



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CIENCIAS Y SISTEMAS

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS FORMATOS DE SONIDO
DIGITAL: *MP3, OGG VORBIS* Y *YAMAHA VQF***

SERGIO ALFREDO CALVILLO AVILA

ASESORADO POR: ING. HERMAN IGOR VÉLIZ LINARES

GUATEMALA, JULIO DE 2005

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS FORMATOS DE SONIDO DIGITAL:
*MP3, OGG VORBIS Y YAMAHA VQF***

TRABAJO DE GRADUACIÓN

**PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA**

POR

SERGIO ALFREDO CALVILLO AVILA

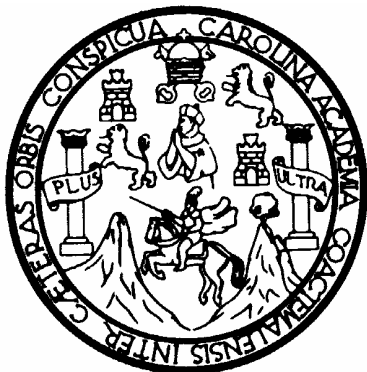
ASESORADO POR: ING. HERMAN IGOR VÉLIZ LINARES

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO EN CIENCIAS Y SISTEMAS

GUATEMALA, JULIO DE 2005

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	Ing. Amahán Sánchez Álvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Inga. Claudia Liceth Rojas Morales
EXAMINADOR	Ing. Jorge Armín Mazariegos Rabanales
EXAMINADOR	Ing. César Augusto Fernández Cáceres
SECRETARIO	Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS FORMATOS DE SONIDO DIGITAL: *MP3, OGG VORBIS Y YAMAHA VQF*

Tema que me fuera asignado por la dirección de la escuela de Ingeniería en Ciencias y Sistemas en julio de 2003.

Sergio Alfredo Calvillo Avila

DEDICATORIA

A DIOS

Por darme la vida, ser mi guardián, guía y fortaleza en los momentos difíciles que se me presentaron, porque sin él esta meta no hubiera podido ser alcanzada.

A MIS PADRES

Manuel Rolando Calvillo De León y Victoria Ávila de Calvillo, por brindarme la oportunidad de estar aquí y apoyarme en todo momento en este difícil trayecto, porque todo sacrificio tiene su recompensa y esta recompensa es de ellos también, gracias por todo.

A MIS HERMANOS

Erwin Rolando, Mario Fernando y Gladys Azucena, por brindarme su ayuda, apoyo y estar siempre a mi lado.

A MIS AMIGOS

Por brindarme su amistad, apoyo, cariño y compañerismo. En especial a mis amigos de carrera, por tantos momentos que compartimos en los desvelos de los proyectos que realizamos y porque muy pronto cada uno de ellos sus metas.

A MIS CONOCIDOS

A los que considero mis amigos, a pesar de que algunos no quieran admitirlo.

AGRADECIMIENTO

A DIOS TODOPODEROSO, por iluminarme, darme fuerza y entereza para culminar esta difícil carrera.

A LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, por albergarme en su seno como estudiante.

A LA FACULTAD DE INGENIERIA, por brindarme los conocimientos necesarios para graduarme.

A MI ASESOR ING. HERMAN IGOR VÉLIZ LINARES, por compartir su experiencia y haberme guiado durante el desarrollo y realización de este trabajo de graduación.

A LA INGA. SONIA CASTAÑEDA, por haberme brindado su apoyo y confianza, así como la oportunidad de realizar la practica supervisada.

A LA INGA. FLORIZA ÁVILA, por haberme brindado su apoyo y ayuda durante mi practica supervisada.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
GLOSARIO	VII
RESUMEN	XV
OBJETIVOS	XVII
INTRODUCCIÓN	XIX
1 SONIDO DIGITAL	1
1.1 Reseña histórica del sonido	1
1.1.1 Siglos XVII y XVIII	2
1.1.2 Siglos XIX y XX	3
1.2 Naturaleza del sonido	4
1.3 Características del sonido	5
1.3.1 Frecuencia	5
1.3.2 Amplitud	6
1.3.3 Intensidad	7
1.4 Sonido digital	7
1.4.1 Calidad del sonido digital	10
1.5 Formatos de sonido digital	11
1.5.1 Formato <i>MIDI</i>	12
1.5.2 Formato <i>WAV</i>	12
1.5.3 Formato <i>MP3</i>	13
1.5.4 Formato <i>VQF</i>	14
1.5.5 Formato <i>RA (Real Audio)</i>	14
1.5.6 Otros formatos de sonido	15
1.6 <i>Software</i> para reproducción de formatos de sonido	16
1.6.1 <i>Software</i> para formato <i>MIDI</i>	16

