<i>Digital Sound Processor</i>)
<i>Driver</i>	Manejador de software para un hardware específico, que define el protocolo de comunicación computadora- <i>hardware</i> adicional.
<i>Glissando</i>	Palabra de origen italiano que significa deslizar.
<i>Loop (ciclo)</i>	Fragmentos de audio de varios compases exactos fácilmente manipulables.
MIDI	<i>Musical Instrument Digital Interface</i> , Interface digital de instrumentos musicales.
Multifonía	Sobreposición de varios sonidos.

Música electroacústica	Música creada a partir de elementos sonoros manipulados por medios electrónicos.
Onda senoidal	Forma de onda basada en la función Seno.
Partitura	Documento que tiene como finalidad plasmar la notación musical relacionada a una obra musical determinada, para su uso y difusión.
Polifonía	Sobreposición de varios sonidos metodológicamente referentes a un estilo, a una época de composición musical.
Shareware	Software entregado gratuitamente con ciertas limitaciones básicas, que son habilitadas a la hora de adquirir una licencia para su uso.
Técnica serial	Técnica de composición moderna, que sugiere la concatenación de ideas melódicas, que surgen de una serie numérica.
Tradición popular	Referente a la cultura y el folclor guatemalteco.

OBJETIVOS

General

Constituirse como el primer trabajo de análisis técnico de obras electroacústicas compuestas por guatemaltecos, mostrando de una manera completa los elementos musicales utilizados a partir del uso de la tecnología por medio de la informática.

Específicos

1. Mostrar los elementos básicos del audio como fenómeno acústico y como fenómeno digitalizado, para brindar un entorno general para su comprensión.
2. Desplegar las bondades tecnológicas de apoyo que la informática brinda en las diferentes áreas relativas a la música, desde su composición hasta su enseñanza y su ejecución.
3. Introducir al lector hacia las nuevas tendencias en composición y expresión de ideas, en lo que a tecnología musical se refiere.
4. Enfatizar nuestra riqueza cultural como país, a partir del despliegue de elementos de las fuentes de tradición popular utilizados en las obras analizadas.
5. Reseñar de la evolución de la tecnología utilizada en música, en los últimos años.

RESUMEN

El tratamiento del sonido como fenómeno físico y como fenómeno digitalizado, y sus aplicaciones diversas en el área de la música por medio de recursos tecnológicos, fueron tratados en el presente trabajo, en los cinco capítulos que a continuación se describen.

El primer capítulo trata sobre la base del sonido, la generación de frecuencias, sus mediciones y sus características principales, tales como amplitud, intensidad, tono y frecuencia.

La digitalización del audio como fenómeno acústico, es tratada en el segundo capítulo. Se desarrolla primero el tema de la digitalización de eventos, para luego orientarse al sonido, los problemas que se genera si no son respetados ciertos teoremas de muestreo, y la demostración de soluciones a dichos inconvenientes.

El protocolo MIDI (Musical Instrument Digital Interface) es tratado con una referencia comentada en el capítulo tercero. Se anota su historia, sus implicaciones y se desarrolla con detalle cada instrucción y parámetro modificable y controlable a través de dicho protocolo, además de esquematizar y definir las principales características de la circuitería básica asociada a las interfaces fabricadas para tal fin.

En el capítulo cuatro, se presenta el tema de la música electroacústica como tal, se exponen sus características básicas y su historia a partir de la incorporación de la tecnología al entorno musical. Se presenta también a manera de información general, el desarrollo de esta rama de la música en Guatemala, así como también los datos y resúmenes de la hoja de vida de las tres personas guatemaltecas pioneras en este arte en Guatemala.

El capítulo quinto se centra en el análisis de las dos obras estudiadas técnicamente: *Conquista 2* y *La feria fantástica*. Se muestran los elementos tecnológicos utilizados y los efectos que sobre la manipulación del audio se aplican para obtener resultados como los mostrados. Enfatiza también sobre la conjunción de la mezcla del protocolo MIDI y el audio digital, a partir de la utilización del *sampler*.

Para terminar, el capítulo sexto muestra a grandes rasgos, las bondades tecnológicas con las que se cuenta actualmente en el área del audio y la música, a partir de una breve exposición de herramientas en *hardware* y *software* que son utilizadas hoy en día para la manipulación de dicha digitalización.

INTRODUCCIÓN

Conforme ha evolucionado la informática en las últimas décadas, han surgido cada vez más áreas en las que ésta puede aplicarse; ya sea para facilitar las tareas, optimizarlas, o inclusive, realizar actividades que anteriormente no era posible realizar si la ayuda de una PC.

Dentro de muchas áreas, se tiene a la música. La computadora de escritorio se ha convertido ahora en una muy buena herramienta, y en algunos casos, indispensable para el desarrollo de diferentes áreas de las que la música consta. Es oportuno mencionar dentro de éstas a la reproducción, la grabación, la edición y la composición entre otras.

La música electroacústica, llamada así porque se utilizan medios electrónicos, tanto para su composición como en su reproducción y edición, ha encontrado desarrollo en diferentes partes del mundo. Me circunscribí a mi país, Guatemala, como área de investigación en este ramo.

Para desplegar un trabajo completo, se presentará primero la información técnica concerniente a la edición de sonido y comunicación de instrumentos musicales de forma digital, para ya luego desarrollar su aplicación en la música electroacústica, a partir del análisis de la aplicación de ciertos elementos musicales y la incidencia de la aplicación de la tecnología digital sobre éstos, no sin antes mencionar su ramificación e historia en forma general, así como su desarrollo en Guatemala. Se finaliza con el análisis de *hardware* y *software* existente utilizado en la actualidad, con ventajas y características principales, sección de mucha utilidad para el músico del siglo XXI.

1. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL SONIDO

El sonido, visto desde un punto de vista físico, posee varios parámetros que, conociendo los efectos que la modificación de éstos causa, permite una manipulación más certera y genera resultados muy interesantes. A continuación se describen tales parámetros.

1.1 Tono y frecuencia

Para ejemplificar de una manera sencilla, se tomarán como elemento un altavoz o bocina, encargada de reproducir el sonido proveniente de este. Cuando la bocina se conecta y suena se presentan ciertos cambios físicos. Por ejemplo, cuando la bocina no recibe voltaje alguno, el cono de ésta se encuentra en posición neutral. Cuando se aplica un voltaje positivo, el cono es empujado hacia fuera, y luego, cuando el voltaje positivo se decremента, el cono retorna hacia su posición original. Luego, tanto voltaje negativo se aplique a la bocina, tanto así el cono es empujado hacia dentro, punto contrario al voltaje positivo.

Cada vez que el cono de la bocina es movido por corriente alterna (positiva, regresa a neutral, negativa y de nuevo a posición neutral) masas de aire u ondas de presión se mueven hacia nuestros oídos, produciendo cierto tono. Luego, si la bocina se mueve así 440 veces en un segundo, estará emitiendo una nota LA, muy utilizada para la correcta afinación de muchos instrumentos musicales.

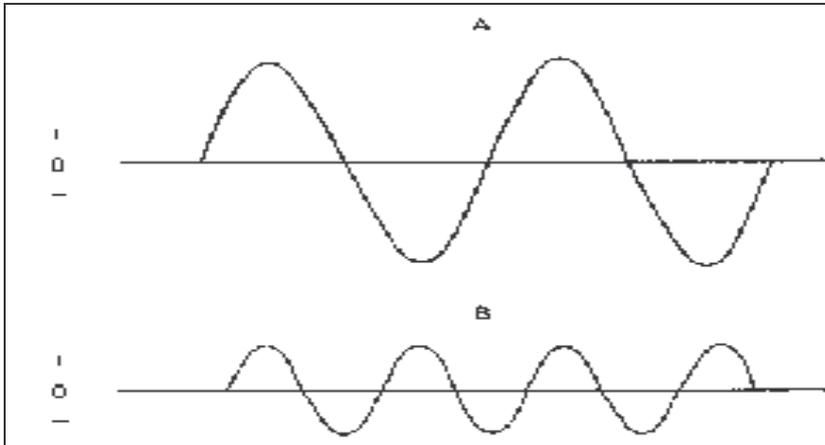
Y si el cono se mueve adelante y atrás a una tasa de 256 veces por segundo, se percibirá el tono del DO central. Cada conjunto de movimientos de este cono causados por la aplicación de un voltaje positivo, seguido de un voltaje negativo, es conocido con el término *Hertz*, o en su abreviatura *Hz*, con lo cual se tiene que 440 *Hz* es lo mismo que 440 ciclos por segundo.

Visto lo anterior, se encuentra entonces la relación entre el tono y la frecuencia. En música, se utiliza el término *tono* para indicar una frecuencia de sonido determinada. Los sonidos que están compuestos por muchos ciclos por segundos, o *Hertz*, van a ser reconocidos por las personas como sonidos agudos o altos, mientras los sonidos compuestos por una cantidad baja de *Hertz*, serán por lo tanto bajos o graves.

1.2. Intensidad y amplitud

Continuando con el ejemplo de la bocina, se define básicamente la intensidad del sonido en función a cuán lejos el cono se desplace, ya sea hacia delante o hacia atrás. Se tiene por lo tanto, que si el cono de la bocina es desplazado 2 centímetros en cada dirección a partir de su posición neutral 256 veces en un segundo, el oído percibirá un DO central, con cierta intensidad. Pero si el cono de la bocina es desplazado 4 centímetros de su posición neutral, en la frecuencia arriba mencionada, se percibirá el mismo tono a un volumen más alto, o, en términos de sonido, a una mayor *amplitud*. Es oportuno hacer notar que la amplitud tiene ciertos efectos en la percepción del tono en todas las frecuencias arriba de los 1000 Hz y también en las frecuencias cercanas a los 4000 Hz.

Figura 1 - Forma de onda



Fuente: Allen Strange. Electronic Music. Pag. 2

Las dos características mencionadas, amplitud y frecuencia, son representadas gráficamente en la figura 1. La línea de voltaje cero representa al cono de la bocina en su posición neutral. El movimiento horizontal representa el paso del tiempo, y la línea curva dibujada sobre este eje representa el movimiento hacia atrás y adelante del cono de la bocina, o el voltaje positivo y negativo aplicado. En relación con el tiempo cada ciclo toma representación de frecuencia o tono. La altura de cada ciclo proporciona información sobre la amplitud o volumen. La onda representada con la letra A, comparándola con la representada por la onda B, muestra una frecuencia más baja aunada a una mayor amplitud, mientras que la onda B presenta una amplitud baja y una frecuencia mayor.

Dado que el volumen es un fenómeno muy subjetivo, los acústicos e ingenieros decidieron una forma de medida más objetiva. La unidad de medida que indica la fuerza de un sonido es conocida como *decibel (dB)*. Surgió en las épocas del nacimiento de la transmisión telefónica por cable, en donde existía una unidad de medida llamada “millas de pérdida”, que se refería al monto de la pérdida de intensidad por la resistencia del medio de transmisión.

Tiempo después, este ambiguo término fue reemplazado por un cociente logarítmico llamado “unidad de transmisión”, y luego su nombre fue cambiado a “bel”, en honor de Alexander Graham Bell. Como fin práctico, 1/10 de bel, el decibel, fue establecido como la unidad estándar de medida de amplitud. Esto por lo tanto, diferencia la intensidad entre dos sonidos.

El cociente logarítmico es representado entonces por la razón:

$$dB = 10 \log \frac{I}{10^{-16}} \text{ watts / cm}^2$$

Siendo I la intensidad por ser comparada. La razón de esta escala logarítmica con base 10 es la tremenda sensibilidad del oído humano, que distingue cambios de presión en una escala de 1,000,000,000,000 a 1. Un sonido de 1 dB es casi inaudible y una diferencia de 1 dB es vagamente notada.

Para dar una idea de la percepción promedio de amplitud en diferentes ambientes, medidos en decibeles, se presenta la Tabla 1.

Tabla I - Sonidos y decibeles

MEDIDA EN DECIBELES	Ejemplo
120dB	Umbral del dolor
90dB	Tráfico ruidoso
75dB	Vientos de una orquesta en <i>ff</i>
60dB	Cuerdas y maderas de una orquesta tocando <i>ff</i>
45dB	Conversación normal a 10 pies
30dB	Tráfico normal de calle, área residencial
10dB	Susurro normal a 10 pies

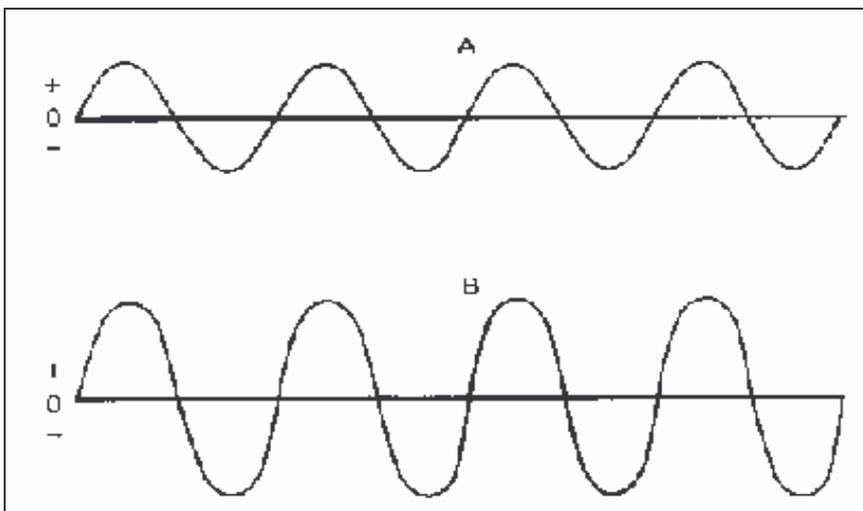
Fuente: Traducción, Allen Strange. Electronic Music. Pag. 51.

1.3. Formas de onda básicas y sus características

Si se piensa en formas de onda como la representación gráfica del ascenso y caída de voltaje desde cero hasta lo máximo posible y/o negativo, es posible identificar varios tipos de sonidos gráficamente.

El tipo de sonido menos complejo es la onda senoidal. Esta forma idealmente no contiene sobretonos. El sonido más cercano a este tipo de onda en una orquesta sinfónica es el de una flauta. Como se observa en la figura 2, el voltaje está en una forma particular de movimiento. Empezando en cero, crece gradualmente hasta el máximo positivo, para luego decaer al máximo negativo, regresando luego a la posición original. Es importante hacer notar que una onda senoidal exhibe siempre el mismo patrón básico, no importando que frecuencia o que amplitud es aplicada.

Figura 2 - Amplitud

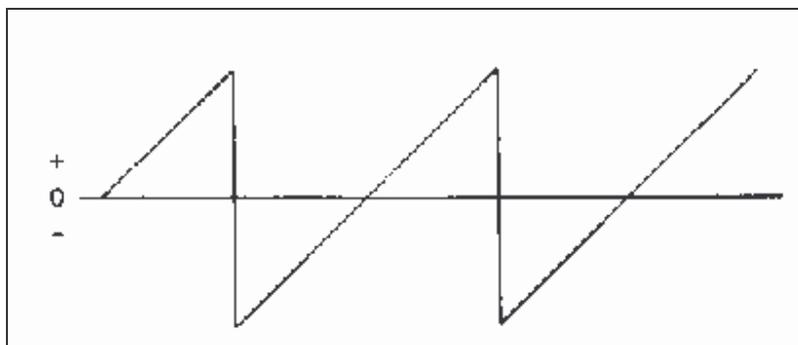


Fuente: Allen Strange. Electronic Music. Pag. 3

La parte A de la figura 2 muestra una onda senoidal con cierta frecuencia y amplitud, mientras que la parte B de la figura 2 muestra esta misma onda con idéntica frecuencia pero con una mayor amplitud.

Contraria a la onda senoidal en características, se tiene al tipo de onda conocido como “diente de sierra”, representada en la figura 3. Esta, a diferencia de la onda senoidal pura, contiene todos los sobretonos armónicos de la frecuencia fundamental. (Los armónicos serán desarrollados con detalle en el punto siguiente de este capítulo). Estos armónicos tienen amplitudes relativas que decrecen de forma exponencial tanto más alto estos existan en las series armónicas.

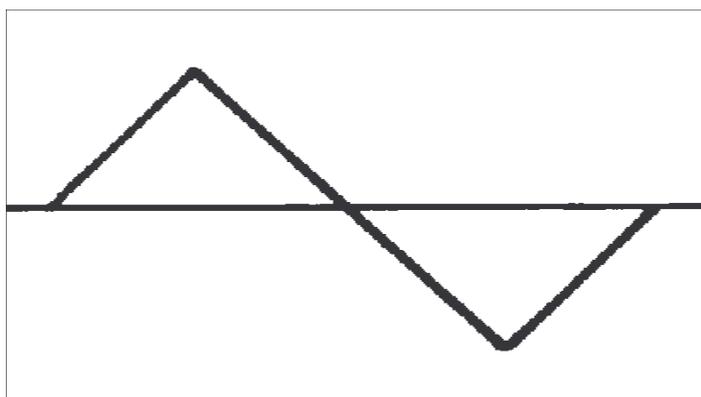
Figura 3 - Forma diente de sierra



Fuente: Allen Strange. Electronic Music. Pag. 3

El sonido de una onda tipo “diente de sierra” es muy brillante y penetrante, muy parecido al sonido que produce el oboe, perteneciente a las maderas en una orquesta sinfónica.

Figura 4 - Forma de onda triangular



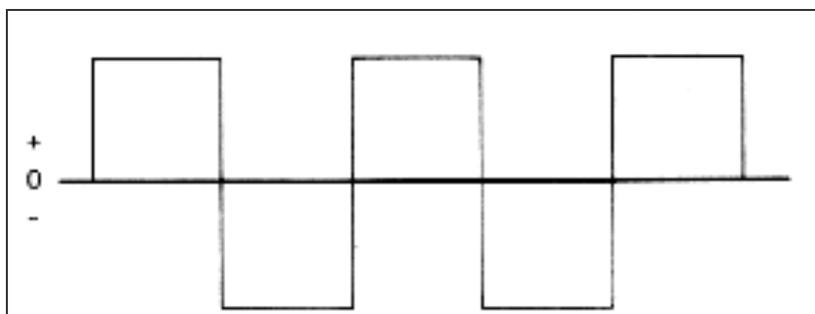
Fuente: Allen Strange. Electronic Music. Pag. 3

La tercera forma de onda básica es la onda triangular, representada en la figura 4. Esta forma de onda consiste en una frecuencia fundamental y todas sus armónicas impares, con un índice de declive de $1/9$, $1/25$, $1/49$, etc.

Es posible construir una onda triangular con muchas ondas senoidales combinadas, utilizando una técnica conocida como "síntesis aditiva". Comenzando con una frecuencia fundamental de 65 Hz , equivalente al Do, con una amplitud hipotética de x , una segunda onda senoidal con una frecuencia de 195 Hz , equivalente a 3 veces 65 , para el segundo sobretono, es sumada, pero con una amplitud de $1/9$ de x . Luego se suma una tercera onda senoidal con una frecuencia de 5 veces la fundamental (325 Hz) y con una amplitud de $1/25$ de x . Este proceso se continúa hasta que estén presentes todos los armónicos necesarios con sus respectivas amplitudes correctas. Si son analizadas las amplitudes de los armónicos y sus cocientes, es fácil comprender como el contenido harmónico de una onda dada, es altamente dependiente de la amplitud de la onda fundamental.

Una forma de onda que es muy utilizada por compositores es la onda de pulso o rectangular. Como se muestra en la figura 5, los voltajes positivos y negativos de una onda de pulso no se encuentran nunca en un estado transitorio.

Figura 5 - Forma de onda cuadrada



Fuente: Allen Strange. Electronic Music. Pag. 4

En la figura 5 se muestra un tipo particular de forma de onda, conocido como onda cuadrada. Se relaciona con una onda cuadrada en el hecho de que también contiene armónicos impares. Las amplitudes relativas de una onda cuadrada son $1/3$, $1/5$, $1/7$, $1/9$, etc. Un clarinete produce un sonido muy cercano al de una onda cuadrada.