1.6.2	<i>Software</i> para formato WAV	16
1.6.3	<i>Software</i> para formato MP3	17
1.7	Compresión de los formatos de sonido digital	17
1.7.1	¿Cómo se comprime audio o sonido?	18
1.7.1.1	Curva de sensibilidad (típica) del oído	20
1.7.1.2	Fenómeno de enmascaramiento	20
1.7.2	Proceso de compresión de sonido	21
2	FORMATOS DE SONIDO DIGITAL: MP3, OGG Y VQF	25
2.1	Formato MP3	25
2.1.1	¿Qué es MP3?	25
2.1.2	Calidad de sonido y tamaño de un MP3	26
2.1.3	Razones que favorecen a MP3 sobre otros formatos	28
2.1.3.1	Capacidad de compresión	28
2.1.3.2	Calidad de compresión	28
2.1.3.3	Facilidad de distribución	29
2.1.4	Legalidad del MP3	29
2.1.5	El futuro del MP3, ¿es el MP4?	30
2.2	Formato Ogg Vorbis	32
2.2.1	¿Qué es Ogg Vorbis?	32
2.2.2	Filosofía de Ogg Vorbis	32
2.2.3	¿Es Ogg Vorbis, sustituto de MP3?	33
2.2.4	Método de compresión de Ogg Vorbis	35
2.2.4.1	Conceptos generales	35
2.2.4.2	Lista de pasos	38
2.2.4.3	Resumen del compresor	39
2.2.5	Ogg en Hardware	40
2.3	Formato VQF	41
2.3.1	Interfase del reproductor de Yamaha	42
2.3.2	Funciones y ventajas del VQF	43

2.3.3	¿VQF o MP3?	44
3	CASO DE APLICACIÓN DE LOS FORMATOS DE SONIDO DIGITAL	45
3.1	Selección del medio de extracción para la compresión y análisis	45
3.2	Compresión a formato <i>MP3</i>	50
3.3	Compresión a formato <i>Ogg Vorbis</i>	53
3.4	Compresión a formato <i>Yamaha VQF</i>	58
4	ANÁLISIS COMPARATIVO Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS DEL CASO DE APLICACIÓN	61
4.1	Análisis comparativo de los formatos de sonido digital	61
4.1.1	Análisis comparativo con base en el radio de compresión	62
4.1.2	Análisis comparativo con base en el tiempo de compresión	67
4.1.3	Análisis comparativo con base en la calidad del sonido	74
4.2	Discusión de resultados	79
	CONCLUSIONES	83
	RECOMENDACIONES	85
	BIBLIOGRAFÍA	87
	APÉNDICE	91

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Trama de datos	22
2	Gráfica de comparación de compresión para formato <i>MP3</i>	66
3	Gráfica de comparación de compresión para formato <i>Ogg</i>	67
4	Gráfica de comparación del tiempo de compresión para formato <i>MP3</i>	72
5	Gráfica de comparación del tiempo de compresión para formato <i>Ogg</i>	73

TABLAS

I	Datos generales de las pistas de audio a utilizar	46
II	Tiempos de extracción a <i>WAV</i> utilizando <i>CD-ROM</i>	47
III	Tiempos de extracción a <i>WAV</i> desde <i>DVD-ROM</i>	47
IV	Tiempos de compresión a <i>MP3</i> desde un archivo <i>WAV</i> en disco duro	48
V	Tiempos de extracción de pista de audio origen a <i>WAV</i>	49
VI	Datos de compresión a formato <i>MP3</i> con calidad 32Kbit	50
VII	Datos de compresión a formato <i>MP3</i> con calidad 80Kbit	51
VIII	Datos de compresión a formato <i>MP3</i> con calidad 96Kbit	52
IX	Datos de compresión a formato <i>MP3</i> con calidad 128Kbit	52
X	Datos de compresión a formato <i>MP3</i> con calidad 224Kbit	53
XI	Datos de compresión a formato <i>MP3</i> con calidad 320Kbit	53
XII	Datos de compresión a formato <i>Ogg</i> con calidad 45Kbit \pm 3Kbit	55

XIII	Datos de compresión a formato <i>Ogg</i> con calidad 80Kbit ± 3Kbit	55
XIV	Datos de compresión a formato <i>Ogg</i> con calidad 96Kbit ± 3Kbit	56
XV	Datos de compresión a formato <i>Ogg</i> con calidad 128Kbit ± 3Kbit	56
XVI	Datos de compresión a formato <i>Ogg</i> con calidad 224Kbit ± 3Kbit	57
XVII	Datos de compresión a formato <i>Ogg</i> con calidad 500Kbit ± 3Kbit	57
XVIII	Datos de compresión a formato <i>VQF</i> con calidad 80Kbit	59
XIX	Datos de compresión a formato <i>VQF</i> con calidad 96Kbit	60
XX	Radio de compresión de los formatos de sonido. Calidad 80Kbit	62
XXI	Radio de compresión de los formatos de sonido. Calidad 96Kbit	62
XXII	Radio de compresión de los formatos de sonido. Calidad 128Kbit	63
XXIII	Radio de compresión de los formatos de sonido. Calidad 224Kbit	63
XXIV	Radio de compresión de los formatos de sonido. Calidad más pequeña	64
XXV	Radio de compresión de los formatos de sonido. Calidad más grande	65
XXVI	Radio de compresión de los formatos de sonido. Resumen	65
XXVII	Tiempo de compresión de los formatos de sonido. Calidad 80Kbit	68
XXVIII	Tiempo de compresión de los formatos de sonido. Calidad 96Kbit	68
XXIX	Tiempo de compresión de los formatos de sonido. Calidad 128Kbit	69
XXX	Tiempo de compresión de los formatos de sonido. Calidad 224Kbit	69
XXXI	Tiempo de compresión de los formatos de sonido. Calidad mayor	70
XXXII	Tiempo de compresión de los formatos de sonido. Calidad menor	71
XXXIII	Tiempo de compresión de los formatos de sonido. Resumen	71
XXXIV	Calidad de sonido de los archivos comprimidos. Calidad 80Kbit	75
XXXV	Calidad de sonido de los archivos comprimidos. Calidad 96Kbit	75
XXXVI	Calidad de sonido de los archivos comprimidos. Calidad 128Kbit	76
XXXVII	Calidad de sonido de los archivos comprimidos. Calidad 224Kbit	76
XXXVIII	Calidad de sonido de los archivos. Calidad de compresión mayor	77
XXXIX	Calidad de sonido de los archivos. Calidad de compresión menor	78
XL	Calidad de sonido de los archivos comprimidos. Resumen	78

GLOSARIO

Acústica	Término empleado en ocasiones para la ciencia que se ocupa del sonido en su conjunto. Generalmente suele usarse para referirse a la acústica arquitectónica, la rama especial de esta ciencia que trata de la construcción de zonas cerradas, de forma que se logre una buena audición de las palabras o la música.
Algoritmo	Conjunto de sentencias o instrucciones en lenguaje nativo, los cuales expresan la lógica de un programa.
Amplitud	Es la característica de las ondas sonoras que percibimos como volumen. La amplitud es la máxima distancia que un punto del medio en que se propaga la onda se desplaza de la posición de equilibrio; esta distancia corresponde al grado de movimiento de las moléculas de aire en una onda sonora.
Aplicación	Programa que realiza una serie de funciones y con el cual trabajamos en la computadora.
Archivo	Unidad de información almacenada en el disco con un nombre específico. Puede contener datos en código máquina, necesarios para la ejecución de un programa, o información común y corriente procesada por el usuario. Tiene una extensión consistente en tres caracteres que lo identifican en su tipo o lo relacionan con un programa determinado.

<i>Backup</i>	Aplicación de copia de seguridad de archivos, carpetas o unidades completas que permite dividir la información o ficheros en varios disquetes y que además la comprime.
Beta	Versión anterior a la Alfa y que puede ser la versión definitiva que se comercializará en un determinado tiempo.
Binario	Código básico de la informática que reduce todo tipo de información a cadenas de ceros y unos, que rigen las instrucciones y respuestas del microprocesador.
BIT	Un dígito simple de un número binario (1 o 0) en la computadora.
<i>Browser</i>	Programa que permite leer documentos en la <i>Web</i> y seguir enlaces (<i>links</i>) de documento en documento de hipertexto.
<i>Buffer</i>	Memoria intermedia, una porción reservada de la memoria, que se utiliza para almacenar datos mientras son procesados.
<i>Byte</i>	Grupo de bits adyacentes operados como una unidad (grupos de 8 bits).
Caché	Almacenamiento intermedio o temporal de información. El término se utiliza para denominar todo depósito intermedio de datos solicitados con mayor frecuencia.
<i>Codec</i>	Algoritmo utilizado para la compresión de datos.