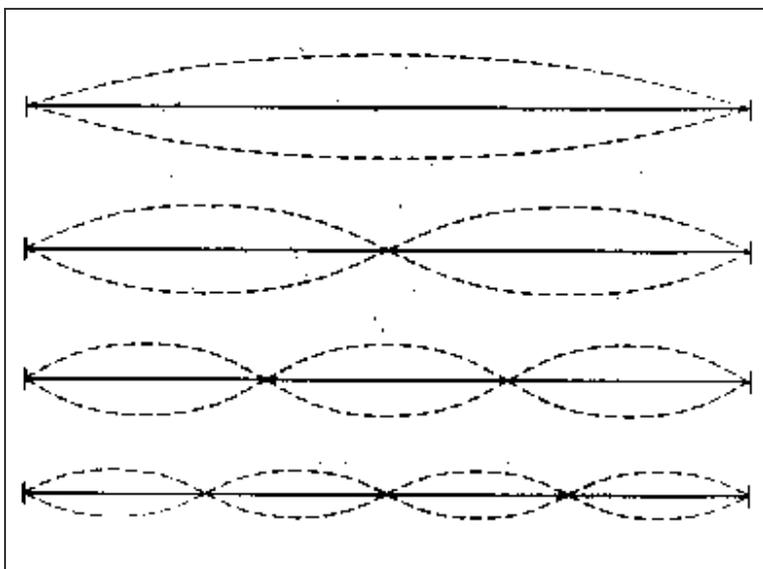
1.4 Timbre

Cuando se escucha la misma nota tocada en un trombón y una guitarra, se sabe y reconoce de forma inmediata cual es cual; y es un hecho que la mayoría de las personas, en una prueba con ojos vendados, no tendrían problema en distinguir una misma nota sostenida en un oboe, un saxofón, una flauta, una trompeta o un violonchelo. Aún cuando el tono y la intensidad sean las idénticas en cada instrumento, cada instrumento tiene un *timbre* o color tónico distintivo. El timbre se refiere a la cualidad del sonido que lo hace único de otros con la misma intensidad y tono.

1.4.1 Armónicas

Una cuerda, por ejemplo, vibrando como una unidad, produce una onda con cierta frecuencia, y es conocida como la fundamental. Esta frecuencia fundamental en la mayoría de los casos establece la nota musical que está siendo tocada; pero cuando la cuerda está vibrando como una unidad, está vibrando también en segmentos más pequeños que son la mitad, un tercio, un cuarto, un quinto, etc., del total de la longitud de la cuerda, como se muestra en la figura 6. Estos pequeños segmentos producen frecuencias, llamadas *armónicas* o *parciales*, que son numéricamente múltiplos de la frecuencia fundamental. Una vibración proveniente de una columna de aire trabaja de la misma manera.

Figura 6 - Armónicas



Fuente: David Rubin. Desktop Musician. Pag. 19.

La fundamental es el primer armónico. El segundo armónico es el doble de la frecuencia de la fundamental. El tercer armónico es tres veces la frecuencia de la fundamental, y así sucesivamente. Los armónicos que aparecen por encima de la fundamental, son también conocidos como sobretonos.

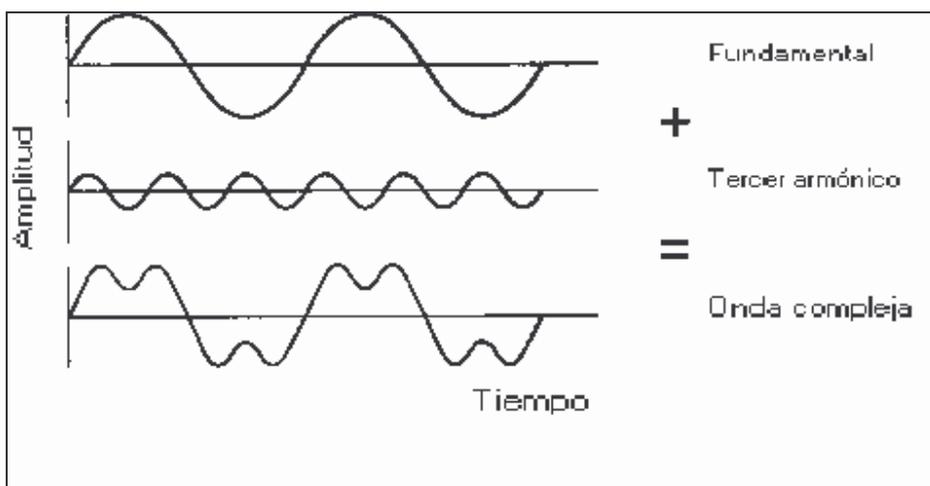
Este patrón de armónicos, que comienzan con la fundamental y continúa hacia arriba, es conocido como la serie natural de armónicos. En teoría las series de armónicos pueden extenderse hacia el infinito, aunque como se ha dicho anteriormente, sus amplitudes también van disminuyendo, y tienden a cero.

Diferentes instrumentos musicales propician diferente número de series de armónicos, y algunos de éstos pueden ser perdidos completamente. De hecho, la particular combinación de diferentes armónicos y su relativo volumen o amplitud, da a los instrumentos musicales sus características de color de tono. Por lo cual, el timbre es el resultado de un único contenido armónico producido por cada instrumento produce.

Cuando se mira una forma de onda de un tono musical, raramente esta se verá como una onda senoidal pura. En cambio, tendrá numerosas arrugas, picos y valles. Eso es porque la fundamental, que es representada como una forma de onda simple, es alterada por la adición de frecuencias más altas.

Si se toman todas las amplitudes instantáneas leídas de una onda senoidal a cierta frecuencia, se terminará con una forma de onda nueva que representará la combinación de estas frecuencias, como se muestra en la figura 7.

Figura 7 - Combinación de frecuencias fundamentales y armónicas



Fuente: David Rubin. Desktop Musician. Pag. 20.

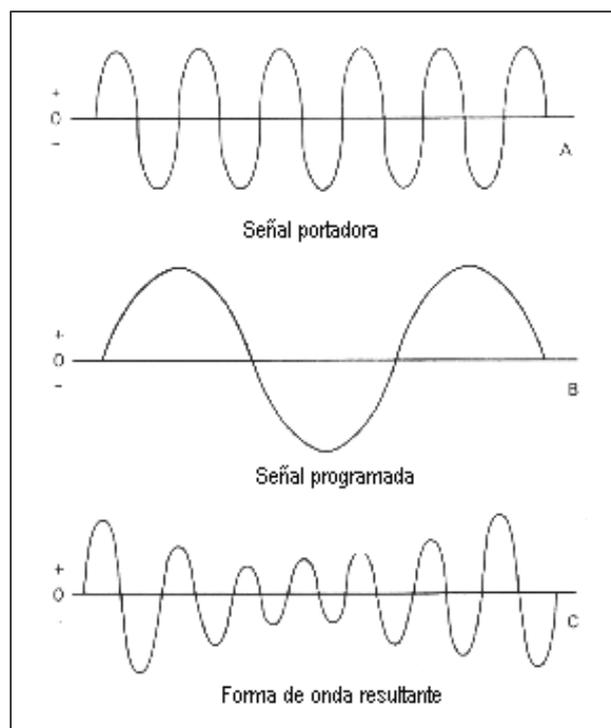
1.5 Modulación de amplitud

Gracias a los diversos avances tecnológicos, la modificación de los parámetros antes mencionados, se ha hecho relativamente sencilla. El problema de producir cambios precisos en amplitud, frecuencia, locación del sonido, timbre, etc., se ha reducido a la simple tarea de generar voltajes.

La amplitud de un sonido puede ser expeditamente controlada a través de un amplificador, de la misma manera en la que se controla el volumen de un radio con su propio control de volumen, siempre que no requieran cambios extremadamente rápidos en la amplitud; pero si un cambio de $35dB$ es necesario 550 veces cada segundo, el control manual se torna imposible. Sin embargo, la variación de voltaje en los sistemas de música electrónica actuales es suficientemente condescendiente como para permitir estos cambios tan extremos y rápidos. Si se genera una frecuencia de 550 Hz, por ejemplo, y aplicando ésta al control de volumen del amplificador, permitiría un cambio rápido de amplitud. Lo anterior se muestra entonces como *modulación de amplitud*.

Se tiene, en primer lugar, una onda portadora que se muestra en la parte A de la figura 8, la cual es una forma de onda constante. En la sección B se tiene a una forma de onda con señal programada. Contraria a la señal constante, la obliga a cambiar, pero mientras ésta cambia en proporción directa a su misma amplitud y la amplitud de la señal programada, conserva su frecuencia original, dándose por lo tanto una salida que varía en amplitud en relación directa a la frecuencia de la señal programada, tal como se muestra en la sección C de la misma figura, que se ilustra a continuación.

Figura 8 - Modulación de amplitud



Fuente: Allen Strange. Electronic Music. Pag. 9

La frecuencia de la señal programada definirá la velocidad o tasa de la modulación de amplitud, mientras que la amplitud de ésta delimitará el monto o pico de la modulación. Si una señal programada tiene una amplitud muy baja, la amplitud de la portadora no será desplazada en gran proporción. Cuan grande sea la amplitud de la señal programada, así será la variación de la señal portadora.

1.6 Modulación de frecuencia

A través de la historia de la música, hasta nuestros días, el compositor ha estado referido primariamente al cambio de tono o, en términos electrónicos, a la modulación de la frecuencia. Como su nombre lo implica, es el control de la frecuencia de un sonido. Cuando un cantante o un instrumentista utilizan *vibrato*, realmente está modificando la frecuencia del sonido a una tasa de alrededor 6 o 7 veces por cada segundo o, en otros términos, está modulando la frecuencia a 6 o 7 *Hz*. Si el músico incrementa la tasa a 13 ó 14 *Hz*, empezará a producir un *trino*. Realmente, por definición la modulación de la frecuencia puede ser aplicada a cualquier tipo de cambio en la frecuencia. Incluso métodos convencionales tales como ejecutar una escala o un arpeggio, puede ser considerada una manera de modulación de frecuencia. Pero en aplicaciones de música electrónica, el término usualmente se refiere a un tipo especial de interacción de formas de onda para producir varios cambios en timbre.

Tal como en la modulación de amplitud, la modulación de frecuencia (FM) está orientada a controlar un parámetro, en este caso la frecuencia, de una señal portadora con la frecuencia y amplitud de una señal programada, como se muestra en la figura 9. Como la frecuencia de la señal programada se aproxima al rango de audio, el producto modulado, como sucede con la modulación de amplitud, comienza a exhibir características de ambas.

2. FUNDAMENTOS DE AUDIO DIGITAL

El uso de métodos digitales para la grabación, reproducción y almacenamiento de audio digital muchos conceptos ajenos a los métodos de audio analógicos. Partiendo de que el audio es analógico por naturaleza, los sistemas digitales emplean muestreo y cuantización, los pilares gemelos de la digitalización del audio, para transformar la información. Precauciones especiales deben tomarse para combatir los dos tipos fundamentales de distorsión: una condición de frecuencias erróneas conocido como “aliasing”, y el error resultante de la cuantización de la forma de onda análoga.

2.1 Muestreo discreto del tiempo

La primera pregunta que se enfrenta es como escoger los números que van a representar el audio digital. En otras palabras, ¿cómo va a grabarse un punto específico de una onda cambiante en el tiempo? La digitalización emplea muestreo de tiempo y cuantización de amplitud para codificar la infinitamente variable forma de onda análoga como valores discretos en tiempo y amplitud.

2.1.1 La naturaleza del muestreo

Se utilizará un reloj analógico o de agujas, para ilustrar como el muestreo diferencia un sistema musical analógico y uno digital. El tiempo parece un flujo continuo. Las agujas de un reloj analógico muestra el tiempo correr moviéndose todo “el tiempo” que este pasa. Un reloj digital también muestra el tiempo, pero muestra un valor discretizado, un valor instantáneo. En otras palabras, muestra un valor muestreado. Es lo mismo con la música. La música varía continuamente en el tiempo y debe ser grabada y reproducida de la misma forma en una manera analógica continua, o de una manera muestreada en el tiempo digitalmente. El muestreo en el tiempo es el mecanismo esencial que define los sistemas de audio digital, permite una conversión analógica-digital, y lo diferencia de los sistemas analógicos.

Pero, luego, una pregunta obvia surge por si misma: Si un sistema digital hace un muestreo discretamente, ¿qué sucede entre muestreo y muestreo? ¿Se habrá perdido la información ocuriente entre cada muestra? La respuesta, intuitivamente sorprendente, es no. Dadas las condiciones correctas, ninguna información es perdida debido al muestreo entre la entrada y la salida de sistema de digitalización de audio. El muestreo contiene la misma cantidad de información que la señal no muestreada. Se muestra con un ejemplo sencillo. Si se supone que un paseo en automóvil por un sendero con una carretera en aceptables condiciones es filmado con una cámara casera se tiene resultados interesantes.

El primero, que al observarlo luego en una televisión, veremos un flujo de imágenes discretas que reproducen el paseo de una manera bastante aceptable. Pero cuando se circuló sobre alguna irregularidad en el asfalto, la filmación tuvo un sobresalto no manejado.

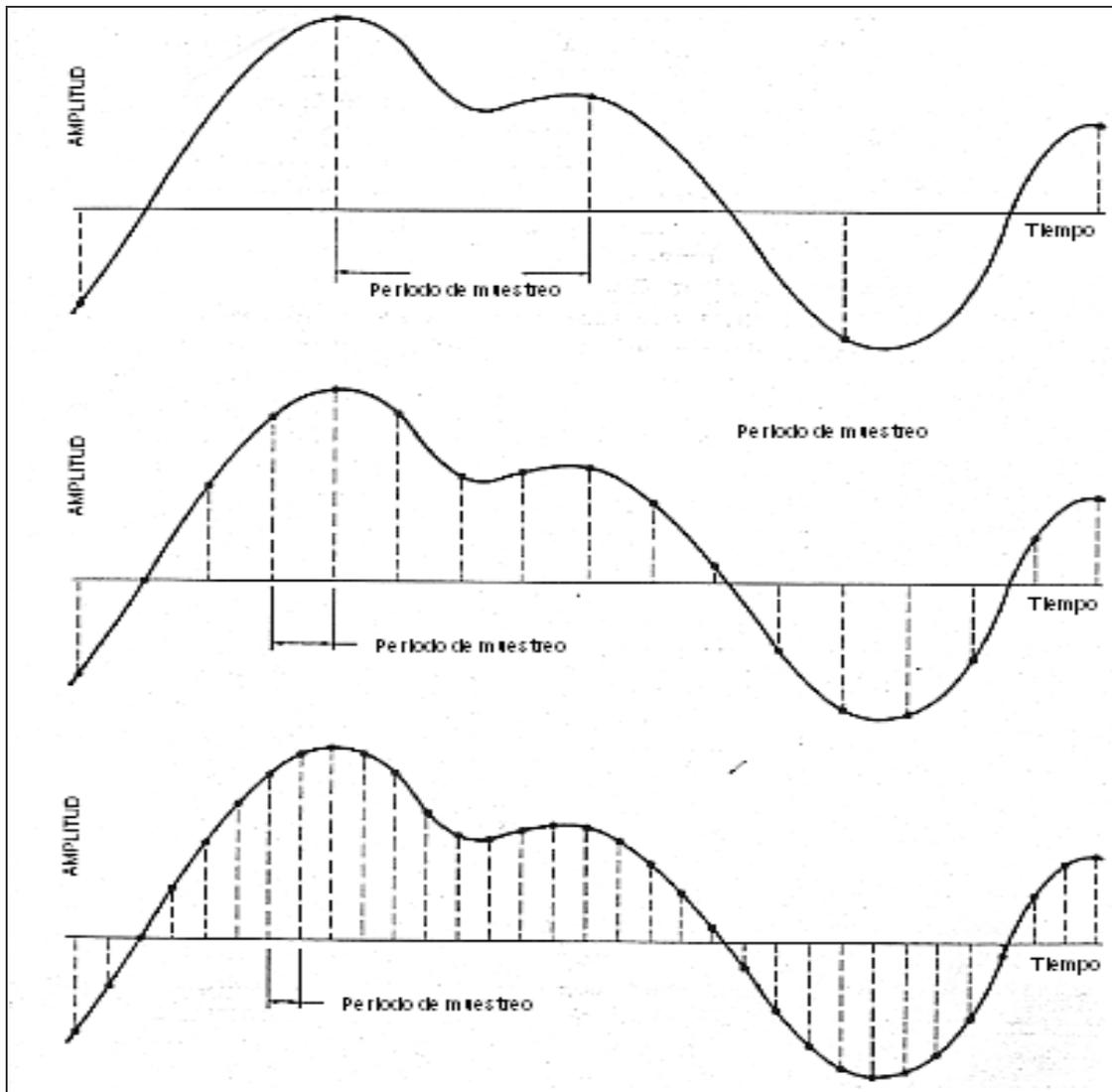
Se intuye por lo tanto que movimientos demasiado rápidos, como ese, son demasiados rápidos por cada cuadro para capturar el cambio; y se llega a la siguiente conclusión: si se incrementa la tasa de refrescamiento de grabación de cuadros de imagen, entonces se podrán grabar movimientos tan rápidos como el haber pasado sobre la irregularidad en la carretera. Si la filmación se hubiera realizado a la misma o menor tasa de refrescamiento de imagen en una carretera en perfectas condiciones, no existieran tampoco movimientos y sobresaltos bruscos. Por lo anterior se concluye en que circulamos en una carretera en condiciones razonables, grabamos a una tasa ajustada para obtener una imagen clara.

Existe una diferencia conceptual entre sistemas de audio y de video con relación a lo anterior. Así como información no importante se pierde entre cuadro y cuadro de una filmación de calidad promedio, nada se pierde entre muestreo y muestreo de una grabación digital. Como se descubre anteriormente, el proceso de muestreo representa una pérdida mínima si la señal está apropiadamente condicionada. Se debe filtrar la señal entrante a través de un filtro pasa-bajos: esto significa, que las frecuencias demasiado altas para ser muestreadas son removidas. Por lo tanto, se diseña para que el umbral de estas frecuencias sean aquellas que se encuentran el límite del sentido de audición humano.

2.2 El teorema del muestreo

El sistema de muestreo ya descrito muestra únicamente valores instantáneos de la señal de audio recibida. Si embargo, es matemáticamente demostrable que la señal muestreada y filtrada aún contiene la misma cantidad de información que la señal origen. Es posible reconstruir todos los valores que intervienen si error y recrear la forma de onda original. Considerando la figura 9, en la página 19 . El cambio continuo en la forma ha sido muestreado para crear una serie de pulsos. La amplitud de cada pulso, cuando es elegido de la escala vertical, arroja un número que representa la amplitud análoga de ese instante específico. Para cuantificar la situación, se define la frecuencia de muestreo como el número de muestreos por segundo. Su recíproca, la tasa de muestreo, es el tiempo entre cada toma. Por ejemplo, una frecuencia de muestreo de 40,000 tomas / segundo corresponde a una tasa de 1/40,0000 segundo. La opción de elegir una frecuencia de muestreo es uno de los más importantes criterios de diseño a tomar para un sistema de digitalización, ya que este determinará el ancho de banda del sistema. Luego, la pregunta se presenta: ¿qué frecuencia de muestreo se necesita para representar de manera exacta una forma de onda dada? La respuesta la da el teorema de Shannon y Nyquist, que a continuación se describe.