Coma flotante	Cálculo que realiza el procesador de operaciones con decimales.
Comprimir	También llamada compactación de datos. En informática, término que se aplica a diversos métodos para comprimir la información a fin de permitir una transmisión o almacenamiento más eficaces.
Dato	El término que usamos para describir las señales con las cuales trabaja la computadora es dato. Aunque las palabras dato e información muchas veces son usadas indistintamente, sí existe una diferencia importante entre ellas. En un sentido estricto, los datos son las señales individuales en bruto y sin ningún significado que manipulan las computadoras para producir información.
Default	Opción que un programa asume si no se especifica lo contrario. También llamado valores predeterminados .
Driver	Significa controlador . Es el <i>software</i> adicional necesario para controlar la comunicación entre el sistema y un cierto dispositivo físico, tal como un monitor o una impresora.
Enmascaramiento	Ciencia que trata del encriptamiento de la comunicación de modo que sólo resulte inteligible para la persona que posee la clave, o método para averiguar el significado oculto, mediante el criptoanálisis de un texto aparentemente incoherente.

<i>Firmware</i>	Son pequeños programas que, por lo general, vienen en un chip en el <i>hardware</i> , como es el caso de la <i>ROM BIOS</i> .
Frecuencia	Término empleado en física para indicar el número de veces que se repite en un segundo cualquier fenómeno periódico. La frecuencia es muy importante en muchas áreas de la física, como la mecánica o el estudio de las ondas de sonido.
<i>Gigabyte</i>	Medida de 1.024 <i>megabyte</i> .
<i>Hertz</i>	La unidad de medida de la frecuencia, el ciclo por segundo (hercio, <i>Hz</i>). Un kilohercio (<i>Khz</i>) es 1.000 ciclos por segundo, 1 megahercio (<i>MHz</i>) es 1 millón de ciclos por segundo y 1 gigahercio (<i>GHz</i>), 1.000 millones de ciclos por segundo.
Información	Es lo que se obtiene del procesamiento de datos; es el resultado final.
Internet	La red de computadoras más extendida del planeta, que conecta y comunica a más de 50 millones de personas. Nació a fines de los años sesenta como <i>ARPANet</i> y se convirtió en un revolucionario medio de comunicación. Su estructura técnica se basa en millones de computadoras que ofrecen todo tipo de información. Sin importar qué tipo de computadoras son, para intercomunicarse utilizan el protocolo <i>TCP/IP</i> . Las computadoras que utilizan las personas para conectarse y consultar los datos de los servidores se llaman clientes, y acceden en general a través en un tipo de conexión llamado <i>dial-in</i> , utilizando un módem y una línea telefónica.

ISO	<i>International Standard Organization.</i> Organización Internacional de Estándares.
Kilobyte (Kb)	Medida que equivale a 1.024 bytes, aproximadamente mil caracteres.
Linux	Versión <i>shareware</i> del conocido sistema operativo <i>Unix</i> . Es un sistema multitarea multiusuario de 32 bits para computadores personales.
Megabyte (MB)	Medida que equivale a 1.024 Kb, aproximadamente un millón de caracteres.
Memoria RAM	<i>Random Access Memory</i> o Memoria de Acceso Aleatorio cuyo contenido permanecerá presente mientras el computador permanezca encendido.
Memoria ROM	<i>Read Only Memory</i> ó Memoria de solo lectura. Chip de memoria que solo almacena permanentemente instrucciones y datos de los fabricantes.
MP3	El formato <i>MPEG Audio Layer 3 (MP3)</i> , desarrollado en Alemania por el Instituto Fraunhofer.
MPEG	<i>Motion Pictures Expert Group</i> , grupo que trabaja desarrollando estándares para codificar audio y video.

Programa	Sinónimo de <i>software</i> . Conjunto de instrucciones que se ejecutan en la memoria de una computadora para lograr algún objetivo. Es creado por equipos de personas en lenguajes especiales de programación, y se le diseña una interfase de usuario para que puedan interactuar con las personas que los utilicen.
Protocolo	Conjunto de reglas formuladas para controlar el intercambio de datos entre dos entidades comunicadas. Pueden ser normados (definidos por un organismo capacitado, como la <i>CCITT</i> o la <i>ISO</i>) o de facto (creados por una compañía y adoptados por el resto del mercado).
Sensibilidad del oído	Facultad de un ser vivo de percibir estímulos externos e internos a través del oído.
Sistema operativo	Conjunto de programas que se encarga de coordinar el funcionamiento de una computadora, cumpliendo la función de interfase entre los programas de aplicación, circuitos y dispositivos de una computadora.
Software	Componentes intangibles (programas) de las computadoras. Complemento del <i>hardware</i> . El <i>software</i> más importante de una computadora es el sistema operativo.
Sonido	Fenómeno físico que estimula el sentido del oído. En los seres humanos, esto ocurre siempre que una vibración con frecuencia comprendida entre unos 15 y 20.000 hercios llega al oído interno.