Figura 9 - Períodos de muestreo y amplitud



Fuente: Fundamentals of Digital Audio, pag. 43

2.2.1 Teorema de Shannon-Nyquist

El teorema de Shannon-Nyquist establece que si una señal $V(t)$ no contiene frecuencias más altas que $f_s/2$ (donde $f_s = 1/T_s$ que es el período), estas pueden ser totalmente recuperadas a partir de los valores muestreados $V(nT_s)$ en tiempos discretos $t_n = nT_s$ donde $n = \dots -1, 0, 1, 2, 3\dots$

$$V(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} V(n \cdot T_s) \frac{\sin [\pi \cdot f_s (t - n \cdot T_s)]}{\pi \cdot f_s \cdot (t - n \cdot T_s)}$$

Donde:

$f_s = 1/T_s$, la frecuencia de muestreo

$V(t)$ = valor instantáneo de la señal a un tiempo arbitrario t

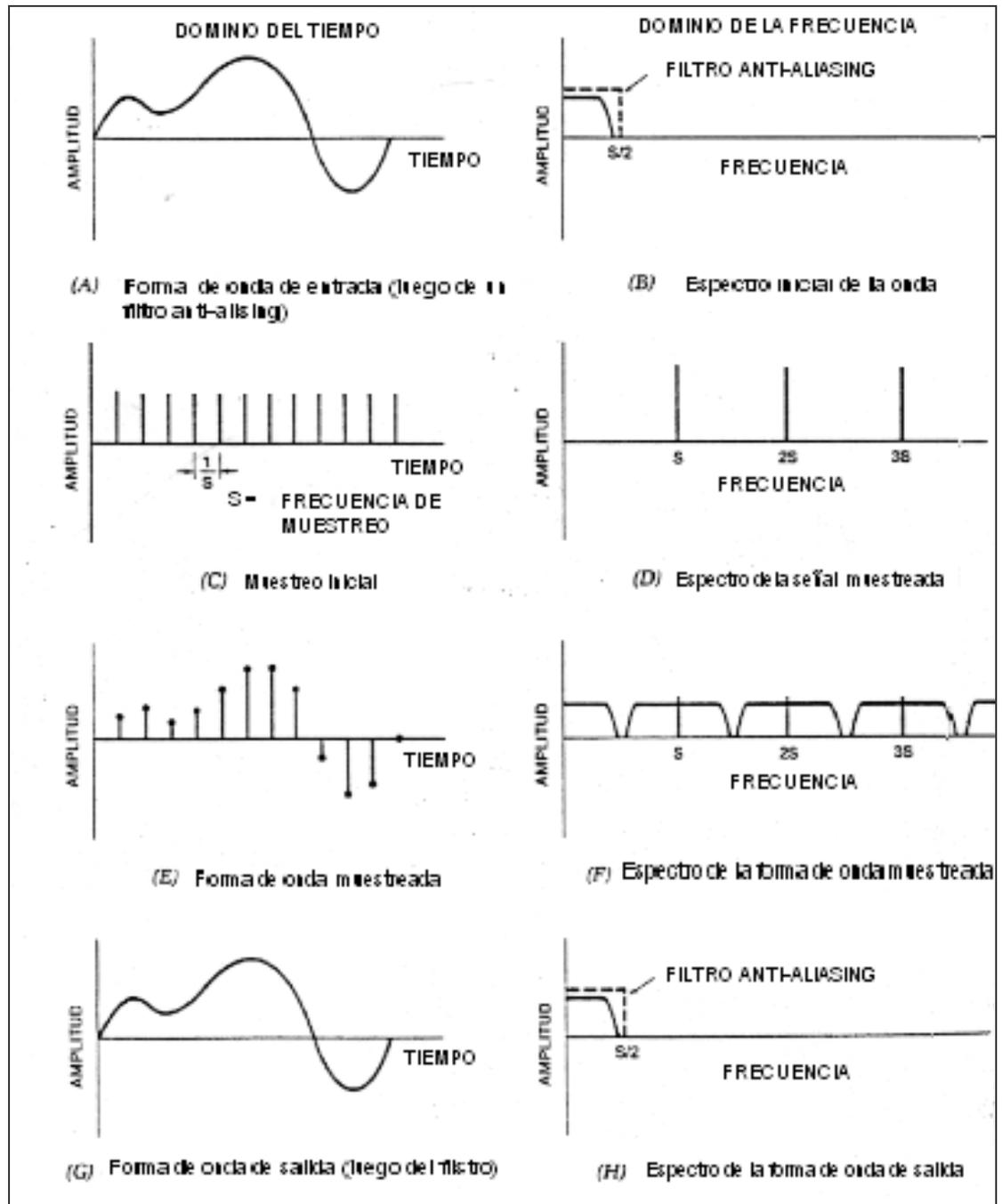
La señal recobrada de esta conversión contendrá entonces todas las frecuencias en el rango de 0 a $f_s/2$ Hz. Por lo tanto, se debe de muestrear a una frecuencia tal que represente el doble de la más alta frecuencia de dicha onda para lograr una representación con la menor pérdida posible. Por ejemplo, una señal de audio con una respuesta de frecuencia con rango 0-20 kHz requerirá teóricamente de una frecuencia de muestreo de 40 kHz para una codificación digital apropiada.

Es crucial el hecho de limitar la señal de entrada a una frecuencia no mayor de la mitad de la frecuencia de muestreo (llamado a veces “frecuencia de Shannon-Nyquist”), ya que una frecuencia demasiado alta causaría distorsión. Por lo regular, se coloca un filtro pasa-bajos en la señal de entrada para evitar lo anterior y un pasa-bajos en la salida para sobreponerse a las frecuencias altas creadas internamente en el sistema, además de suavizar el “efecto escalera” en la forma de onda reconstruida, como se muestra en la figura.

2.2.2 Ejemplificación

El proceso completo de muestreo y posterior reconstrucción de señal original se ilustra en la figura 10 que se muestra a continuación. Las señales implicadas en el muestreo se muestran en los distintos pasos. Mas así, la mitad izquierda de la figura muestra las señales en el dominio del tiempo y la mitad derecha con el dominio de la frecuencia. En otras palabras, es posible observar la amplitud de la señal relativa con el tiempo así como también la respuesta de frecuencia. Se observa en la parte A y en la parte B de la misma figura que la señal de entrada de audio debe ser limitada en su banda de frecuencias a la mitad de la frecuencia muestreada, usando un filtro “anti-aliasing”, evitando así las consecuencias mencionadas.

Figura 10 - Muestreo y reconstrucción de señal



Fuente: Fundamentals of Digital Audio, pag 48

2.3 *Aliasing*

Un reto particular para el diseñador de un sistema de digitalización de audio es el *aliasing*, un tipo de confusión en el muestreo, que toma lugar en lado de la grabación, refiriéndose a la cadena de audio en sí. Así como un criminal puede confundir con cambio de identidades a partir de varios nombres, el *aliasing* puede crear interpretaciones falsas de la señal entrante.

2.3.1 Sobreposición de frecuencias

Se ha demostrado que el muestreo es un proceso de pérdidas mínimas bajo ciertas condiciones. La condición más importante es que la señal entrante debe ser limitada con respecto a su banda; es decir, debe ser pasada por un filtro pasa-bajos antes de ingresar al circuito de muestreo. Considere un experimento conceptual, un evento que una persona promedio ha observado alguna vez. Se ha visto en televisión una filmación de un automóvil circulando, y mientras el auto acelera, las ruedas o aros, rotan hacia delante. Pero llega cierto momento al acelerar en el cual las ruedas parecieran quedar en una misma posición, y luego de esto rotan hacia atrás, luego se detienen y vuelven a girar hacia delante de nuevo... este es un clásico ejemplo de *aliasing*.

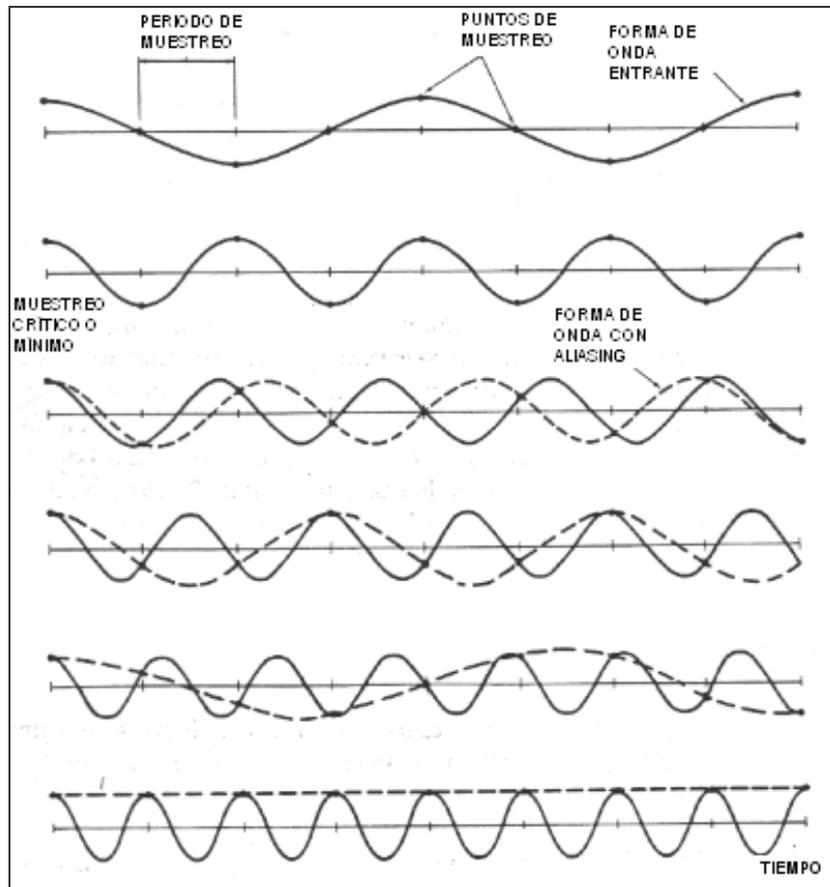
El *aliasing* es una consecuencia de condiciones no permitidas en la teoría del muestreo. Nyquist ha demostrado que la salida de frecuencia de una sistema puede ser igual o menor que la mitad de la frecuencia de muestreo. Si la señal de entrada contiene frecuencias más grandes que la mitad de frecuencia de muestreo, el *aliasing* ocurrirá inevitablemente. Mientras la frecuencia se vuelva mayor y más grande, el número de puntos de muestreo por ciclo se hará cada vez más pequeño, como se muestra en la figura 11.

Cuando la mitad de la frecuencia de muestreo es alcanzada, solamente existen dos muestreos por ciclo, el mínimo absoluto necesitado para grabar la naturaleza bipolar de una forma de onda. Si se trata muestrear frecuencias incluso más grandes, el sistema de muestreo continuará produciendo a una tasa ajustada, pero la amplitud variante de las muestras de las frecuencias de audio crearán información falsa de las nuevas frecuencias. Mientras las frecuencias desviadas se vuelven más y más altas, nuevas frecuencias descendentes son creadas. Es más específico: si S es la frecuencia de muestreo, F es una frecuencia mayor que la mitad de la frecuencia de muestreo, y N es un entero, luego una nueva frecuencia muestreada F_a es creada como

$$F_a = \pm NS \pm F$$

En otras palabras, las frecuencias “alias” aparecen atrás en la banda de audio (y sus imágenes), posicionándose sobre la frecuencia de muestreo, y de hecho por eso son llamadas frecuencias sobrepuestas.

Figura 11 - Aliasing



Fuente: Fundamentals of Digital Audio, pag 50

2.3.2 Solución al *aliasing*

Así como en la práctica tan malo el *aliasing* puede ser, no es un problema demasiado serio. En un circuito bien diseñado para un sistema de grabación de audio digital, el *aliasing* es contraatacado. La solución es simple: se deben limitar las frecuencias entrantes con un filtro pasa-bajos (filtro anti-*aliasing*) diseñado para proveer una atenuación significativa hacia la mitad de la frecuencia de muestreo, para asegurarse que la señal saliente nunca exceda la mitad de la frecuencia de muestreo, como en la figura 12.

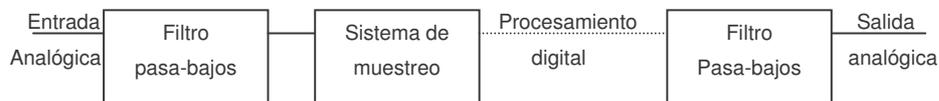


Figura 12 - Circuito anti-aliasing

2.4. Cuantización

Para grabar una señal de audio, dos dimensiones de información deben de almacenarse. El muestreo implícitamente guarda información del tiempo y la cuantización guarda información de la amplitud instantánea. Pero con la cuantización, como con la medición de eventos analógicos, la exactitud está limitada por la resolución del sistema; por la necesaria limitación de tamaño en longitud de palabra, la resolución del sistema es limitada, y una medida de error es introducida.

Cada vez que el conversor analógico-digital recibe una lectura de voltaje del circuito encargado para este, anteriormente mencionado, este arroja una serie de números binarios o bits, que representan la amplitud de la señal en ese momento. Mientras más *bits* estén disponibles para describir la lectura de amplitud, más exacta resultará la conversión análoga-digital para esa lectura. Si ésta no corresponde a la lectura exacta, se ajustará tanto como sea posible.

Como es bien sabido, el término bit se presenta en la numeración digital y se asocia con una situación de dos posibles caminos, 0 y 1. Por lo tanto, un sistema digital con dos posibles niveles tiene una resolución de 1 bit. Por lo general, el logaritmo de base 2 es utilizado para convertir el número de niveles de cuantización disponibles al número de bits.

Si se tuvieran por lo tanto N dispositivos capaces de almacenar 1 bit, el número posible de estados sería 2^N , y la cantidad de información es igual a $\log_2 2^N = N$ bits.

A la exactitud con la cual el circuito se refiera a la señal original se le llama *resolución*. Muy similar situación ocurre con los monitores de computadoras, en quienes la resolución afecta la calidad de la imagen. Monitores baratos de baja resolución muestran menos píxeles por pulgada, lo cual se refleja en una imagen un tanto borrosa y ofusca. La situación es diferente con monitores de alta resolución, los cuales proveen más píxeles por pulgada cuadrada, lo que conlleva una mayor claridad al capturar detalles más finos en la imagen.

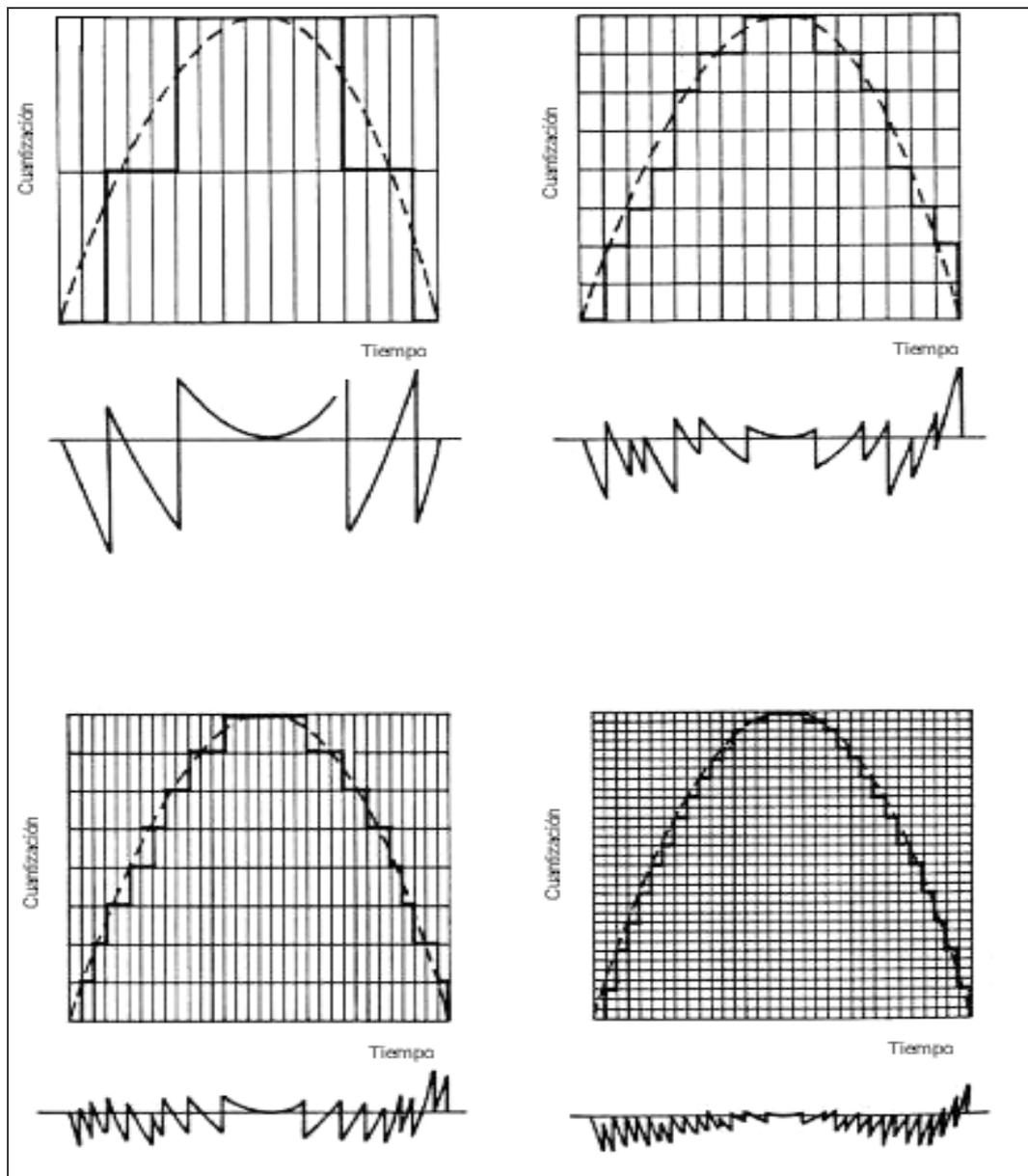
Es obvio que existan ciertas disparidades entre la señal análoga original con respecto a su versión digital, y esta es conocida como el ruido de cuantización, distorsión asociada únicamente al medio digital.

En el mundo del audio digital, la resolución es expresada en términos del número de bits disponibles durante el proceso de cuantización. Algunas resoluciones comunes incluyen 8 bits, 12 bits o 16 bits, incluyendo incluso en algunas grabaciones modernas hasta 24 bits. Los discos compactos, el DAT y otros dispositivos actuales de manipulación de audio digital utilizan 16 bits para esta conversión.

Como es bien sabido, 16 bits no es solamente el doble de calidad que 8 bits en un proceso de conversión, es mucho mejor. En otras palabras, una palabra de conversión de 8 bits, tiene 256 posibilidades (2 elevado a la 8 potencia), mientras que una palabra de conversión de 16 bits permite 65536 posibles valores.

La diferencia es notoria; la figura 13 muestra en forma gráfica la mejora en resolución con varias 4 combinaciones diferentes de cuantización y resolución de muestreo.

Figura 13 - Cuantización y frecuencia de muestreo



Fuente: Fundamentals of Digital Audio Pag. 58

En la figura 13 se muestra la interacción entre la tasa de muestreo y la cuantización. Un muestreo correcto de una señal limitada de banda (con filtro *anti-aliasing* aplicado en su entrada), es un proceso de poca pérdida, pero el escoger el valor de amplitud a un tiempo instantáneo no lo es. Cualquier opción de escalas y códigos, como será mostrado más adelante, resulta en que la digitalización nunca puede codificar totalmente una función análoga. Una forma de onda análoga tiene un número infinito de valores de amplitud, pero en la digitalización estos deben escogerse de valores finitos. Todos los valores analógicos entre dos intervalos pueden ser representados solamente por un número único asignado a ese intervalo. Por lo tanto, el valor seleccionado es solo una aproximación del actual. En otras palabras, con la cuantización va implícito un error.

En el primer cuadrante de la figura anterior, arriba a la izquierda, se muestra una cuantización y una frecuencia de muestreo baja, la cual muestra sus efectos en una pobre aproximación. Con el simple hecho de agregar 2 bits en la longitud de la palabra de resolución, en número de intervalos de cuantización se incrementan, resultando en una mejor aproximación, tal como lo muestra la figura arriba a la derecha. Luego en la figura de la parte inferior izquierda, se muestra la gráfica, pero con los intervalos de muestreo al doble de la exacta anterior. Es evidente la mejora de la aproximación; y se tiene al final, cuadrante cuarto abajo, en donde se toman valores óptimos de resolución o cuantización y de frecuencia de muestreo, lo cual muestra una sensible mejora con respecto a la última aproximación.

3. EL PROTOCOLO MIDI

3.1 Conceptos generales

MIDI significa *Musical Instrument Digital Interface*, es decir interfaz digital de instrumentos musicales, y es un código de comunicación entre diferentes aparatos digitales de aplicación musical, no sólo instrumentos productores de sonido (sintetizadores y *samplers*), también procesadores de efectos, secuenciadores, computadoras, mezcladoras, etcétera.

3.1.1 Generadores y controladores

Debemos tener presente que los instrumentos musicales que nos ocupan constan de dos grandes partes: generador y controlador. El generador es la sección que produce el sonido propiamente, y que puede ser programada, asignándole valores determinados a sus diferentes parámetros, para variar sus características tímbricas. El conjunto de todos esos valores se denomina habitualmente *patch*, y es el que determina el tipo de sonido resultante. Un *patch* puede estar programado de manera de buscar reproducir o imitar el timbre de un instrumento acústico, o por el contrario producir un timbre totalmente sintético. El controlador por su parte es la sección sobre la que actúa el ejecutante en el momento de tocar, y que envía la información al generador, diciéndole por ejemplo que debe prender o apagar una determinada nota, aplicar cierta modulación, etcétera. Los más comunes son los controladores en forma de teclado del tipo piano u órgano, pero puede haber de otras clases, tanto con analogías a instrumentos tradicionales (guitarra, saxo, instrumentos de percusión) como de nuevos diseños.

No hay que olvidar esto, aunque muchas veces al hablar de un controlador daremos por sobrentendido que se trata de un teclado. También integran el controlador otros dispositivos (como ser ruedas, pedales, etc.) que agregan expresión adicional en el momento de tocar, ya que, según cómo haya sido programado el generador, accionarlos producirá diferentes variaciones en el resultado sonoro.

Los controladores adicionales más estandarizados, especialmente en los teclados, son los siguientes:

Ruedas: rueda de modulación (*modulation wheel*) - se posiciona libremente entre mínimo y máximo, y se usa típicamente para abrir o cerrar filtros, o controlar la amplitud y/o frecuencia de filtros de modulación (LFO) para lograr efectos de *vibrato*.