Variable

En programación es una estructura que contiene datos y recibe un nombre único dado por el programador, mantiene los datos asignados a ella hasta que un nuevo valor se le asigne o hasta que el programa termine.

WWW

World Wide Web o W3. Conjunto de servidores que proveen información organizada en *sites*, cada uno con cierta cantidad de páginas relacionadas. La *web* es una forma novedosa de organizar toda la información existente en Internet a través de un mecanismo de acceso común de fácil uso, con la ayuda del hipertexto y la multimedia. El hipertexto permite una gran flexibilidad en la organización de la información, al vincular textos disponibles en todo el mundo. La multimedia aporta color, sonido y movimiento a esta experiencia. El contenido de la *web* se escribe en lenguaje *HTML* y puede utilizarse con intuitiva facilidad mediante un programa llamado navegador. Se convirtió en el servicio más popular de la red y se emplea cotidianamente para los usos más diversos: desde leer un diario de otro continente hasta participar de un juego grupal.

RESUMEN

Hoy en día es difícil encontrar una computadora en la que no se encuentre un archivo con formato de sonido digital, pero cada formato de sonido tiene diferentes características que lo hacen mejor que otro, dependiendo el uso que se le vaya a dar a estos archivos.

El presente documento presenta un análisis comparativo de tres formatos de sonido digital (*MP3*, *Ogg Vorbis* y *Yamaha VQF*) que son utilizados principalmente para almacenar música. Dicho análisis se realiza con base en tres características básicas que son: radio de compresión, tiempo de compresión y calidad del sonido del archivo.

En los primeros dos capítulos damos una introducción al sonido digital, características, formatos de sonido digital más conocidos.

Finalmente, los últimos dos capítulos son un caso de aplicación y su respectiva discusión de resultados, en el cual se analizan y se comparan las características mencionadas. Este análisis se realizó con tres pistas de audio tomadas al azar, las cuales fueron comprimidas a cada uno de los formatos de sonido en estudio, para luego proceder a compararlas y discutir los resultados obtenidos en las pruebas realizadas.

OBJETIVOS

- **General**

Proporcionar un informe que analice, evalúe y compare las distintas características de los formatos de sonido digital, para guiar en la elección óptima de un formato, según los requerimientos que tengamos.

- **Específicos**

1. Analizar los formatos de sonido digital más conocidos.
2. Analizar y evaluar los métodos de compresión de los archivos de sonido digital.
3. Determinar las ventajas y desventajas de los diferentes formatos de sonido, respecto de sus características más significativas.
4. Evaluar el rendimiento y desempeño de los formatos de sonido digital.

INTRODUCCIÓN

Hoy es común encontrar en cualquier computadora un archivo con extensión *.MP3*, *.WAV*, *.MIDI*, etc, que no son más que archivos con un formato de sonido digital, los cuales son utilizados con distintos propósitos por cada usuario. Algunos son archivos de sonido utilizados por los juegos; otros, son archivos utilizados por los programas para proporcionar mensajes de audio, y otros son simplemente archivos que reproducen una canción. Cada uno de estos archivos tiene, en la mayoría de los casos, diferentes extensiones o, dicho de una mejor manera, un formato de sonido distinto de acuerdo a las características con que fueron creados.

Debido a los distintos formatos de sonido digital que hay en la actualidad y a las diferentes características de cada uno, es necesario analizarlos y evaluarlos para determinar las ventajas y desventajas de cada uno con respecto a sus principales características. Así se podrá determinar cuál es el más adecuado para utilizar dependiendo del uso que se le vaya a dar: si es para incluirse en un juego, para oír música o bien para agregarse en programas, ya que cada uno cuenta con distinta calidad de sonido. Además, el tamaño de los archivos varía de un formato a otro.