Pitch-bender (rueda de inflexión de altura) - a diferencia de la anterior no va de mínimo a máximo sino que tiene el 0 en la posición central, y adquiere valores positivos o negativos al desplazarla arriba o abajo. Tampoco se posiciona libremente, ya que un resorte la mantiene en la posición central mientras no está siendo accionada. Su función básica es efectuar *glissandos* o inflexiones de altura (*pitch-bending*) ascendentes o descendentes, aunque algunos instrumentos permiten asignarles otras funciones.

Pedales: *pedal de sostenimiento* (*sustain pedal*) - su efecto es similar al del pedal derecho del piano: mientras está oprimido no envía mensajes de apagado de las notas. Si bien es de movimiento continuo, sólo adquiere dos valores.

Pedal de volumen - es de movimiento continuo y duplica el potenciómetro de volumen del instrumento. Es útil para controlar el volumen mientras se usan ambas manos para tocar.

Otros dispositivos no tan comunes incluyen el *joystick*, el controlador de sople (*breath controller*), etcétera.

En los primeros modelos de sintetizador de producción masiva lanzados al mercado a fines de la década del 60, los distintos componentes del generador (básicamente osciladores, filtros, amplificadores, y generadores de envolvente) eran controlados por voltaje. Así, al accionar una tecla, ésta enviaba una corriente cuyo voltaje determinaba qué nota produciría el oscilador. Estos controladores eran extremadamente sencillos, sólo podían tocar una nota por vez y no enviaban ningún tipo de información adicional, como ser velocidad con que era oprimida la tecla, o la presión que se ejercía sobre la misma. Durante los años 70 se fueron ampliando poco a poco las posibilidades de los sintetizadores, tanto en lo referente al generador como al controlador.

El gran cambio ocurrió sin embargo recién a inicios de la década del 80, con la incorporación de la tecnología digital a los instrumentos musicales electrónicos, la que demoró muy poco tiempo en afirmarse y extenderse completamente. Actualmente, casi todos los instrumentos electrónicos de aplicación musical son íntegramente digitales. Vale decir que todas sus funciones se llevan a cabo bajo forma de operaciones matemáticas realizadas por microprocesadores especialmente diseñados y programados a ese fin.

Al accionar entonces sobre cualquier parte del controlador, éste envía al generador la correspondiente información en forma de un número, el que será interpretado según se haya realizado la programación.

Con el vertiginoso desarrollo de la tecnología informática -aumento de la velocidad de los microprocesadores y de la disponibilidad de memoria- las posibilidades de los instrumentos digitales se han ido ampliando sin cesar. Ha aumentado enormemente la capacidad polifónica (la de generar varias notas simultáneamente) y multitímbrica (capacidad de producir varios timbres diferentes simultáneamente).

Los algoritmos de síntesis son cada vez más complejos, llegando a incluir diversos procesamientos de la señal, como ser reverberación y otros efectos; se puede trabajar no sólo con ondas simples sintéticas, sino también con ondas complejas grabadas de instrumentos acústicos y almacenadas en forma digital, lo que permite mayor realismo en las síntesis de tipo imitativo. Por otra parte, el que los valores de los parámetros estén representados por números, permite una mayor precisión en la programación, exacta reproducibilidad, y la capacidad de almacenamiento de bancos enteros de programas o *patches*, los que quedan disponibles en forma inmediata. A su vez, los controladores también se han ido haciendo cada vez más sensibles, y al accionar una tecla por ejemplo, se envía información no sólo de qué nota se trata, sino también la velocidad con que fue oprimida y levantada (*velocity*), y las variaciones de presión que se ejercieron sobre ella (*aftertouch*). Según cómo esté programado el *patch* correspondiente (y las posibilidades que ofrezca el instrumento), el generador puede responder a estos matices de ejecución realizando desde pequeñas variaciones de articulación hasta drásticos cambios tímbricos.

3.1.2 Orígenes

La inquietud de comunicar varios sintetizadores entre sí, es decir, que al accionar el controlador de uno de ellos pudieran hacerse sonar los generadores de dos o más, existió desde la época de los sintetizadores controlados por voltaje, y si bien aparecieron algunas interfaces, ninguna llegó a ser realmente universal y extendida, debido en parte a que no todos los fabricantes utilizaban la escala de controlar los generadores a razón de 1 volt por octava. Al introducirse componentes digitales en los sintetizadores aparecieron nuevos problemas y posibilidades, surgiendo en 1981 una propuesta de crear finalmente un protocolo de comunicación universal.

La propuesta fue presentada a la *Audio Engineering Society* (AES) de Estados Unidos, y durante dos años un panel que incluía representantes de los mayores fabricantes de sintetizadores del mercado trabajó sobre la misma, dando a conocer en 1983 el estándar finalmente diseñado, que fue denominado MIDI. El mismo fue adoptado rápidamente por todos los fabricantes, quienes deben respetar estrictamente todas las especificaciones, de modo de que está garantizada una total compatibilidad. Actualmente esto es controlado por asociaciones como la MMA (*MIDI Manufacturers Association*), que nuclea los fabricantes de instrumentos MIDI en Estados Unidos, y la IMA (*International MIDI Association*), las que además coordinan y regulan el desarrollo y ampliación de la norma. Se puede decir que desde ese entonces todos los instrumentos electrónicos de aplicación musical virtualmente sin excepción incluyen una completa implementación MIDI.

En primera instancia, el MIDI permitió tocar varios generadores a través de un solo controlador, obteniendo así sonidos con más cuerpo y timbres más complejos.

Aparecieron también los módulos solamente generadores de sonido sin controlador propio, de precio más reducido y que podían ser tocados desde otro sintetizador. A su vez comenzaron a fabricarse controladores especializados que funcionaban solamente como tales, sin generador, y que ofrecían más posibilidades que los incluidos en los sintetizadores comunes. Pero éstas fueron tan sólo las aplicaciones más inmediatas. Pronto comenzaron a desarrollarse los secuenciadores, dispositivos que graban la información MIDI y que permiten además distintos tipos de edición, de modo tal que una "ejecución" sobre un controlador MIDI puede ser luego reproducida todas las veces que se desee, con las eventuales correcciones que fueran necesarias. Por medio de mensajes MIDI pueden alterarse también los parámetros de programación de un sintetizador o procesador.

Con el agregado de la interfaz correspondiente, una computadora puede comunicarse con cualquier instrumento MIDI, y surgieron así sofisticados programas de distintas aplicaciones, como ser secuenciadores, editores y/o almacenadores de patches para sintetizadores, generadores automáticos de acompañamientos, compositores algorítmicos, etcétera. También por medio del MIDI pueden sincronizarse secuenciadores entre sí, con grabadores de audio y con video, pueden controlarse mezcladoras, mesas de luces, etcétera.

El MIDI es muy limitado en varios aspectos, como por ejemplo su relativamente baja velocidad de transmisión, y que sólo puede transmitir en 16 canales diferentes, los cuales pueden llegar a ser escasos si el sistema tiene interconectados muchos aparatos. Sin embargo, el MIDI ha demostrado ser flexible y abierto, pudiendo adaptarse a las nuevas necesidades que han surgido en este tiempo. Es, además de fácil implementación, está totalmente universalizado, y no presenta ningún tipo de problemas de comunicación entre los más diversos aparatos de diferentes marcas y modelos.

Hace años que es prácticamente impensable prescindir del MIDI en ninguna aplicación musical que involucre instrumentos electrónicos.

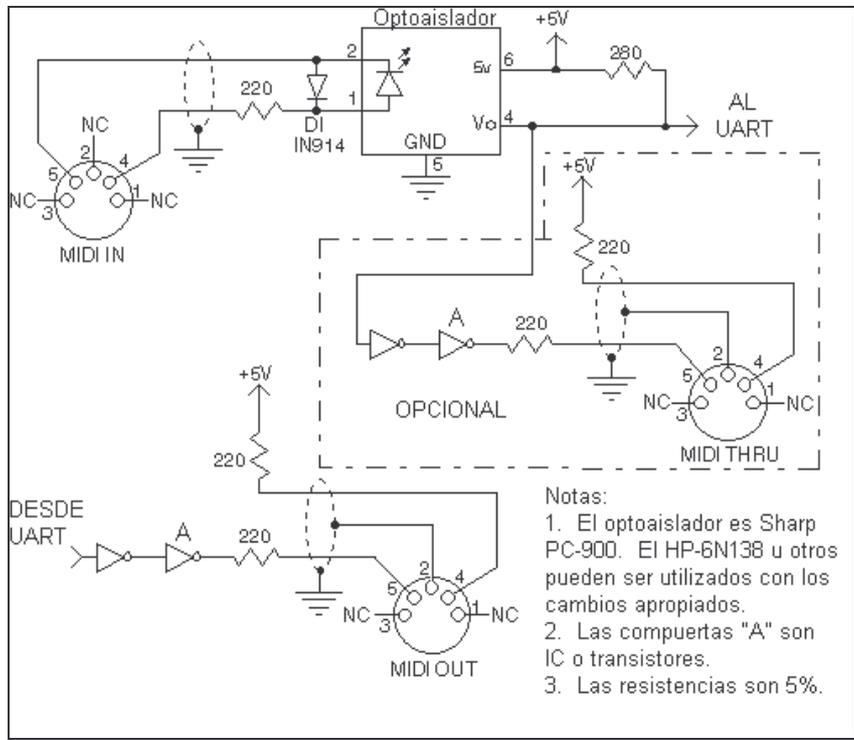
3.2 Implementación

3.2.1 Especificaciones

Los datos MIDI se transmiten por medio de impulsos eléctricos a través de un cable. La transmisión se hace en un sólo sentido, de manera que una comunicación de ida y vuelta necesita dos cables. Los aparatos con interfaz MIDI tienen entonces una puerta de entrada y otra de salida, señaladas como MIDI IN y MIDI OUT respectivamente. En casi todos los casos se puede encontrar una tercera puerta, llamada MIDI THRU, que no sirve como puerta de envío sino solamente como paso, y por la que sale una copia exacta de lo que entra por la puerta IN.

La interfaz opera a 31.25 ($\pm 1\%$) Kbaud, con un bit de inicio, 8 bits de datos, y un bit de cierre, conformando así bytes de 10 bits con período de 320 microsegundos. La corriente es de 5 mA, corresponden la presencia de corriente al bit lógico 0. Las puertas de entrada deben tener optoisoladores que necesiten menos de 5 mA para dispararse, y cuyo tiempo de subida y caída sea inferior a los 2 microsegundos, como lo muestra la figura 14.

Figura 14 - Circuito MIDI



Fuente: MIDI 1.0 Detailed Specification

Los conectores son de tipo DIN de 5 patas 180 grados, los conectores hembra montadas en el panel, y los machos en el cable; las dos patas laterales (1 y 3) deben estar desconectadas para que el cable pueda transmitir; la pata del medio (2) está conectada a tierra, y la transmisión se realiza por las otras dos patas (4 y 5).

La longitud de un cable MIDI no debe superar en ningún caso los 15 metros, de modo de no generar demoras en la transmisión, y cada OUT debe conectarse a un solo IN. Si se quieren controlar varios dispositivos por una sola salida, puede hacerse una cadena usando los respectivos THRU, aunque en ese caso son necesarios optoisoladores muy veloces, ya que los errores de subida y caída de cada uno se adicionan.

También hay que cuidar que la suma del largo de los cables no supere el máximo de 15 metros. En general, conviene no disponer más de tres unidades en serie, y utilizar siempre cables cortos.

Otra forma de conformar un sistema integrado por varios dispositivos es mediante una disposición en estrella. Para ello es necesario un MIDI thru box, una pieza de hardware que presenta una entrada y varias salidas. De esa forma se evita la suma de las demoras que se dan en la transmisión en serie.

La pieza de hardware que cumple la función contraria es el MIDI merger, o mezclador MIDI, que suma la entrada de dos o más puertas IN y la envía por la salida. Una utilización típica es cuando se quiere tocar mediante un controlador externo un instrumento que a la vez está siendo tocado por un secuenciador. Algunos instrumentos, especialmente los módulos generadores que no tienen controlador propio, están provistos de dos puertas IN, previendo esa situación. De la misma manera hay controladores especializados e interfaces MIDI para computadoras que disponen de dos puertas OUT.

En algunos casos ambas puertas envían una copia de la misma salida, en otros casos se trata efectivamente de dos salidas diferentes, lo que duplica la cantidad de canales de transmisión.

3.2.2 Procesadores MIDI

Aparte de los MIDI merger y los MIDI thru boxes, hay otros dispositivos que cumplen funciones inteligentes sobre los datos recibidos. Algunos de estos procesadores MIDI cumplen funciones específicas, otros pueden ser programados para realizar varias diferentes.

Las operaciones más usuales son:

Recanalización: cambia el canal de los mensajes recibidos, asignando a un canal determinado de entrada otro diferente de salida.

Filtrado: evita el paso de mensajes MIDI que no interesan, como forma de alivianar la línea.

Transposición: cambiando el valor de los mensajes de datos, se pueden transportar las alturas de las notas en un determinado número de semitonos ascendentes o descendentes, u otros parámetros, como la velocidad.

Renumerador de controlador: hace que los mensajes de control change recibidos sean enviados a un controlador diferente.

Estas operaciones pueden servir entre otras cosas para superar limitaciones en la implementación MIDI de algunos instrumentos, como ser que no transmitan en los 16 canales, que tengan pocos números de controladores, etcétera.

3.3 Sistemas de numeración

Cada uno de los impulsos eléctricos por medio de los cuales se transmiten los datos MIDI conforma un bit de información, y puede tomar el valor 1 ó 0. El MIDI utiliza "palabras" o bytes de 8 bits, con las que se pueden representar valores entre 0 y 255. Puede convenir escribir los bytes en sistema de numeración binario (base 2), en el cual el bit menos significativo -el de la derecha, llamado least significant bit o LSB - toma el valor 0 ó 1 (es decir 2⁰) según esté desactivado o activado, el siguiente los valores 0 ó 2 (2¹), el que sigue los valores 0 ó 4 (2²), y así sucesivamente hasta el bit más significativo (el último de la izquierda, most significant bit o MSB), que toma los valores 0 ó

128 (2⁷). Para saber el equivalente decimal (base 10) de un byte, se suman los valores de todos los bits que tengan valor 1:

$$0000\ 0000 = 0$$

:

:

$$0010\ 1100 = 2^5 + 2^3 + 2^2 = 32 + 8 + 4 = 44$$

:

:

$$1111\ 1111 = 2^7 + 2^6 + 2^5 + 2^4 + 2^3 + 2^2 + 2^1 = 128 + 64 + 32 + 16 + 8 + 4 + 2 + 1 = 255$$

La cantidad de valores que se pueden representar con n bits es 2^n . Por tanto, si se mantiene por ejemplo el bit más significativo fijo, quedan sólo 7 bits libres, y se podrán representar $2^7 = 128$ valores. Por otra parte, se puede dividir el byte en dos grupos de 4 bits, llamados nibbles. Con un nibble es posible representar 16 valores, los que en algunos casos puede convenir escribir en sistema hexadecimal (base 16), de acuerdo a la siguiente tabla de conversión:

Tabla II - Números binarios, decimales y sexagesimales

Binario	decimal	Hexadecimal
0000	0	0
0001	1	1
0010	2	2
0011	3	3
0100	4	4
0101	5	5
0110	6	6
0111	7	7
1000	8	8
1001	9	9
1010	10	A
1011	11	B
1100	12	C
1101	13	D
1110	14	E
1111	15	F

(Queda claro que la base de un sistema de numeración es la cantidad de símbolos diferentes que hay a disposición para representar los valores, y por tanto la cantidad de valores que puedo representar con un sólo símbolo. Como en MIDI se transmiten los valores en forma de voltajes, conviene usar la base más baja, porque se puede transmitir a gran velocidad pero sin mucha precisión.)

Los *bytes* de 8 bits pueden ser representados en hexadecimal con dos símbolos, cada uno de ellos es la traducción del respectivo *nibble*:

Tabla III - Representación de binarios, decimales y hexagesimales con 8 bits

binario	hex	decimal
0000 0000	0	0
:	:	:
0010 1100	2C	44
:	:	:
0111 1001	79	121
:	:	:
1111 1111	FF	255

3.4. La transmisión MIDI

3.4.1 Tipos de *byte*

En la especificación MIDI están definidos dos tipos de *byte*, de estatus y de datos, que están identificados por su primer *bit* o MSB, según sea 1 ó 0 respectivamente.

Status byte (byte de estatus): es el que determina de qué tipo de mensaje se trata, por ejemplo prender o apagar una nota en un determinado canal, iniciar o detener el secuenciador, seleccionar un *patch*, o enviar un pulso de reloj o *clock* para sincronización, etcétera. Todos los *bytes* de estatus comienzan con *bit* 1 (de 1000 0000 a 1111 1111): son los valores 128 a 255 (de 80 a FF en hexadecimal).

Data byte (*byte* de datos): según cuál sea el *byte* de estatus, puede ser seguido de uno o más *bytes* de datos, con los valores correspondientes al tipo de mensaje. Por ejemplo si el *byte* de estatus es de prender una nota en cierto canal, deben seguir dos *bytes* de datos indicando respectivamente qué nota hay que prender y con qué velocidad. Si el *byte* de estatus es seleccionar un *patch* en cierto canal, le sigue un *byte* de datos con el número de *patch*. Los *data bytes* son los que comienzan con *bit* 0 (de 0000 0000 a 0111 1111), de 0 a 127 en decimal, de 00 a 7F en hexadecimal. Es por esto que varios parámetros (como las *velocities*, las modulaciones, volumen, etcétera) tienen 128 valores posibles. También es la cantidad total de notas que hay en MIDI, diez octavas y 8 semitonos, de C-1 a G9, siendo A4 el la central de 440 Hz. Otros parámetros, como el *pitch bending* y el posicionador dentro de una canción, precisan mayor definición; en ese caso son necesarios dos *bytes* consecutivos de datos, lo que da una definición de 14 bits (16.384 valores).

Running status: cuando hay una sucesión de mensajes del mismo tipo, no es necesario repetir todas las veces el *status byte*; solamente se envía el primero de ellos, y luego los *bytes* de datos respectivos. Por ejemplo, si se trata de prender una serie de notas en un canal, se envía el *status byte* correspondiente, y luego los dos *bytes* de datos para cada una de las notas.

3.4.2 Canales MIDI

La línea MIDI transmite información simultáneamente en 16 canales. Si se están controlando varios instrumentos a la vez, cada uno de ellos puede ser programado para responder a un canal específico, de modo de que queda conformada una "orquesta" en la que se pueden tocar notas independientemente en cada instrumento. La mayoría de los instrumentos musicales digitales actualmente tienen capacidad multitímbrica, es decir que funcionan como varios instrumentos virtuales en uno: reciben en más de un canal simultáneamente (usualmente 8 o los 16), pudiendo asignar un *patch* o timbre diferente a cada canal. Algunos mensajes se dirigen a un canal específico; en ellos el primer *nibble* del *status byte* indica de qué comando se trata, y el segundo *nibble* a qué canal se aplica (recordar que un *nibble* puede representar precisamente hasta 16 valores), según la siguiente tabla:

Tabla IV - Canales MIDI

Binario	decimal	sexagesimal	Número de canal
0000	0	0	1
0001	1	1	2
0010	2	2	3
0011	3	3	4
0100	4	4	5
0101	5	5	6
0110	6	6	7
0111	7	7	8
1000	8	8	9
1001	9	9	10
1010	10	A	11
1011	11	B	12
1100	12	C	13
1101	13	D	14
1110	14	E	15
1111	15	F	16

3.4.3 Tipos de mensaje

Hay dos tipos de mensaje: de canal (*channel message*) y de sistema (*system message*).

Channel messages: afectan solamente a uno de los 16 canales MIDI, y sólo responden a este tipo de mensajes los instrumentos sintonizados para recibir en ese canal. Los mensajes de canal se subdividen a su vez en:

Channel voice tienen que ver con la producción de sonido (como por ejemplo prender y apagar notas)

Channel mode determinan la forma en que el dispositivo responde a los mensajes recibidos

System messages: éstos son recepcionados por todos instrumentos conectados a la red. Hay tres tipos de mensajes de sistema:

System exclusive (sistema exclusivo) estos mensajes comienzan con un encabezamiento que identifica la marca y modelo determinado del instrumento al cual están dirigidos, siendo ignorados por todos los demás dispositivos.

System common (sistema común) afectan a todos los instrumentos conectados al sistema.

System real time (sistema tiempo real) están relacionados con el funcionamiento de secuenciadores, su *timing* y sincronización.

3.5 Channel messages

Como indica su nombre, los mensajes de canal sólo actúan sobre los instrumentos asignados a ese canal. Estos mensajes constan de un byte de estatus, seguido de uno o dos *bytes* de datos. En todos los *channel messages* el *nibble* más significativo del *byte* de estatus corresponde al comando en cuestión, mientras que el segundo *nibble* indica a cuál de los 16 canales MIDI afecta dicho comando.

3.5.1 Channel voice

Estos mensajes están relacionados directamente con la producción de sonido, e incluyen comandos como prender o apagar nota, aplicar controladores, *pitch bending*, cambios de *patch*, etcétera.

3.5.1.1 Note off (apagar nota)

Nibble de comando: bin 1000; hex 8 - el segundo *nibble* indica el canal
Formato: byte de estatus más dos *bytes* de datos, uno para la nota y otro para la velocidad. El paquete completo queda conformado entonces por tres *bytes*, que pueden oscilar entre los siguientes valores, expresados en los tres sistemas de numeración:

Tabla V - Tabla de parámetros *Note off*

nº	Tipo	binario	hexagesimal	decimal	comentario
1	Estatus	1000 0000	80	128	apagar nota en canal 1
		a 1000 1111	a 8F	a 143	a apagar nota en canal 16
2	Data	0000 0000	00	0	nº de nota
		a 0111 1111	a 7F	a 127	(por las equivalencias ver tabla en el apéndice)
3	Data	0000 0000	00	0	velocidad (con que se
		A 0111 1111	A 7F	A 127	levanta la tecla, por ejemplo)

Nota: muy pocos instrumentos responden o transmiten velocidad de apagado de la nota. En ese caso se envía siempre un valor fijo, usualmente 0 ó 64, según el modelo de sintetizador.

3.5.1.2 *Note on* (prender nota)

Comando: bin 1001; hex 9 - el segundo *nibble* indica el canal

Formato: *byte* de estatus más dos *bytes* de datos, uno para la nota y otro para la velocidad

Tabla VI - Parámetros *Note on*

nº	tipo	binario	hexa	decimal	comentario
1	estatus	1001 0000	90	144	prender nota en canal 1
		a 1001 1111	a 9F	a 159	a prender nota en canal 16
2	data	0000 0000	00	0	nº de nota
		a 0111 1111	a 7F	a 127	(por las equivalencias ver tabla en el apéndice)
3	data	0000 0000	00	0	velocidad de ataque
		a 0111 1111	a 7F	a 127	

Nota: cuando el segundo byte de datos es 0000 0000 (vel = 0), el comando equivale a apagar nota. Esto es conveniente en *running status*, ya que se puede tanto prender como apagar notas sin necesidad de cambiar de *status byte*.

3.5.1.3 *Polyphonic aftertouch (poly pressure)* (presión polifónica)

Este mensaje envía la modulación solamente a la tecla que está siendo presionada.

Nibble de comando: bin 1010; hex A - el segundo *nibble* indica el canal

Formato: *byte* de estatus más dos *bytes* de datos, uno para la nota y otro para la presión

Tabla VII - Presión polifónica

nº	tipo	Binario	hexa	decimal	comentario
1	estatus	1010 0000 a 1010 1111	A0 a AF	160 a 175	presionar nota en canal 1 a presionar nota en canal 16
2	data	0000 0000 a 0111 1111	00 a 7F	0 a 127	nº de nota
3	data	0000 0000 a 0111 1111	00 a 7F	0 a 127	presión

Nota: no todos los instrumentos responden y/o transmiten este comando.

3.5.1.4 *Control change*

Nibble de comando: bin 1011; hex B - el segundo *nibble* indica el canal

Formato: comando más dos *bytes* de datos, uno para el nº de controlador y otro para su valor

Tabla VIII - Parámetros *Control change*

nº	tipo	binario	hexa	decimal	
1	estatus	1011 0000 a 1011 1111	B0 a BF	176 a 191	accionar controlador en canal 1 a accionar controlador en canal 16
2	data	0000 0000 a 0111 1111	00 a 7F	0 a 127	nº de controlador
3	data	0000 0000 a 0111 1111	00 a 7F	0 a 127	valor del controlador

Notas:

Hay diversos tipos de controladores: los llamados continuos (rueda de modulación, volumen, etcétera) ofrecen todos los valores posibles dentro del rango disponible, mientras que los del tipo interruptor o switch (como el pedal de sostenimiento, etcétera) sólo tienen dos posiciones, off y on.

Los números de controlador 0 a 31 (hex 00 a 1F) están reservados para controladores continuos. Enviando un byte de datos se logra una definición de 7 bits (128 valores). Estos controladores pueden, sin embargo, admitir una resolución de 14 bits (16.384 valores), en cuyo caso es necesario enviar un segundo mensaje portando otro byte de datos.

Los controladores 32 a 63 (20 a 3F) transmiten el segundo *byte* de datos de los controladores 0 a 31 respectivamente.

Los controladores 64 a 95 (40 a 5F) se asignan a parámetros de baja resolución o a *switches*, y sólo admiten un *byte* de datos, o sea una resolución de 0 a 127. En el caso de los *switches*, los valores 0 a 63 se reconocen como igual a 0 (*off*), y los valores 64 a 127 como igual a 127 (*on*).

El controlador nº 1 está asignado a la rueda de modulación; los demás números de controlador quedan libres para ser determinados por cada fabricante, aunque hay varios tipos de controlador, como ser volumen general, pedal de sostenimiento, etcétera, que están asignados en forma prácticamente universal a un número determinado (ver la tabla en el apéndice). El pitch bend no se transmite como controlador, sino que tiene su propio tipo de mensaje.

Los últimos siete números, de 121 a 127 (hex 79 a 7F), no están asignados a controladores, sino que quedan reservados para mensajes de channel mode (ver 1.2).

3.5.1.5 Program change

Este comando se utiliza para seleccionar un *patch* o timbre determinado de los guardados en la memoria del instrumento, y asignarlo a un canal.

Nibble de comando: bin 1100; hex C - el segundo *nibble* indica el canal

Formato: comando más un *byte* de datos para el número de programa

Tabla IX - Parámetros Program change

nº	tipo	Binario	hexa	decimal	Comentario
1	estatus	1100 0000 a 1100 1111	C0 a CF	192 a 207	cambio de programa en canal 1 a cambio de programa en canal 16
2	data	0000 0000 a 0111 1111	00 a 7F	0 a 127	nº de programa

3.5.1.6 *Aftertouch (channel pressure) (presión)*

A diferencia del *polyphonic aftertouch*, este mensaje modula a todas las notas que están sonando en ese canal, como la rueda de modulación (1.1.4) y el *pitch bend* (1.1.7).

Nibble de comando: bin 1101; hex D - el segundo *nibble* indica el canal

Formato: *byte* de estatus más un *byte* de datos para la presión

Tabla X - Parámetros de presión

nº	tipo	binario	Hexa	Decimal	comentario
1	estatus	1101 0000 a 1101 1111	D0 a DF	208 a 223	presión en canal 1 a presión en canal 16
2	data	0000 0000 a 0111 1111	00 a 7F	0 a 127	valor de la presión

3.5.1.7 *Pitch bend*

Nibble de comando: bin 1110; hex E - el segundo *nibble* indica el canal

Formato: *byte* de estatus más dos *bytes* de datos, para la posición de la rueda (actúa sobre todas las notas del canal)

Tabla XI – Parámetros del *Pitch bend*

nº	tipo	binario	hexa	decimal	
1	estatus	1110 0000 a 1110 1111	E0 a EF	224 a 239	pitch bend en canal 1 a pitch bend en canal 16
2	data	0000 0000 a 0111 1111	00 a 7F	0 a 127	byte más significativo (MSB) de la posición de la rueda
3	data	0000 0000 a 0111 1111	00 a 7F	0 a 127	byte menos significativo (LSB)

Nota: el *pitch bend* requiere gran definición, de modo de poder hacer desplazamientos de altura bastante amplios (hasta una octava hacia arriba y hacia abajo) sin que se noten "escalones". Usar dos *bytes* de datos da una definición de 14 *bits* (recordar que en los *bytes* de datos el primer *bit* siempre es 0, lo que deja 7 *bits* significativos), permitiendo representar hasta $2^{14} = 16384$.

3.6 Channel mode

Estos *bytes* determinan la manera en que se recibe y responde a los datos MIDI en los diferentes canales. Los comandos de *channel mode* no tienen un *byte* de estatus propio, sino que se transmiten bajo el formato de *control change*, con número de controlador de 122 a 127 (ver 3.5.1.4).

3.6.1 Reset all controllers

Número de controlador: 121 (bin 0111 1001, hex 79). Reestablece todos los controladores a los valores que por defecto adquiere el instrumento al encenderse.

Formato: tres *bytes*, el primero (*byte* de estatus) es el de *control change*, el segundo es dec 121, y el tercero es siempre 0.

Tabla XII - Parámetros *Reset all controllers*

nº	tipo	binario	hexa	decimal	comentario
1	estatus	1011 0000 a 1011 1111	B0 a BF	176 a 191	controlador en canal 1 a controlador en canal 16
2	data	0111 1010	79	121	reset all controllers
3	data	0000 0000 - 0111 1111	00 - 7F	0 - 127	off on

3.6.2 Local control

Abre o cierra la ruta que conecta el controlador (teclado u otro tipo) del sintetizador con su generador. En *local control off*, accionar el teclado no producirá sonido en el sintetizador interno, aunque puede enviar datos vía MIDI a otros módulos. A su vez el generador puede responder a datos recibidos externamente.

Número de controlador: 122 (bin 0111 1010, hex 7A)

Formato: tres *bytes*, el primero (*byte* de estatus) es el de *control change*, el segundo es dec 122, y el tercero puede tomar el valor 0 (*local control off*) ó 127 (*local control on*).

Tabla XIII - Parámetros Local control

nº	tipo	binario	hexa	decimal	comentario
1	estatus	1011 0000 a	B0 a	176 a	controlador en canal 1
		1011 1111	BF	191	controlador en canal 16
2	data	0111 1010	7A	122	local control
3	data	0000 0000 -	00 -	0 -	off
		0111 1111	7F	127	on

3.6.3 All notes off

Manda apagar todas las notas en un canal determinado; se utiliza en casos de emergencia, cuando una o más notas han quedado "colgadas", y no sustituye al comando *note off*.

Número de controlador: 123 (bin 0111 1011, hex 7B).

Tabla XIV - Parámetros All notes off

nº	Tipo	binario	Hexa	decimal	comentario
1	estatus	1011 0000 a 1011 1111	B0 a BF	176 a 191	controlador en canal 1 a controlador en canal 16
2	Data	0111 1011	7B	123	all notes off
3	Data	0000 0000	00	0	(3 ^{er} byte siempre es 0)

3.6.4 Omni mode off

En el modo de recepción "omni", el generador responde a los mensajes MIDI transmitidos en cualquiera de los 16 canales. *Omni mode off* desactiva este modo de recepción, a la vez que envía un mensaje de *all notes off*.

Número de controlador: 124 (bin 0111 1100, hex 7C)

Formato:

Tabla XV - Parámetros Omni mode off

nº	Tipo	binario	hexa	decimal	comentario
1	estatus	1011 0000 a 1011 1111	B0 a BF	176 a 191	controlador en canal 1 a controlador en canal 16
2	Data	0111 1100	7C	124	omni mode off (all notes off)
3	Data	0000 0000	00	0	(3 ^{er} byte siempre es 0)

3.6.5 Omni mode on

Activa el modo omni, y envía un comando de *all notes off*.

Número de controlador: 125 (bin 0111 1101, hex 7D)

Formato:

Tabla XVI – Omni mode on

nº	tipo	binario	hexa	decimal	
1	estatus	1011 0000 a 1011 1111	B0 a BF	176 a 191	controlador en canal 1 a controlador en canal 16
2	data	0111 1101	7D	125	omni mode on (all notes off)
3	data	0000 0000	00	0	(3 ^{er} byte siempre es 0)

3.6.6 Mono mode on (poly mode off)

En modo mono, el generador responderá monofónicamente, es decir asignando una sola voz a cada uno de los canales que esté activado, a partir de un número de canal determinado que funciona como canal base (base channel). El número de canales activados está determinado por el tercer byte.

En el caso especial de que éste tenga valor 0, se asignan tantos canales como voces tenga el receptor, siempre a partir del canal base. Envía simultáneamente un mensaje de all notes off.

Número de controlador: 126 (bin 0111 1110, hex 7E)

Formato:

Tabla XVII - Parámetros Mono mode on

nº	tipo	binario	hexa	decimal	
1	estatus	1011 0000 a 1011 1111	B0 a BF	176 a 191	controlador en canal 1 a controlador en canal 16
2	data	0111 1011	7B	123	all notes off
3	data	0000 0000	00	0	(3 ^{er} byte siempre es 0)

3.6.7 Poly mode on (mono mode off)

Desactiva el modo mono, y el receptor responde polifónicamente. Envía simultáneamente un mensaje de *all notes off*.

Número de controlador: 127 (bin 0111 1111, hex 7F)

Formato:

Tabla XVIII - Poly mode on

nº	tipo	Binario	hexa	decimal	
1	estatus	1011 0000 a 1011 1111	B0 a BF	176 a 191	controlador en canal 1 a controlador en canal 16
2	data	0111 1111	7F	127	poly mode on / mono mode off (all notes off)
3	data	0000 0000	00	0	(3 ^{er} byte siempre es 0)

Según la combinación entre *omni mode on/off* y los modos *poly* y *mono*, se formarían entonces cuatro modos de recepción:

Tabla XIX - Cuatro combinaciones de Poly on/off y omni on/off

modo	omni on/off	mono/poly	comentario
1	omni on	poly	Se reciben mensajes en todos los canales y se responde polifónicamente en el base channel
2	" "	mono	Se reciben mensajes en todos los canales y se responde monofónicamente en el base channel
3	omni off	poly	Se reciben mensajes sólo en el base channel, y se responde polifónicamente
4	" "	mono	Se reciben mensajes en un número de canales determinado por el tercer byte a partir del base channel, y se responde monofónicamente en cada uno de ellos

Hace tiempo que estos cuatro modos, definidos en una primera época de capacidades polifónicas y multitímbricas muy limitadas, están obsoletos. Actualmente, los sintetizadores funcionan en modo multi como varios instrumentos virtuales, cada uno de ellos respondiendo a un canal MIDI diferente con su propio timbre.

Usualmente, se puede definir en forma independiente el canal de recepción de cada uno de esos "instrumentos", que pueden oscilar entre 8 y 16, así como asignar a cada uno de ellos un timbre o *patch* determinado. La distribución de voces entre los instrumentos se hace en forma dinámica a medida que cada uno va tocando nuevas notas (*dynamic voice allocation*), aunque a veces interesa determinar que un instrumento responda monofónicamente, cuando va a tocar solamente líneas melódicas, de manera de que no utilice innecesariamente voces adicionales.

3.7 System messages

Los mensajes de sistema no tienen especificación de canal, y son recibidos por todos los dispositivos interconectados dentro del sistema. Abarcan los bytes de 240 a 255 (bin 1111 0000 a 1111 1111, hex F0 a FF), y se dividen en sistema exclusivo (System Exclusive), sistema común sistema:sistema común (System Common), y sistema tiempo real (System Real Time).

3.7.1 System exclusive

Los mensajes de sistema exclusivo (SysEx) están dirigidos a instrumentos de una marca y modelo determinados, y son solamente aceptados por ellos.

Cada fabricante tiene total libertad de determinar el formato y la longitud del mensaje, solamente debe respetar el formato del encabezamiento, que incluye precisamente un número identificador del fabricante. El sistema exclusivo fue pensado para poder enviar mensajes específicos de un aparato determinado, como ser el cambio de parámetros en la programación de los *patches*, el volcado de los programas de los bancos de memoria, etcétera.

El SysEx no sólo permite este tipo de comunicación de un instrumento a otro del mismo modelo, sino también entre un instrumento y un secuenciador, ya sea con fines de almacenamiento de bancos de timbres, o para modificar parámetros tímbricos durante una secuencia. Es utilizado además por los programas de computadora que editan y almacenan *patches*.

El formato de transmisión consta de un encabezamiento o *header*, cuyo primer byte es el de inicio de SysEx (dec 240, hex F0, bin 1111 0000), y cuyo segundo byte es el ID del fabricante. Lo que sigue es libremente determinado por el fabricante, pero generalmente el *header* tiene un tercer *byte* correspondiente al modelo. (Cuando una serie de modelos diferentes tienen arquitectura muy similar, el fabricante puede designar para todos ellos el mismo ID, como forma de reservar números para el futuro. Recordar que sólo hay 128 valores disponibles). Luego viene una serie de cualquier longitud posible de bytes de datos, con la única condición de que todos tengan 0 como bit más significativo. Iniciar con bit 1 significaría un *byte* de estatus, y eso interrumpiría el SysEx. Los únicos *bytes* de estatus que pueden intercalarse son los del tipo *System Real Time* (ver 2.3). El fin del sistema exclusivo está indicado por el byte dec 247 (hex F7, bin 1111 0111).

Tabla XX - Mensajes del *system exclusive*

		binario	hexa	decimal	
header	status byte	1111 0000	F0	240	SysEx - inicio de Sistema Exclusivo
	ID 1	0iii iiiii			ID - número del fabricante, o tipo de comando universal
	ID 2	0iii iiiii			modelo
data	data bytes	0ddd dddd : : : : 0ddd dddd			Data (cualquier cantidad de bytes puede ser enviado aquí, siempre que el byte más significativo sea 0; no se puede intercalar ningún otro tipo de byte de status, exceptuando Real Time)
tail	status byte	1111 0111	F7	247	EOX (End of SysEx) - fin de Sistema Exclusivo

Los *ID numbers* son distribuidos por la (MMA) y por su contrapartida japonesa la JMSC (*Japanese MIDI standard comitee*). Algunos de esos números, sin embargo, han sido asignados a mensajes de tipo universal, como forma de ampliar la norma MIDI. Hay tres tipos de mensaje dentro de este formato: *sample dump standard* (SDS), *Standard MIDI file* (o simplemente MIDI File), y el MIDI time code (MTC).

El *sample dump standard* es una forma estandarizada de volcar *samples*, es decir muestras digitales de sonido. El formato admite gran variedad de frecuencias de muestreo y número de bits de cuantización, de forma de que puede ser implementado por cualquier sampler, aunque no todos los modelos se adaptan a este tipo de comunicación, aparte del suyo propio. El SDS puede transmitir también los puntos de inicio y final de gran cantidad de *loops* dentro del sample.

El *standard MIDI file* es un formato también estandarizado de guardar secuencias, o sea series ordenadas de eventos MIDI determinados en su ubicación temporal en términos de compases y tiempos. Hay diversos tipos de secuenciadores, tanto de *software* (programas de computadora que cumplen esa función), como de *hardware* (aparatos dedicados a ese fin, sean independientes, o integrados a un sintetizador o *sampler*). Cada secuenciador tiene su propio formato de secuencias, y el MIDI File es una forma de guardar la información básica en un formato estandarizado, de manera de poder leer archivos de un secuenciador a otro. Prácticamente todos los secuenciadores, especialmente los de software, pueden tanto leer como guardar archivos en formato MIDI File.

El *MIDI Time Code* es un código de tiempo similar al de la SMPTE (Society of Motion Pictures and Television Engineers), utilizado en la sincronización de videos y películas. Arriba mencionábamos que en las secuencias MIDI la información de ubicación temporal de los eventos se hace en términos relativos de compases, tiempos dentro del compás, y subdivisiones de los tiempos. La ubicación real de los eventos varía con los cambios de tempo. El código SMPTE, por el contrario, utiliza una referencia temporal en términos absolutos de horas, minutos, segundos y cuadros de imagen (divisiones del segundo en 25, 29.97 ó 30, según la norma utilizada). El MTC es una manera de traducir el código SMPTE a un formato que puede transmitirse como mensajes MIDI.

3.8 System common

3.8.1 Song position pointer (señalador de posición dentro de la canción)

El SPP es un registro, usualmente en términos de cuartos de tiempo, del tiempo que ha pasado desde el inicio de una secuencia. Se resetea a 0 cada vez que hay un comando de start, se detiene con el de stop, y reinicia la cuenta con el de continue (ver 2.3). Este mensaje ordena al secuenciador a ubicarse en determinado lugar de la canción.

byte de estatus: bin 1111 0010, dec 242, hex F2

formato: *byte* de estatus más dos *bytes* de datos, que indican la posición en cuartos de unidad de tiempo desde el inicio de la secuencia

El mensaje completo es:

Tabla XXI - Parámetros del Song Position Pointer

nº	tipo	binario	hexa	decimal	Comentario
1	Estatus	1111 0010	F2	242	song position pointer
2	data	0000 0000 a 0111 1111	00 a 7F	0 a 127	byte más significativo (MSB) de la posición en la canción
3	data	0000 0000 a 0111 1111	00 a 7F	0 a 127	byte menos significativo (LSB)

3.8.2 Song select

Similar a program change, pero para secuencias en lugar de *patches*. Selecciona una canción de la memoria para ser tocada al recibir el comando *start*.