Antes de crear un archivo de sonido digital o utilizar uno creado con anterioridad, es necesario identificar el uso que le vamos a dar, para determinar qué tipo de formato puede satisfacer de mejor manera nuestras necesidades. Es por ello que el presente documento pretende ayudar en la elección de un formato de sonido digital que cubra nuestras necesidades al utilizarlo, dando a conocer las principales características que tiene cada uno de los formatos.

Así mismo, tiene la finalidad de dar a conocer unos formatos de sonido poco conocidos hasta hoy, pero que al parecer dentro de poco tiempo se puede llegar a saber mucho de ellos, como el formato *VQF* que se observa como una fuerte competencia para el tan conocido y famoso formato *MP3*. Además conoceremos más acerca del nuevo formato *MP3*, que está entrando ya al mercado con distintas características que lo diferencian de otros formatos. También nos dará una perspectiva del futuro que tienen los formatos de sonido digital, ya que se están alcanzando radios de compresión más altos sin que el archivo pierda calidad en el sonido, lo cual es una de las características más importantes, ya que esto influye en el tamaño del archivo.

1. SONIDO DIGITAL

1.1. Reseña histórica del sonido

Los pueblos antiguos efectuaron numerosas especulaciones sobre los fenómenos elementales del sonido; sin embargo, con la excepción de unas pocas suposiciones que resultaron ser ciertas, la ciencia del sonido no empezó a desarrollarse hasta aproximadamente 1600 D.C. A partir de aquella época, el conocimiento del sonido avanzó con más rapidez que el conocimiento de los fenómenos luminosos correspondientes, ya que estos últimos son más difíciles de observar y medir.

A los antiguos griegos no les preocupaba demasiado el estudio científico del sonido, pero estaban muy interesados por la música. Consideraban que representaba los **números aplicados**, frente a la aritmética, que representaba los **números puros**. El filósofo Pitágoras descubrió que una octava corresponde a una relación de frecuencias de dos a uno, y enunció la ley que vincula la consonancia a las relaciones numéricas; posteriormente construyó todo un edificio de especulaciones místicas en torno a esa ley. Aristóteles, en unas breves observaciones sobre el sonido, realizó una suposición bastante acertada sobre la naturaleza de su generación y transmisión. Sin embargo, no se efectuaron estudios experimentales válidos hasta 1600, cuando Galileo llevó a cabo un estudio científico del sonido y enunció muchas de sus leyes fundamentales. Galileo determinó la relación entre tono y frecuencia, y unas leyes musicales de armonía y disonancia que eran, en esencia, las que se han descrito en este artículo. También explicó de forma teórica cómo la frecuencia natural de vibración de una cuerda tensa, y por tanto la frecuencia de los sonidos producidos por un instrumento de cuerda, depende de la longitud, peso y tensión de la cuerda.

1.1.1. Siglos XVII y XVIII

El matemático francés Marin Mersenne realizó medidas cuantitativas en relación con el sonido, al hallar el tiempo de retorno de un eco y calcular un valor de la velocidad del sonido que difería del valor real en menos del 10%. Mersenne también fue el primero en medir de forma aproximada la frecuencia de una nota de tono determinado. Midió la frecuencia de vibración de un cable largo y pesado cuyo movimiento era tan lento que podía seguirse a simple vista; después, a partir de consideraciones teóricas, calculó la frecuencia de un cable corto y ligero que producía un sonido audible.

En 1660, el científico inglés de origen irlandés Robert Boyle demostró que el sonido necesitaba un medio gaseoso, líquido o sólido para su transmisión. Boyle colgó una campana de una cuerda en el vacío y mostró que, aunque podía verse cómo el badajo golpeaba la campana, no se oía ningún sonido.

El matemático y físico británico Isaac Newton fue el primero en realizar un tratamiento matemático del sonido en sus Principios matemáticos de la filosofía natural (1687). Una vez demostrado que la propagación del sonido a través de cualquier fluido sólo dependía de propiedades físicas medibles del fluido, como la elasticidad o la densidad, Newton calculó a partir de consideraciones teóricas la velocidad del sonido en el aire.

El siglo XVIII fue sobre todo un periodo de desarrollo teórico. El cálculo supuso una potente herramienta nueva para científicos de muchos campos. Los matemáticos franceses Jean le Rond d'Alembert y Joseph Louis Lagrange, y los matemáticos suizos Johann Bernoulli y Leonhard Euler, contribuyeron al conocimiento de cuestiones como el tono y el timbre del sonido producido por un instrumento musical determinado, o la velocidad y naturaleza de la transmisión del sonido en diferentes medios.