Byte de estatus: bin 1111 0011, dec 243, hex F3

Formato: byte de estatus más un byte de datos

El mensaje completo es:

Tabla XXII - Parámetros de *song select*

nº	Tipo	binario	hexa	decimal	
1	estatus	1111 0011	F3	243	song select
2	Data	0000 0000 a 0111 1111	00 a 7F	0 a 127	nº de secuencia

3.8.3 *Tune request*

Este comando hace que todos los instrumentos del sistema realicen su rutina de afinación de acuerdo a su referencia interna.

Byte de status: bin 1111 0110, dec 246, hex F6

Formato: byte de estatus

2.3 system real time

Los cuatro primeros de estos mensajes están relacionados con el funcionamiento de secuenciadores.

Cuando se utilizan varios secuenciadores simultáneamente, es necesario sincronizarlos, de modo que el *clock* interno de uno de ellos, que funcionará como maestro, controle a todos los demás, que serán sus esclavos.

3.8.3.1 Timing clock

Controla la velocidad de funcionamiento de los secuenciadores esclavos, quienes obedecen a estos mensajes en lugar de sus relojes internos. El pulso es enviado por el secuenciador maestro a intervalos iguales, a razón de 24 veces por la figura que represente la unidad de tiempo.

byte de estatus: bin 1111 1000, dec 248, hex F8

formato: byte de estatus

3.8.3.2 Start

Manda empezar a tocar la secuencia actualmente en memoria desde el Principio (*song position pointer* 0).

Byte de estatus: bin 1111 1010, dec 250, hex FA

Formato: byte de estatus

3.8.3.3 Continue

Manda comenzar a tocar la secuencia desde el lugar de la última detención, o del señalado por el último *song position pointer*.

Byte de estatus: bin 1111 1011, dec 251, hex FB

Formato: byte de estatus

3.8.3.4 Stop

Manda detener el secuenciador.

Byte de estatus: bin 1111 1100, dec 252, hex FC

Formato: byte de estatus

3.8.3.5 Active sensing

Mensaje enviado cada tercio de segundo para verificar que el instrumento está conectado al sistema y respondiendo.

Byte de estatus: bin 1111 1110, dec 254, hex FE

Formato: byte de estatus

3.8.3.6 System reset

Ordena al aparato a resetearse, readoptando todas las variables los valores por defecto que tienen al encenderse.

bytes de status: bin 1111 1111, dec 255, hex FF

formato: byte de estatus

4. LA MÚSICA ELECTROACÚSTICA

4.1 ¿Qué es la música electroacústica?

La música electroacústica es una manifestación propia del siglo XX: tecnología y avances científicos más artistas, profetas, creadores, provocadores: aplicación, innovación, expresión, arte. Empezó como un experimento de inquietos modernos a la búsqueda de nuevos soportes para sus obras. Y entre la gesta, la ruptura y la expresión se hicieron necesarios lenguajes nuevos.

Las necesidades expresivas de los artistas y la disponibilidad técnica operaron simultáneamente. Esta etapa de experimentación-descubrimiento contaba con la tecnología justa para ser usada. Desde principios de siglo, la música había extendido su dominio al terreno del ruido, es decir, al sonido de altura indeterminada, o lo que es lo mismo, a otra clase de sonidos. Inmediatamente Edgar Varése, aparece con *Ionización*, conocida en 1933 como la primera obra occidental compuesta para instrumentos de percusión solamente, que, siendo rigurosos con la historia, si se encumbra la primera obra de estas características, corresponde correr el cubano Roldán que en 1930 había compuesto su *Rítmica 5* para percusión, que no gozó de la popularidad ni la difusión del primero.

De la misma manera que se asistió al nacimiento de distintos sistemas musicales, que rompieron con el reinado de la tonalidad clásica, los compositores recurrieron al reemplazo en el campo de las fuentes.

La música electroacústica parece definirse en un primer momento por su fuente de producción: según el diccionario **Harvard** de la especialidad, la música electroacústica “Es aquella producida por medios electrónicos. Se incluye la música producida en cinta magnetofónica con medios completamente electrónicos como los del sintetizador y la computadora y que posteriormente se reproduce por altoparlantes; música creada en sintetizadores, en ejecuciones en vivo; música creada por grabación y modificación electrónica de toda clase de sonidos no electrónicos (música concreta) y música que combina uno o más tipos anteriores con cantantes y ejecutantes de instrumentos convencionales en vivo”. (Consultar referencia bibliográfica 9).

Teniendo en cuenta, entonces, que la música electroacústica no trabaja con notas o sonidos sino con objetos sonoros, es pertinente hablar de una unidad-signo, objeto sonoro que cobra valor y significación en la obra en la que está funcionando. Complejos de sonidos, complejos compactos, únicos, petrificados, vueltos piedra para siempre, enigmas al oyente, fórmulas logradas, registradas, guardadas en formato digital en la actualidad. Cada decisión que tome el compositor en el tratamiento del material, va a corresponder a una innovación, cada material se inventa y se agota en el mismo ámbito y al mismo tiempo, junto con él las leyes que gobiernan su presencia, quien compone y ejecuta. Anuladas las instancias tradicionales de autor, intérprete, modificación, reinterpretación, la obra electroacústica se convierte en un terreno cuya organicidad y unicidad quedan reducidas en un ejemplar a un ejemplar.

4.2 Historia de la música electroacústica

La historia comienza en Francia, o érase una vez un francés a mediados del siglo XX, precisamente en 1948 y en la **Radio Nacional** de París. Pierre Schaeffer, un compositor de 38 años de edad que comienza a componer reemplazando los sonidos provenientes de instrumentos por otros tomados del ambiente natural y transformados mediante medios electrónicos -filtros y sintetizadores - en objetos sonoros. A partir de procedimientos de superposición y yuxtaposición, posibles gracias al grabador y a la cinta magnética, se montaba la obra. Podrían mencionarse: *La Sinfonía para un hombre solo* (1950) y la ópera ballet electrónica *Oreo* (1953).

Así, este hombre en su laboratorio crea lo que él mismo llamará la música concreta. A partir de entonces se congregaron en torno a él, un grupo de compositores, como Pierre Henry y Francois Bayle. Con el apoyo de la radiodifusión francesa crearon un servicio especial para la difusión y el desarrollo de estos experimentos, contemporáneos en toda Europa.

En 1951, la radiodifusión francesa ofrece sus estudios a otro grupo de compositores que, si bien no formaban parte del grupo, estaban interesados en este tipo de tratamiento y transformación del sonido por medios electrónicos. Entre estos compositores cabe mencionar a Pierre Boulez y Olivier Messiaen, ambos interesados en las nuevas tendencias musicales e involucrados en el movimiento serial. A partir de estas investigaciones, Boulez estrena al año siguiente sus *Estudios I y II* basados en elementos concretos trabajados bajo la técnica serial.

Por la misma época la **Radio de Colonia** en Alemania, bajo la mano de Herbert Eimert, crea el primer estudio de música electrónica, allí trabajaron Stockhausen, Ligeti, Koenigft. Y aunque la música electrónica no sea lo mismo que la concreta, ambas responden a un semejante principio compositivo.

El movimiento de la música concreta tomaba la materia prima de la realidad y lo transformaba por un medio mecánico. La Electrónica generaba por medios electrónicos desde el sonido mismo, idea deudora de los postulados de la música serial, y transformada en la más serial de todas las composiciones, ya que la racionalización partía desde el primer instante: ¿había que hacer la materia prima?, ¿sintetizarla?

Hoy la denominación electroacústica parece ser la más apropiada. El término electrónica esta actualmente asociado a la música industrial y el término concreto suele resultar insuficiente para muchas obras.

4.3 La música electroacústica en Guatemala

A principios de la década de los 70, en Guatemala, tanto como Latinoamérica, se presenta una corriente en los compositores de la época dando su lugar a la identidad cultural y las fuentes de tradición popular.

Es así como en 1971, Joaquín Orellana estrena su obra *Humanofonía*, para orquesta y cinta magnética, utilizando por lo tanto, elementos no digitales, sino analógicos. Surge luego la obra electroacústica *Trópico* en 1977, compuesta por Igor de Gandarias, entre otras varias más, tal como *Conquista 2* en 1988 y *La feria fantástica* en 1995

Cabe mencionar también la combinación de recursos digitales y marimba, que se produce con David de Gandarias en su obra *Percusos de hormigo senderos de silicio* creada en 1997.

4.3.1 Compositores de música electroacústica guatemaltecos

4.3.1.1 Joaquín Orellana (Guatemala)

Nació en la Ciudad de Guatemala en 1937. Estudió violín y composición en el Conservatorio Nacional de Música de Guatemala entre 1949 y 1959. Estuvo entre los compositores becados para estudiar y componer en el Centro Latinoamericano de Altos Estudio Musicales del Instituto Torcuato Di Tella en Buenos Aires, Argentina, entre 1967 y 1969.

Orellana ha utilizado medios electrocústicos, entre otras obras, en: *Contrastes* (ballet) de 1963, para orquesta y cinta, cuya parte de cinta fue realizada en un estudio de grabación comercial en Guatemala; *Metéora* de 1968, para cinta, realizada en el CLAEM - Instituto Di Tella in Buenos Aires; *Humanofonía* de 1971, para orquesta y cinta, realizada en Guatemala, y *Humanofonía* para cinta sola, siendo la grabación la misma de la pieza homónima para orquesta y cinta original; *Malebolge (Humanofonía II)* y *Entropé* de 1972, ambas para cinta; *Primitiva I*, *Asediado-Asediante* e *Itero-tzul* de 1973, todas ellas para cinta; *Sortilegio* de 1978 para cinta; *Rupestre en el futuro* para cinta; *Imágenes de una historia en redondo (imposible a la equis)* de 1980, también para cinta; *Híbrido a presión* de 1982, para 2 flautas, instrumentos especiales y cinta; *Evocación profunda y traslaciones de una marimba* para marimba, coro, 5 flautas dulces , recitante y cinta, de 1984; e *Híbrido a presión II* de 1986, para 2 flautas, instrumento especial y cinta.

Ha desarrollado numerosos útiles sonoros con los cuales ha logrado proyectar novedosas propuestas tímbricas. Ha sido profesor de varios cursos de música contemporánea de sudamérica y ha obtenido importantes galardones internacionales por su obra. Ha publicado el disco compacto *Ramajes de una marimba imaginaria* en el que se resumen muestras de su obra de vanguardia, su proyección folklórica y sus exploraciones del vals criollo frente a su quinteto de cuerdas Pentaforum.

4.3.1.2 Igor de Gandarias (Guatemala)

Nació en Guatemala en 1953. Realizó estudios en el Conservatorio Nacional de Música y el Departamento de Arte de la Facultad de Humanidades de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Fue becado por los programas de Fulbright y OEA prosiguió estudios de Maestría y Doctorado en la Universidad Católica de América, la Universidad de Maryland y el Conservatorio de Peabody en USA, especializándose en composición y música electroacústica.

Su trabajo creativo muestra pronunciado interés por proyectar y magnificar musicalmente, las esencias culturales de raíz indígena y mestiza de la sociedad Guatemalteca.

Evocaciones sonoras del misticismo y las creencias del guatemalteco surgen bajo dramáticas y delicadas perspectivas electroacústicas multimediales en *Cadenas cromáticas* (1982) y *La feria fantástica* (1998). Su estimación por las expresiones musicales tradicionales propias de fiestas y celebraciones populares, se manifiesta al emplear y elaborar orquestalmente sus particulares formas de comportamiento en *Guarimba* (1993) y *Desde la infancia* (1994).

Finalmente, el manejo del fonema indígena así como el proceso compositivo sobre piezas vernáculas, empleando los conjuntos originales de instrumentos, como sucede en *Conquista 2* (1988) - para chirimía, tambor y computadora - o en *Circunstancial II* (1990) - para coro, cinta magnética y tzijolaj - confirman su consistente valoración de las expresiones culturales de su país.

Sus composiciones abarcan música de cámara, sinfónica y electroacústica y han sido interpretadas fuera de Guatemala en México, Brasil, Costa Rica, República Dominicana, Francia, USA y Venezuela. Se ha desempeñado como profesor del Conservatorio Nacional de Música y en el Departamento de Artes de la Facultad de Humanidades de la Universidad de San Carlos de Guatemala y actualmente desarrolla trabajo de investigación y promoción de música académica guatemalteca.

4.3.1.3 David de Gandarias (Guatemala)

Nació en la Ciudad de Guatemala en 1952. Graduado en música electrónica en el Conservatorio Gioacchino Rossini de Pesaro, Italia, y en piano en el Conservatorio Nacional de Guatemala.

Con estudios de especialización en el Departamento de Sonología Computacional de la Universidad de Padua y en el laboratorio electrónico del Conservatorio Santa Cecilia de Roma. Estudió ingeniería musical en el Departamento de Investigación y Desarrollo de proyectos digitales (DDR) de la GEM en Mondaino, Emilia Romagna.

Se ha desempeñado como compositor e ingeniero musical, realizando también labor como percusionista, pianista, productor discográfico y productor radial y de televisión; como ingeniero proyectista de instrumentos musicales electrónicos ha participado en la extensión de más de una docena de proyectos instrumentales digitales, así como en el diseño de sistemas computarizados para el tratamiento de la señal acústica.

Como compositor ha escrito música instrumental para diversos grupos y para solistas, su mayor producción está constituida por su trabajo con los medios electroacústicos y multimediales. Su obra compositiva se caracteriza por su compromiso con lo social y la búsqueda de un lenguaje personal basado en las propias raíces, a partir de la investigación de la tradición popular. Su trabajo está sellado por la experimentación y la aproximación fenomenológica en la concepción de la estructura musical.

Ha editado, entre otros, el CD *Percursos de hormigo, senderos de silicio* en 1998, primer trabajo realizado en la región centroamericana para marimba completa y computadora; y en el 2002 el CD *LABUGA*, primer montaje intercultural de su género realizado en Centroamérica.

5. ANÁLISIS DE ELEMENTOS DIGITALES UTILIZADOS EN OBRAS ELECTROACÚSTICAS GUATEMALTECAS

5.1 Obra *Conquista 2*

La obra *Conquista 2*, creada por el Dr. Igor de Gandarias en el año de 1988, es pionera en la utilización de recursos digitales y sampleo en Guatemala, ya que se utilizaron las innovaciones digitales recién salidas al mercado en la segunda mitad de la década de los ochentas.

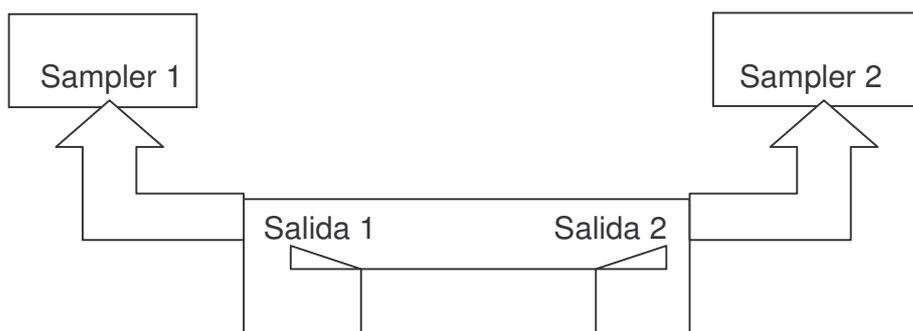
5.1.1 Datos generales de la obra

- Nombre: Conquista 2
- Compositor: Igor de Gandarias
- Año de creación: 1988
- Pais: Guatemala
- Creada para: Chirimía, tambor, dos *samplers* y secuenciador.

5.1.2 Datos técnicos de la obra

5.1.2.1 Configuración MIDI

Figura 15 - Configuración MIDI



5.1.2.2 Sampler y secuenciador

Figura 16 – Sampler Roland S-50

- *Sampler*



Marca	Roland
Modelo	S-50
Polifonía	16 voces
Sampler	12-bit, 30kHz, variable
Memoria	750 kb, 28.8 segundos
Teclado	61 teclas con velocidad y respuesta al tacto variable
Fecha de salida al mercado	1986-1987
Precio aproximado	\$600-\$800

- Secuenciador

Figura 17 - Secuenciador Roland MC-500



Marca	Roland
Modelo	MC-500
Pistas de grabación	4 pistas en tiempo real o grabación pausada
MIDI	16 canales
Almacenamiento	Unidad de disquete de 3.5"
Capacidad	Hasta 100,000 notas (eventos MIDI) por disquete.
Fecha de salida al mercado	1986
Precio aproximado	\$280

5.1.2.3 Notación específica de la obra

Figura 18 - Notación específica de la obra "Conquista 2"

NOTATION:

Drum Rim shot →
Head drum →



Sampler 1 1 Chirimia



Sampler 1 plays on assigned Key 1 (See Chart)
The key is depressed 3 times (as a result a superimposition of the motive assigned to that key is achieved)

Publicada con permiso del autor Dr. Igor De Gandarias

Traducción libre del texto contenido en la imagen:

Rim shot: Golpe al borde del tambor

Head shot: Golpe en la membrana del tambor

Mensaje inferior derecho: El sampler 1 toca la tecla 1 asignada (ver gráfica). La tecla es liberada 3 veces (como resultante da una superimposición del motivo asignado a esa tecla, es acumulado).

5.1.3 Elementos musicales logrados en la obra

Existen en la *Conquista 2*, elementos musicales muy interesantes, que son llevados a cabo a partir de la manipulación y configuración de parámetros, tanto en el momento de la creación y edición de dicha obra, como en el momento de su ejecución en vivo.

5.1.2.2 Prolongación de una nota

La prolongación de una nota se da a partir de la extracción interna de una evento sonoro, y su inmediata inserción en un punto específico. Un ejemplo se da en el muestreo de las notas fijas de la chirimía, situación en la cual el autor requiere que ciertas notas se prolonguen por un tiempo indefinido. En este caso se aplica un ciclo (*loop*) sobre la muestra.

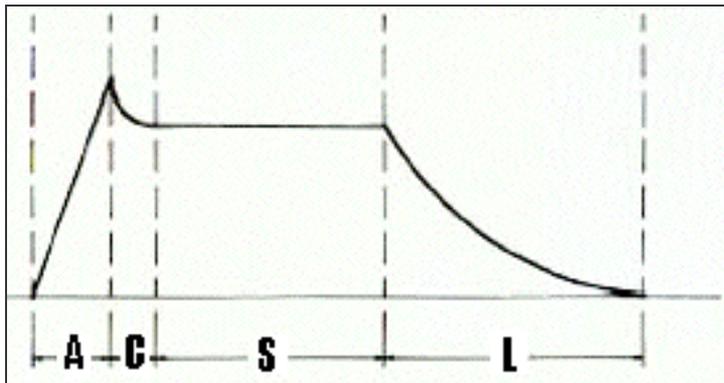
5.1.2.3 Matices

Los matices, en lenguaje musical, son como los colores en un elemento visual. El matiz es el carácter, es la intención de la nota o del motivo en sí. La modificación de tal parámetro, es posible a través del correcto uso del envolvente de la muestra. Es importante mencionar que el envolvente de un evento está constituido por cuatro parámetros que son:

- Ataque: tiempo de elevación del sonido.
- Caída: inicio de la caída del sonido, típicamente muy corto.
- Sostenido: tiempo en el que el sonido debe mantener continuidad, la misma energía.
- Liberación: tiempo que tarda desde el sostenido hasta llegar a un nivel prácticamente inaudible.

Estos parámetros son mostrados gráficamente en la figura 19.

Figura 19 – Matices



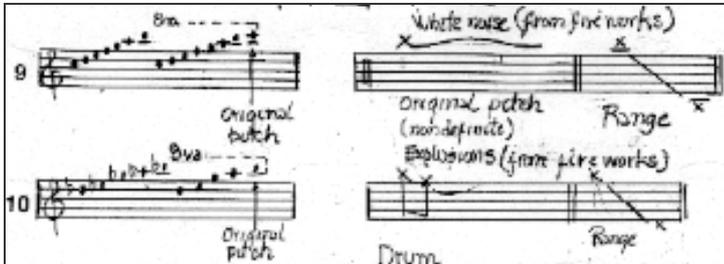
5.1.2.4 Multifonía

La multifonía es interpretada como la sobreposición de notas, una o varias notas sonando al mismo tiempo. Es muy común confundir este término con *polifonía*, término que representa también la sobreposición de notas o motivos, pero las técnicas y metodología asociadas a esta va amarradas a un estilo, a una época de composición, musicalmente hablando.

La multifonía en el campo técnico, se logra a través de la asignación de un sonido muestreado, a uno o varios eventos MIDI, lo cual da como resultado que la incidencia de estos eventos MIDI intercalados en el tiempo representen varios eventos sonoros actuando simultáneamente. Se da mediante el *split* o división del teclado.

La gráfica 20 a continuación muestra la división de eventos MIDI, asignados a un rango de teclas.

Figura 20 - Multifonía



Publicado con la autorización del Dr. Igor de Gandarias

5.1.2.5 Transformación del tímbrico sonoro

La transformación del timbre del sonido, que como se mencionó en el capítulo 1, está formado por las armónicas de la forma de onda, puede darse a través de la aplicación del *vibrato*, efecto compuesto de dos parámetros específicos:

- Profundidad: la variación estándar de la frecuencia original.
- Velocidad: la frecuencia de la modulación.

5.1.2.6 Fragmentación melódica

La fragmentación melódica es un elemento musicalmente muy interesante, logrado a través de la segmentación de los varios motivos que forman el tema general de la obra.

Esta segmentación es realizada a partir de la modificación digital de las muestras en el Roland S-50. Cada motivo segmentado es asignado, como se anotó anteriormente, a un evento MIDI. Lógicamente, el secuenciador Roland M-500, al contar con la programación de la secuencia lógica de eventos MIDI, existe una secuencia de motivos que conforman el tema general de la obra. Se muestra gráficamente en la figura siguiente; cada grupo de notas conforma un motivo, desarrollado cada uno de éstos a lo largo de la obra.

Figura 21 - Fragmentación melódica

The image displays five musical staves, numbered 4 through 8, illustrating melodic fragmentation. Each staff shows a sequence of notes on a five-line staff. Staff 4 begins with a treble clef and a key signature of one flat (B-flat). The notes are G4, A4, B-flat4, C5, D5, E5, F5, G5. Staff 5 starts with a single note G4. Staff 6 starts with a single note G4. Staff 7 starts with a single note G4 and a dynamic marking of *ppp*. Staff 8 starts with a single note G4. The right side of each staff shows a more complex melodic line with annotations: 'Chirrido' above the notes, 'loop' above the end of the line, and 'ppp' at the end. The notation includes various note values, stems, and beams, indicating a specific rhythmic pattern.

Publicado con la autorización del Dr. Igor de Gandarias

La figura 21 despliega un fragmento de la notación musical asociada a la obra Conquista 2, y la forma en como cada motivo, ya tratado digitalmente, denotado por las indicaciones de ciclo y envolvente, es asignada a un evento MIDI, mostrado en la columna izquierda.

5.1.2.7 Inflexión

La inflexión de una nota es un evento generado a partir de la modificación controlada de frecuencia del sonido afectado, a una velocidad regularmente alta.

Figura 22 - Inflexión



Publicado con la autorización del Dr. Igor de Gandarias

5.1.3 Proceso de creación, edición y reproducción

Los pasos generales para la creación de esta obra fueron los siguientes:

1. *Muestreo (grabación digital) de las diversas fuentes sonoras:* en el caso de la presente obra se cuenta con varias fuentes sonoras, pero la chirimía y el tambor tienen un rol protagónico. En la gráfica se presentan algunas asignaciones realizadas en el *sampler* Roland S-50, con indicaciones propias del autor.

Es necesario mencionar la incidencia de un hecho importante, y es que el muestreo es realizado tanto sobre una nota fija, como en uno o varios motivos. Estos motivos, formando un tema, son musicalmente desarrollados a través de la obra.

Figura 23 - Fuentes sonoras



Publicada con el permiso del autor Dr. Igor de Gandarias

2. *Tratamiento de los motivos:* de esta manera se trata digitalmente la señal grabada para este fin. La figura 23 muestra indicaciones de ciclo (*loop*) sobre el tema previamente grabado y asignado a un evento MIDI, en este caso, específicamente a una nota: Bb, D, F y Bb, respectivamente. Es importante notar que las operaciones se realizan tomando como base la simbología musical. Las barras de repetición significan para cada tema el inicio y fin de cada ciclo. Parámetros como el envolvente son tomados en cuenta también en la edición digital del sonido.

3. *Secuenciación*: la secuenciación consiste en colocar en un orden lógico los eventos MIDI asociados a la obra. En sí, una secuencia es una serie de eventos parametrizados por canal. Estos eventos son enviados a cada *sampler*, por lo cual un evento tiene un efecto, una incidencia sonora en la obra.

4. *Interpretación*: una obra electroacústica puede ser interpretada en vivo. En esta etapa el compositor, que actúa regularmente como ejecutor y director al mismo tiempo en este tipo de obras, coordina la parametrización dinámica indicada en la partitura original.

Dentro de las modificaciones paramétricas en vivo se tienen:

- Retardo (*delay*)
- Configuración de velocidad y profundidad de la vibración de determinada muestra
- Configuración y manipulación del envolvente

5.2 Obra *La feria fantástica*

La obra *La feria fantástica*, creada por el Dr. Igor de Gandarias en 1995, presenta registros sonoros de campo realizados durante la feria de Jocotenango, que es la fiesta popular de carácter religioso más importante de la ciudad de Guatemala.

El proceso de creación de esta obra, es diferente al de la obra anterior. Para su realización se utilizó una estación de trabajo *Fairlight 3 Series*, ubicada en el laboratorio de música electrónica del Departamento de Música de la Universidad de Maryland; esta engloba los componentes mencionados en una sola estación, un computador creado específicamente para el tratamiento de audio digital. Esta obra fue mencionada en la lista de ganadores del XXIII Concurso Internacional de Música Electroacústica de Bourges, Francia, en el año de 1997.

5.2.1 Datos generales de la obra

Nombre: La feria fantástica

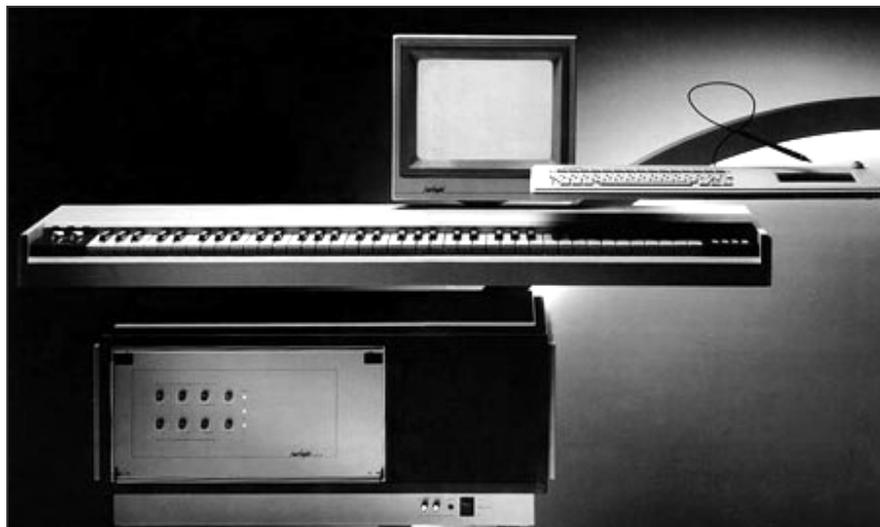
- Compositor: Igor de Gandarias
- Año de creación: 1995
- País: Guatemala
- Tipo: Electroacústica

5.2.2 Datos técnicos de la obra

Para la realización y creación de *La Feria Fantástica* se utilizó, como se mencionó, una estación Fairlight de la cual, a continuación, se muestran las características técnicas más importantes de ella.

5.2.3 Estación de trabajo Fairlight 3 Series

Figura 24 - Estación de trabajo Fairlight



Fuente: Archivo publicitario de estaciones Fairlight, año 1987

- Sistema de voces
 - 16 voces simultáneas, expandibles hasta 80, con racks externos.
 - Muestreo de con longitud de palabra de 16 bits y hasta de 50kHz (100Khz en monoaural)
 - 14MB de RAM, que permite hasta 2 minutos de muestreo a 50kHz, para los 16 canales disponibles

- 12 microprocesadores:
 - 10 - 6809 de Motorola
 - 2 - 68000 de Motorola
- *Software* editor de ondas, permite realizar extensivos análisis de Fourier
- MIDI: 3 entradas y 4 salidas
- Almacenamiento
 - Disquetera de 8" (1 MB)
 - Disco duro SCSI de 70 o 110 MB
 - Cinta de 60MB opcional
- Secuenciación
 - Composición a base de texto por medio del *Music Composition Language* (MCL, Lenguaje de Composición Musical)
 - Secuenciador rítmico de 16 canales en modo gráfico
 - *Composer Arrangement Performer Sequencer* (CAPS, Compositor Arreglista Ejecutante Secuenciador): Más de 80 canales multifónicos asignables a voces internas o externas programables a partir de MIDI.
 - Teclado de 6 octavas, con implementación MIDI y ruedas de modulación e inflexión
 - Dos puertos seriales y puerto de TELNET

Esta poderosa estación de trabajo de sonido digital, estuvo disponible a partir de la segunda mitad de 1986. Las tendencias de esta estación de trabajo iban hacia formar una poderosa computadora, con todos los elementos de una computadora casera de hoy día.

También debe mencionarse la limitación de almacenamiento con la que se contaba en esa época, tanto en memoria primaria (RAM) como en memoria secundaria (HD, FD), ésta segunda es un tipo de almacenamiento vital y que se necesita en grandes cantidades para trabajar con audio de calidad.

5.2.4 Notación específica de la obra

La notación de *La feria fantástica* presenta pocas variantes con relación a la obra presentada anteriormente. Es la forma de trabajo la que varía con lo anterior, en el hecho de que se utilizó diferente equipo, que permitía trabajar con una metodología muy parecida en sus partes fundamentales con la que se utiliza actualmente.

Se puede mencionar que fue utilizada notación específica internamente, es decir, con relación a las fuentes sonoras que se utilizaron, ya que en cantidad y tratamiento son bastante complejas. Dentro de las fuentes sonoras se tienen:

- **Voces:** indígenas hablando, coro de niños, el canto de una congregación.
- **Música:** banda procesional, marimba.
- **Sonidos:** campanas de iglesia, campana de un vendedor de helados, juegos electrónicos.
- **Juguetes tradicionales:** pito de feria, forlon y ron-ron.

5.2.3 Elementos musicales utilizados en la obra

En la presente obra, los elementos musicales utilizados no cambian en gran forma con respecto a la obra anterior; la teoría se mantiene, la forma cambia.

5.2.3.1 Prolongación de una nota

Como se mencionó, en la obra anterior este elemento alarga la nota indefinidamente, y es utilizado también en *La Feria Fantástica*. Es posible escuchar muestras de lo indicado con instrumentos como:

- Pito de feria
- Forlón
- Chicharra zumbadora o ron-ron
- Voces, las descritas
- Marimba

5.2.3.2 Matices

Los matices son utilizados casi en todos los componentes sonoros de la presente obra. Es importante recordar que las fuentes de sonidos provienen de una feria citadina, en donde el desorden y los volúmenes desiguales de diferentes sonidos actúan. A lo largo de la obra, el apareamiento y desvanecimiento controlado de todos los elementos sonoros, recrean dicha situación.

5.2.3.3 Multifonía

La multifonía puede escucharse claramente, con la sobreposición los juguetes tradicionales a lo largo de la obra. Es evidente que el sonido de un pito de feria, está conformado por una nota a la vez, el de un ron-ron es siempre el mismo, también. Mediante la sobreposición de varios sonidos de pitos de feria, se llega a la creación de acordes, siendo éste un sonido conformado por 3 o más notas, en la notación musical tradicional.

5.2.3.4 Transformación del tímbrico sonoro

La transformación del tímbrico sonoro, es un elemento bastante utilizado en esta obra. Se evidencia se denota claramente en el uso de este sobre los juguetes tradicionales y los juegos electrónicos; dos elementos que se confrontan en cierto segmento de dicha obra. Este efecto es utilizado también en para la transformación de la música muestreada, la música de banda de procesión y en muy pocas ocasiones la marimba.

5.2.3.5 Inflexión

Nuevamente, es utilizada la inflexión (*glissando*). En este caso los protagonistas principales vuelven a ser los juguetes tradicionales: el pito de feria, el forlón y el ron-ron.

5.2.4 Proceso de creación, edición y reproducción

1. **Muestreo** (digitalización de eventos sonoros): el muestreo de audio, como se mencionó fue usado en su totalidad en la Feria de Jocotenango, y se utilizó para ello, una grabadora digital de cinta, conocida como DAT (Digital Audio Tape) .
2. **Tratamiento de los motivos** el tratamiento total de los motivos y fuentes sonoras originales se realizó en la estación de trabajo Fairlight. Aquí sale a relucir un hecho importantísimo: **la tecnología informática como medio de edición y secuenciación de sonidos para crear música electroacústica.**
3. **Secuenciación:** como en el punto anterior, no se necesitó de algún otro equipo, más que de la estación de trabajo. La totalidad de eventos MIDI, fueron colocados en un orden lógico dentro de la misma estación. Dada la gran capacidad de la misma, permite más libertad al compositor.

4. **Ejecución en vivo:** al ser esta obra, completa y totalmente electroacústica, permite que la ejecución en vivo esté automatizada. No son necesarios ejecutantes en vivo, porque la totalidad de fuentes sonoras fueron editadas, y los eventos de ejecutantes en tiempo real no existen. Salvo interpretación del director de tal obra, es donde se requiere “la humanización”, la incidencia del hecho momentáneo, el estado del ejecutante, que en su caso, puede designar para determinados pasajes importantes. Y resalta otro hecho importantísimo: la **tecnología informática como ejecutante, a través de la programación y edición de las fuentes sonoras por parte del compositor.**

6. TENDENCIAS Y NUEVAS TECNOLOGÍAS

6.1. *Software* y *hardware* de edición digital de sonido y MIDI

6.1.1 *Software* editor de ondas

En cuando a la edición del audio, la gran mayoría de las funciones son destructivas, es decir alteran los datos originalmente grabados, eso sí, ofrecen historial de procesos *Undo* (Deshacer) con lo que recuperar las distintas versiones del audio. Gran parte de la edición de los editores de audio se basa en procesos utilizados en el proceso de masterización, es decir la creación del archivo final.

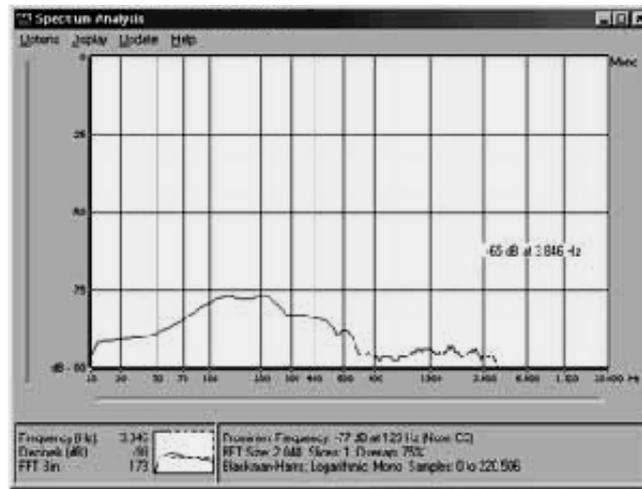
Estas herramientas son procesos de ecualización, dinámica y *dithering* mayoritariamente. El *dither* es un sistema de reducción del ruido y distorsión producido por el truncamiento de bits (al pasar de 24 a 16 bits) o incluso en pasajes de música en que se utilizan menos bits para representar la señal (música clásica con baja dinámica por ejemplo). El *dither* añade un tipo de ruido que elimina el ruido *aliasing* automáticamente. Se incluyen, naturalmente, otros procesos no tan comunes en la masterización, como pueden ser efectos tipo reverberación, todo tipo de retardos (*delay*) y efectos de modulación (*chorus*, *flanger*, *wha-wha*, *ensemble*) y reducción de la calidad (distorsión y reducción de *bits*). Cabe destacar que los algoritmos de los procesos destructivos (no a tiempo real) deben tener más calidad que los procesos a tiempo real ya que no existe una exigencia de rapidez de proceso pues el resultado no debe entregarse a tiempo real.

Por otro lado, al ser procesos destructivos, los editores de audio suelen incluir utilidades de proceso y conversión por lotes, es decir, poder listar "x" archivos de audio, seleccionar los procesos a aplicar y que el programa se encargue del resto. Otro aspecto importante son las funciones de medición, análisis y estadísticas del audio. A parte de mostrar espectrogramas del audio (representaciones del audio dependiendo de la amplitud y frecuencias).

El eje horizontal de la figura 25 y la figura 26, que se despliega en la página siguiente muestra las frecuencias, y el vertical la amplitud (nivel) de éstas, es decir que se visualiza la amplitud de cada frecuencia y eso indica la "cantidad" de graves, medios y agudos del audio. Como el audio es un evento que se sucede en el tiempo, el análisis de "x" tiempo de audio daría como resultado espectrograma en cascada que indicará las variaciones de la amplitud (léase volumen) de las frecuencias en el tiempo. El espectrograma utiliza el modelo de análisis de **Fourier**. Existen variaciones como el *sonograma* que muestra el contenido de frecuencias en forma de colores formando gráficos muy buenos.

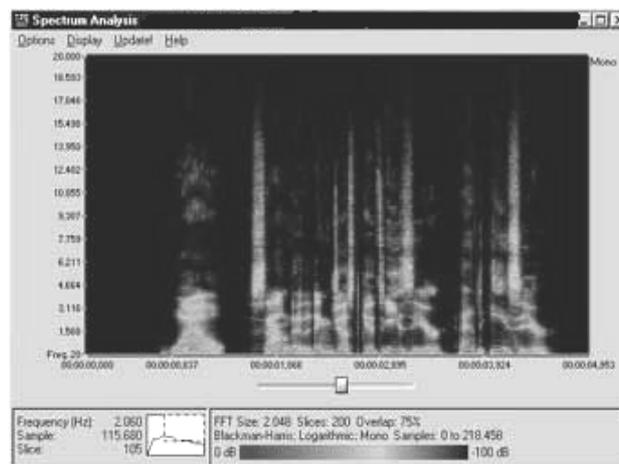
A partir de este análisis son visibles gráficamente las componentes armónicas de cierta forma de onda, que a su vez forma el timbre característico a cada forma de onda por analizar. Con la manipulación del timbre, de la cual se habló en el capítulo anterior, sale la modificación tímbrica del sonido muestreado, elemento muy comúnmente utilizado por el compositor de obras electroacústicas.

Figura 25 - SoundForge 5.0



Fuente: Programa SoundForge 5.0 de Sonic Foundry

Figura 26 - SoundForge 5.0



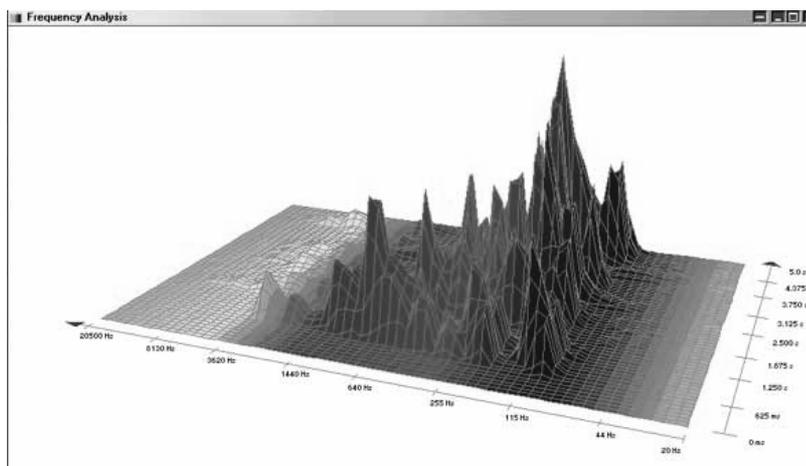
Fuente: Programa SoundForge 5.0, de Sonic Foundry

Las estadísticas de audio nos indican el volumen máximo y mínimo del audio, volumen medio, duración, picos máximos, desviaciones del eje 0 (DC-Offset), etc.

Existen funcionalidades extra que pueden ayudar en el mundo del video; por ejemplo, extraer el audio de una película digital, procesarlo (o sustituirlo) y volver a montar la película final. Otra funcionalidad extra (aunque anteriormente muy utilizada, antes de la aparición de los secuenciadores MIDI / audio) son las listas de reproducción. Creando regiones (marcando fragmentos del audio y dándoles un nombre) para, posteriormente, situar su orden de reproducción en una lista virtual.