Sin embargo, el tratamiento matemático completo del sonido requiere el análisis armónico, desarrollado por el matemático francés Joseph Fourier en 1822 y aplicado al sonido por el físico alemán Georg Simon Ohm.

Las variaciones de sonido denominadas **batidos**, una consecuencia de la naturaleza ondulatoria del sonido, fueron descubiertas en torno a 1740 por el violinista italiano Giuseppe Tartini y el organista alemán Georg Sorge. El físico alemán Ernst Chladni realizó numerosos descubrimientos sobre el sonido a finales del siglo XVIII, sobre todo en relación con la vibración de cuerdas y varillas.

1.1.2. Siglos XIX y XX

El siglo XIX supuso, sobre todo, una era de desarrollo experimental. Las primeras medidas precisas de la velocidad del sonido en el agua fueron llevadas a cabo en 1826 por el matemático francés Jacques-Charles-François Sturm, y a lo largo del siglo se realizaron numerosos experimentos para determinar con extremada precisión la velocidad de sonidos de diferentes frecuencias en distintos medios. La ley fundamental que dice que la velocidad es la misma para sonidos de cualquier frecuencia y depende de la densidad y elasticidad del medio quedó establecida en dichos experimentos.

Durante el siglo XIX se emplearon en el estudio del sonido aparatos como el estroboscopio, el fonendoscopio o la sirena. En este siglo se dedicó también mucho interés al establecimiento de un patrón de tono.

La primera sugerencia de un patrón la realizó el físico francés Joseph Sauveur alrededor de 1700. Sauveur propuso que el **do** equivaliera a 256 Hz , un patrón cómodo desde el punto de vista matemático (al ser una potencia de dos).

El físico alemán Johann Heinrich Scheibler llevó a cabo la primera determinación precisa de la frecuencia de un tono, y en 1834 propuso como patrón que el la equivaliera a 440 *Hz*. En 1859, el gobierno francés decretó que el patrón para el la fuera de 435 *Hz*, según las investigaciones del físico francés Jules Antoine Lissajous. Este patrón se aceptó en muchas regiones del mundo hasta bien entrado el siglo XX.

En el siglo XIX se inventaron el teléfono, el micrófono y diversos tipos de gramófono, todos ellos muy útiles para el estudio del sonido. En el siglo XX, los físicos dispusieron por primera vez de instrumentos que hacían posible un estudio sencillo, preciso y cuantitativo del sonido. Las técnicas modernas permiten grabar y reproducir el sonido con una fidelidad extremadamente elevada.

En la I Guerra Mundial, las necesidades militares llevaron a emplear por primera vez el sonar para la detección de submarinos, que hoy también se emplea para estudiar las corrientes y capas oceánicas y para realizar mapas de los fondos marinos. En la actualidad, las ondas de sonido de frecuencias muy elevadas (ultrasonidos) se emplean en numerosas aplicaciones técnicas y médicas.

1.2. Naturaleza del sonido

El sonido son vibraciones de las partículas de aire que se propagan a través del aire; gracias a estas partículas del aire que se mueven, las vibraciones llegan a nuestros oídos. La audición en los seres humanos ocurre siempre que una vibración tenga una frecuencia comprendida entre unos 15 y 20.000 hercios, y su intensidad sea la suficiente para llegar al oído interno. Cuando las vibraciones pasan estos márgenes se habla de ultrasonidos y no son perceptibles al ser humano.

Las características del sonido se pueden medir y para ello se usan las unidades de hertzios (Hz) que miden la frecuencia de un sonido (es decir, cuántas veces vibra en un segundo), y los decibeles (Db) que miden la intensidad (amplitud) de una onda.

El oído y un micrófono incorporado a la tarjeta de sonido tienen un funcionamiento similar. Ambos transforman las vibraciones del aire en una señal eléctrica que puede ser comprendida y almacenada por sus respectivos cerebros. Esta señal puede ser guardada, manipulada o reproducida por los medios electrónicos adecuados.

1.3. Características del sonido

Cualquier sonido sencillo, como una nota musical, puede describirse en su totalidad especificando tres características de su percepción: el tono, la intensidad y el timbre. Estas características corresponden exactamente a tres características físicas: la frecuencia, la amplitud y la composición armónica o forma de onda. El ruido es un sonido complejo, una mezcla de diferentes frecuencias o notas sin relación armónica.