También es importante resaltar las funciones de exportación del audio. En ese sentido las opciones son muy completas aunque destaca una curiosidad: .los codificadores mp3 suelen pagarse; es decir suelen ser opciones extra con un precio extra. El resultado obtenido con éstos es superior a los codificadores mp3 *shareware* que se encuentran en Internet, como por ejemplo el popular algoritmo *Fraunhofer IIS*.

Figura 27 - Wavelab 3.0

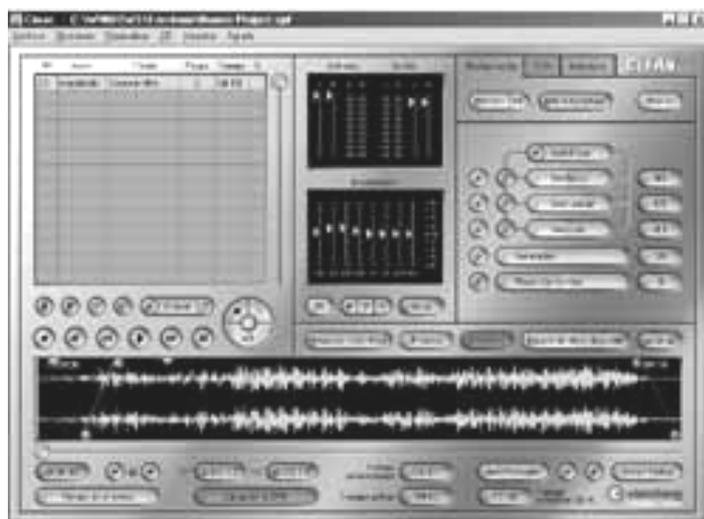


Fuente: Programa Wavelab 3.0, de Steinberg

La última funcionalidad propia de estas aplicaciones es también el último proceso en el largo camino de creación de un disco; la creación del CD. Aunque existen varias aplicaciones *shareware* que permiten crear un CD de audio, los editores incluyen edición de las pistas del CD gráfica utilizando formas de onda en las que podemos crear fundidos de volumen de entrada y salida entre otras avanzadas funciones, aunque no tan centradas como un *software* de creación de CD de pago, como por ejemplo *Get it On CD* de *Steinberg* que ofrece la posibilidad de crear CD en todos los formatos disponibles incluyendo, naturalmente, CD de audio.

Existe un grupo muy pequeño de editores de audio dedicados a procesos muy concretos. Podemos hablar de aplicaciones de restauración de audio como *Clean 3.0* también de *Steinberg* (programas que sólo se dedican a recuperar la calidad del audio suprimiendo artefactos y ruidos), creación y edición de *loops* rítmicos (efecto explicado en el capítulo 5) como *ReCycle* de *Propellerhead*, entre otros.

Figura 28 - Steinberg Clean 3.0



Fuente: Clean 3.0, de Steinberg

6.1.2 **Software** editor de multipistas de audio digital

Los multipistas de audio son aquellas aplicaciones que permiten grabar, manipular y mezclar audio digital. Estos programas pueden reproducir varios archivos de audio de forma simultánea, es decir, al mismo tiempo en forma de pistas. Por esta razón, los archivos de audio de la canción deben poseer el mismo formato (mismos kHz y bits) aunque existe un grupo de programas muy selecto que realiza una conversión de archivo a tiempo real en el caso de que los archivos posean un formato distinto.

En las pistas el audio se dispone en forma de regiones o clips de audio, que son una representación virtual de un fragmento del audio del disco duro. Es posible repetir de forma muy sencilla y rápida estos fragmentos, aplicarles curvas de volumen y construir, en general, un nuevo "arreglo" de la canción mediante la reestructuración de los fragmentos. Las pistas están asociadas a un mezclador que permite la producción de audio y mezclas. Cada pista posee un canal en dicho mezclador en el que se puede ajustar el volumen, panorama, ecualización, insertar efectos (plug-ins en distintos formatos) etc... La mezcla se realiza a tiempo real lo cual supone que son aplicaciones muy exigentes con la computadora, consumen muchos más recursos que un editor de audio (baste decir que **Sound Forge 4.0** puede funcionar en un 486 a 66Mhz y 32 Mb de memoria RAM). Un multipistas de audio requiere una tarjeta de audio profesional que aparte de una buena calidad de audio posea un chip DSP que acelere la gestión y transmisión del audio liberando la computadora de esta tarea. Estas tarjetas suelen incluir un tipo de *drivers* (controladores por *software* del *hardware*) muy especial con tiempos de latencia (tiempo de respuesta de las ordenes de audio) muy bajos.

Existen *drivers* tipo **ASIO** (de Steinberg, código abierto), **EASI** (de Emagic, muy similar a ASIO), **DAE** (de Digidesign, un *driver* que incluye todo el manejo del motor DSP de **Pro Tools**) y **E-WDM** (de Ego-Sys, un formato que mejora el nuevo **WDM** o *Windows Model Driver* de Microsoft®. Este formato es muy nuevo). Estos *drivers* deben ser proporcionados por los fabricantes de las tarjetas de audio profesionales, el más común es, sin duda alguna y con diferencia el formato **ASIO (ASIO 2.0** en la actualidad). Los *drivers* multimedia normales son los llamados **MME** o **Microsoft Multimedia Extensions** y **Direct X**.

Los multipistas de audio incluyen una breve edición de audio, es decir, algunas funciones propias de un editor de audio que suelen ser destructivas. No poseen, sin embargo, funciones de importación / exportación de muestras vía MIDI o SCSI, herramientas de análisis o listas de reproducción (para eso ya tiene las propias pistas de audio, cada pista es en realidad una lista de reproducción.) Las funciones de procesado de volumen, dinámica y efectos se calculan de forma independiente por cada pista aunque la mesa virtual suele incluir sub-buses, envíos y retornos de efectos tanto internos (por *software*) como externos (utilizando las entradas y salidas de la tarjeta, para lo cual ésta debe poseer múltiples entradas y salidas de audio.) El proceso de los efectos puede ser de dos tipos (que pueden combinarse entre sí)

- **Proceso por DSP físico:** los efectos son procesados por chips DSP ubicados en tarjetas PCI específicas, el ejemplo clásico es Pro Tools, un excelente *software* acompañado de una potente tarjeta con 6, 12 o 18 *chips DSP* ampliable. En este caso la computadora solamente gestiona los gráficos del programa y realiza un control exhaustivo de todos los procesos, pero en ningún caso requiere una ingente cantidad de recursos (léase Mhz de velocidad de proceso).

Los efectos DSP existen porque un mismo fabricante desarrolla el *hardware* (la tarjeta DSP) y el *software*, lo cual supone una dependencia hacia ese fabricante. No obstante esta es la solución más profesional, sin duda alguna. En la figura 29 se muestra el chip DSP56301 de Motorola, utilizado actualmente por la mayoría de fabricantes.

Figura 29 - Chip DSP



Fuente: Sitio web de Motorola www.mot.com

- **Proceso nativo:** los efectos nativos son los más comunes y no requieren una tarjeta PCI con chips DSP específica. Utilizan la CPU de la computadora, (Pentium, G4 de Apple, etc.), para calcular los efectos a tiempo real. En este caso, la computadora debe realizar lo mismo que antes (gráficos y control de las funciones) y todos los cálculos del audio (mezcla, efectos) lo cual requiere una gran cantidad de recursos, pero evita depender de un único fabricante.

6.1.3 Secuenciador MIDI y audio digital

Si un *software* multipistas de audio es una aplicación exigente con la potencia de la computadora, el secuenciador es un devorador de recursos todavía más severo. Esto es, en parte, porque un secuenciador MIDI / audio debe poseer la funcionalidad de un multipistas de audio más la funcionalidad de todo un secuenciador MIDI, que es bastante carga para una computadora casera. Los datos MIDI son mucho más pequeños que los datos de audio, es decir, es mucho más exigente el cálculo de una reverberación a tiempo real que no una cuantización o transposición MIDI a tiempo real, por ejemplo. El problema real es la estabilidad de la sincronización entre el audio digital y el MIDI, dos mundos muy distintos. Baste con decir que un segundo de audio se divide en 44,100 casillas o Hertz mientras que la resolución de un secuenciador es mucho menor. Un secuenciador requiere una buena tarjeta de sonido, al igual que el multipista de audio digital, pero además requiere un buen interface MIDI que ayude a la computadora en la gestión y transmisión de datos MIDI. Se utilizan los mismos tipos de *drivers* que en los multipistas de audio ya que la exigencia de rendimiento es la misma o superior.

Sin entrar en toda la funcionalidad MIDI, se destaca que un buen secuenciador MIDI es aquél programa que permite tanto a los usuarios que poseen conocimientos musicales como los que no, crear y producir música. Para ello, se disponen de varias pantallas en las que la información grabada se presenta en formatos como una partitura, una lista de eventos en el tiempo, una matriz tipo piano, entre otros.

Los secuenciadores incluyen una sencilla edición de audio, es decir, también participan de la funcionalidad de un editor de audio aunque sin ofrecer ese grado de profundidad. Como siempre, la edición de estos editores es destructiva. Las pistas de audio están asociadas a un mezclador virtual DSP del mismo modo que en los multipistas de audio y toda la mezcla se realiza a tiempo real.

Figura 30 - Logic Audio



Fuente: Logic Audio, de Emagic

Entre las aplicaciones más utilizadas en proceso nativo (utilizando el CPU) están:

- Cubase VST 5.1 de Steinberg
- Logic Audio 4.8 de Emagic

Entre las aplicaciones con proceso nativo/DSP, dependientes de *hardware* DSP, como el que se muestra en la figura 29 se tiene a *Logic Audio Platinum*. Esta tarjeta viene con 6 procesadores Motorola DSP de 24 bits y 100Mhz.

Figura 31 - Tarjeta DSP



Fuente: Sitio de Emagic, www.emagic.com

6.2 Sistemas operativos

FreeMIDI es un sistema operativo MIDI completo para la Macintosh ®. FreeMIDI, es un *software* gratuito y es instalado de manera automática como parte de todos los productos de música de MOTU (*Mark of the Unicorn*). FreeMIDI, con rapidez, es usado por una mayor cantidad de desarrolladores de productos de terceros. Incluso, existen oportunidades abiertas para los desarrolladores independientes.

FreeMIDI, de manera automática, detecta qué tipo de interfase MIDI está conectada a los puertos Macintosh (serial o USB), de manera automática, detectará qué instrumentos MIDI están conectados a la interfase, —reconoce alrededor de 200 tipos de instrumentos— y provee de una representación gráfica del estudio MIDI.

FreeMIDI también consta de más de 100 listas de selección de sonidos de los sintetizadores más populares, al igual que la integración de instrumentos genéricos MIDI "General MIDI". Es más, también incluye herramientas avanzadas de comunicación interna, sincronización de múltiples aplicaciones en paralelo, y compatibilidad con las tarjetas de *Sample Cell* (Nubus) de *Digidesign*.

CONCLUSIONES

1. La música electroacústica requiere la aplicación de conocimientos tanto musicales como fundamentos matemáticos que engloben teoría de acústica, análisis de señales digitales y analógicas e informática.
2. La tecnología informática se ha convertido en un recurso esencial, tanto para el aprendizaje y formación musical, como para su expresión artística.
3. El uso de la tecnología informática ha permitido el surgimiento de nuevas corrientes artísticas, las cuales se manifiestan en novedosas y creativas metodologías de composición y edición de obras musicales.
4. El *software* de edición de partituras se ha convertido en una herramienta clave para el rescate histórico de obras guatemaltecas, compuestas durante los siglos XVII y XVIII.
5. La música electroacústica latinoamericana se distingue por resaltar y rescatar elementos de las fuentes de tradición popular. En este caso, proyecta los aspectos multiétnicos y pluriculturales de la sociedad guatemalteca.
6. El avance tecnológico ha permitido que poco a poco este sea un recurso cada vez más accesible para toda persona que se interese en aprender, ejecutar o crear música.

RECOMENDACIONES

1. Que la Facultad de Ingeniería apoye con recurso tecnológico el aprendizaje y la práctica de los estudiantes de la carrera de licenciatura en Arte de la Universidad de San Carlos.
2. Crear un laboratorio de música electroacústica en la Universidad de San Carlos de Guatemala.
3. Que la Universidad de San Carlos de Guatemala sea difusora y promotora de la música electroacústica guatemalteca.
4. Que la Universidad de San Carlos de Guatemala reconozca y apoye a los compositores nacionales que han incursionado a través de la innovación e investigación musical.

BIBLIOGRAFÍA

1. **An Introduction to MIDI**
http://crystal.apana.org.au/ghansper/midi_introduction/intro.html 2001
2. Anderson, Craig. **Midi for Musicians**. Ed. Amsco. USA, 1986.
3. **Digi-Arts UNESCO Knowlegde Portal**
<http://portal.unesco.org/culture/es/> 2004
4. **El Camino de Silicio**. A computer music network to promote computer music in the Americas.
5. Entrevistas personales con el Dr. Igor de Gandarias
6. **Harmony Central**. <http://www.harmony-central.com/Computer> 2000
 - a. <http://www.crca.ucsd.edu/~bobw/camino.html> 2000
7. MORGAN, ROBERT. **Twentieth-Century Music. A history of Musical Style in Modern Europe and America**. Editorial Norton & Company. USA, 1991.
8. **Página oficial del protocolo MIDI**. <http://www.midi.org> 2000
9. **Programa de intercambio entre Laboratorio de Informática Musical y el Center for New Music and Audio Technologies (CNMAT)**.
<http://www-crca.ucsd.edu/ucmex94.html> 2000
10. **Revista Cultura de Guatemala**. Instituto de Musicología, Universidad Rafael Landívar. Septiembre – Diciembre 1994.
11. **Revista Cultura de Guatemala**. Instituto de Musicología, Universidad Rafael Landívar. Septiembre – Diciembre 1995
12. **Revista Cultura de Guatemala**. Instituto de Musicología, Universidad Rafael Landívar. Septiembre – Diciembre 1999
13. **Revista encuentro**. Septiembre – Diciembre 1996. Publicación Cuatrimestral del Intituto Guatemalteco de Cultura Hispánica.

14. Rubin, David. **The Desktop Musician. CREATING MUSIC WITH YOUR COMPUTER.** Ed. Osborne-McGraw-Hill. USA, 1995.
15. Strange, Allen. **Electronic Music: Systems, Techniques, and Controls.** McGraw-Hill Collage, Mayo 1983
16. STRAUSS, EGON. **Equipos audio modernos. Nuevas tendencias en el desarrollo del Audio.** Saber Electrónica, Edición Argentina. Editorial Quark. Septiembre, 1997.
17. **The MIDI Technical.** <http://www.borg.com/~jglatt/tech> 2000
18. **The MIDI Tutorial** http://kingfisher.cms.shu.ac.uk/midi/main_p.htm 2000
19. Yelton, Geary. **Music and the Macintosh.** Ed. MIDI America Inc. USA, 1989.

ANEXO

Figura 32 – Especificaciones estación Fairlight



THE FAIRLIGHT SERIES III — SPECIFICATIONS

Series III Voice System

- 90 dB dynamic range Voice/Channel Cards (up to 16 voices available in standard system). Expandable to 80 voices via external voice racks.
- Separate 16 bit D/A converters, dynamic VCF-VCA for each Voice/Channel card.
- 15 bit 50kHz, stereo audio sampling (100kHz in mono).
- Up to 14 megabytes waveform RAM per 16 channels which provides over 2 minutes sampling time at 50kHz.
- Contains 12 microprocessors including 406800 and 268000. Runs OS9 Multi-tasking operating system and high-level languages.
- Waveform editor software allows extensive waveform editing, Fourier analysis, synthesis and resynthesis functions.
- SMPTE read, write and sync with timebase capability.
- MIDI user programmable — 3 input/4 output.
- High efficiency switchmode power supply.

Mass Storage System

- 8" DSDD floppy disk drive (1Mb) and controller.
- 70Mb or 110Mb (formatted) 5 1/4" Winchester Hard Disk Drive with controller. Standard SCSI allows for connection of additional hard drives and other mass storage media.
- Optional 60Mb streaming tape drive.

Graphics Terminal System

- 82-key alphanumeric keyboard includes 15 special function keys (assignable) and high resolution graphics tablet with stylus.
- High resolution 12" Video Display Unit (VDU).

Sequencers

- Music Composition Language (MCL) text based composer.
- Rhythm sequencer (RS) 16 track recorder with graphic note events.

- Composer, Arranger, Performer, Sequencer (CAPS) Up to 80 polyphonic tracks assignable to internal voices or externally through MIDI can be programmed in real time, quantized, non-real time. Extensive track and micro editing features. Tracks can be viewed as conventional music notation.*
- All sequencers sync and trigger to SMPTE time code.

Music Keyboard Controller

- 6 Octave F-to-F
- MIDI implementation
- Pitch and modulation wheels along with programmable switches and controls.

Serial Interface

- Dual printer ports
- Teletext communications software.



* Available 2nd half 1986

Fairlight Instruments Pty Ltd reserves the right to change these specifications without notice.

Fairlight is a registered trademark of Fairlight Instruments Pty Ltd.

Figura 33 – Partitura de la obra Conquista 2

The musical score is divided into two systems:

- System 1 (Lento):**
 - Chirimía:** Features a melodic line with a trill (tr. m. 118) and dynamic markings of *f* and *mf*. It includes the instruction "Ipride Gen 1988".
 - Drum:** Provides a rhythmic accompaniment with dynamic markings of *f* and *mf*. It includes the instruction "mf accelerando" and "allargando".
 - Sampler 1:** Labeled "1 Ball", it plays a series of notes with a dynamic marking of *f*.
 - Sampler 2:** Labeled "2", it plays a series of notes with a dynamic marking of *f*.
- System 2 (Moderato):**
 - Chirimía:** Continues the melodic line with dynamic markings of *f* and *mf*. It includes the instruction "Moderato ♩ = 88".
 - Drum:** Provides a rhythmic accompaniment with dynamic markings of *f* and *mf*. It includes the instruction "rimshot".
 - Sampler 1:** Labeled "1", it plays a series of notes with a dynamic marking of *f*.
 - Sampler 2:** Labeled "2", it plays a series of notes with a dynamic marking of *f*.

Additional markings include "Vibrato Ring: 40", "Chirimía", and "Set vibrato ring to 127".

Chirimía

Drum

6 Chirimía

7 Chirimía

8 Chirimía

9 white noise

10 explosion

Pitch Bender

S-50 2

2500

Chirimía

Drum

6 Chirimía

7 Chirimía

8 Chirimía

9 white noise

10 explosion

Pitch Bender

S-50 2

2500

3

Chirimía

Drum

Sampler 1

Sampler 2

Sequencer

1 Chirimía

f

mf

White noise

9 Drum

11 Drum

9 Drum

10 Rimshot

5(6-7) Chirimía

5(9) White noise

5(10) Explosions

morendo

morendo

OFF

Chirimía
 Drum
 Sampler 1

1 Chirimía
 2 Chirimía
 3 Chirimía

Chirimía
 Drum
 Sampler 1
 Sampler 2

4 Chirimía
 5 Chirimía
 6 Chirimía
 7 Chirimía
 8 Chirimía
 9 Chirimía
 10 Chirimía

rim shot
 Drum
 2-3 Bells
 Pitch Bender 1
 10 Rimshot

Chimes

Drum

Sampler 1

11 Drum

S2 (5-6-7-8)

17

S2 (5-6-7-8)

17

PLAY

Chimes

Drum

11 Drum

Sampler 1

Snare

Handwritten musical score for a percussion ensemble. The score is written on multiple staves with various musical notations and dynamics.

Staff 1: Chirrimis. Tempo: *lento*. Includes a section marked "Tr. m. all." and a measure with a circled "6".

Staff 2: Drum. Includes a section marked "1. Bell." and dynamic markings *mf* and *f*.

Staff 3: Sampler 1. Includes a section marked "4 Chirrimis" and dynamic markings *p* and *mf*.

Staff 4: Sampler 2. Includes a section marked "5 Chirrimis" and a section marked "6-7 Chirrimis".

Staff 5: Sampler 2. Includes a section marked "12-3 Chirrimis" with dynamic markings *pp* and *pppp*. A section marked "Vibrato: 1.23" with a circled "3" is also present.

Staff 6: Sampler 2. Includes a section marked "8 Chirrimis" with dynamic markings *pp* and *f*.

Staff 7: Sequencer. Includes a section marked "Seq. (8) Chirrimis" with dynamic markings *pp* and *f*. A section marked "OFF" is also present.

Staff 8: Empty staff.

Staff 9: Empty staff.

Staff 10: Empty staff.

7

Charimias

Drum

1 Bell

4 Charimias

5 Charimias

6-7 Charimias

1-2-3 Charimias

8 Charimias

Vibrato Rompe : 40

pp

pp

pp

Luis de González
Cuba 1988