1.3.1. Frecuencia

Existen distintos métodos para producir sonido de una frecuencia deseada. Por ejemplo, un sonido de $440 Hz$ puede crearse alimentando un altavoz con un oscilador sintonizado a esa frecuencia. También puede interrumpirse un chorro de aire mediante una rueda dentada con 44 dientes que gire a 10 revoluciones por segundo; este método se emplea en las sirenas.

Los sonidos de un altavoz y una sirena de la misma frecuencia tendrán un timbre muy diferente, pero su tono será el mismo, equivalente al la situado sobre el **do** central en un piano.

El siguiente **la** del piano, la nota situada una octava por encima, tiene una frecuencia de 880 *Hz*. Las notas situadas una y dos octavas por debajo tienen frecuencias de 220 y 110 *Hz*, respectivamente. Por definición, una octava es el intervalo entre dos notas cuyas frecuencias tienen una relación de uno a dos.

Una ley fundamental de la armonía afirma que dos notas separadas por una octava producen una combinación eufónica cuando suenan simultáneamente. Cuando el intervalo es de una quinta o de una tercera mayor, la combinación es progresivamente menos eufónica. En física, un intervalo de una quinta implica que la relación de las frecuencias de ambas notas es de tres a dos; en una tercera mayor, la relación es de cinco a cuatro.

La ley de la armonía afirma que dos o más notas producen un sonido eufónico al sonar de forma simultánea si la relación entre sus frecuencias corresponde a números enteros pequeños; si las frecuencias no presentan dichas relaciones, se produce una disonancia. En un instrumento de tonos fijos, como un piano, no es posible establecer las notas de forma que todas estas relaciones sean exactas, por lo que al afinarlo es necesario un cierto compromiso de acuerdo con el sistema de tonos medios o escala temperada.

1.3.2. Amplitud

La amplitud de una onda de sonido es el grado de movimiento de las moléculas de aire en la onda, que corresponde a la intensidad del enrarecimiento y compresión que la acompañan. Cuanto mayor es la amplitud de la onda, más intensamente golpean las moléculas el tímpano y más fuerte es el sonido percibido. La amplitud de una onda de sonido puede expresarse en unidades absolutas midiendo la distancia de desplazamiento de las moléculas del aire, o la diferencia de presiones entre la compresión y el enrarecimiento, o la energía transportada.

Por ejemplo, la voz normal presenta una potencia de sonido de aproximadamente una cienmilésima de vatio. Sin embargo, todas esas medidas son muy difíciles de realizar, y la intensidad de los sonidos suele expresarse comparándolos con un sonido patrón; en ese caso, la intensidad se expresa en decibelios.

1.3.3. Intensidad

La distancia a la que se puede oír un sonido depende de su intensidad, que es el flujo medio de energía por unidad de área perpendicular a la dirección de propagación. En el caso de ondas esféricas que se propagan desde una fuente puntual, la intensidad es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia, suponiendo que no se produzca ninguna pérdida de energía debido a la viscosidad, la conducción térmica u otros efectos de absorción.

Por ejemplo, en un medio perfectamente homogéneo, un sonido será nueve veces más intenso a una distancia de 100 metros que a una distancia de 300 metros. En la propagación real del sonido en la atmósfera, los cambios de propiedades físicas del aire como la temperatura, presión o humedad producen la amortiguación y dispersión de las ondas sonoras, por lo que generalmente la ley del inverso del cuadrado no se puede aplicar a las medidas directas de la intensidad del sonido.

1.4. Sonido digital

Una vez dada una breve introducción del sonido y sus conceptos básicos (historia, características, etc.) se puede comprender de mejor manera las características del sonido digital.

Para poder viajar desde el emisor al receptor, las ondas de sonido precisan de un medio físico de soporte, ya sea el aire de la atmósfera, el agua, etc.

Es necesario indicar y aclarar que las computadoras o los equipos informáticos no trabajan con datos analógicos, sino que lo hacen con datos digitales, formados por estados binarios. Por lo tanto, para representar un sonido (desde el punto de vista que nos interesa que es el informático) es preciso capturarlo en una naturaleza binaria, para lo que se hace un muestreo del mismo tomando determinados valores de las ondas y representando dichos valores en formato digital.

Mientras más muestras tomemos, más fiel será el sonido capturado respecto al original, con lo que tendrá más calidad. Para medir el número de capturas utilizamos la frecuencia del muestreo. Como un Herzio es un ciclo por segundo, la frecuencia de una captura en Herzios representa el número de capturas que realizamos en un segundo. Así, una frecuencia de muestreo de 20 *Khz* (20 Kilo Herzios = 20000 Herzios) realizará 20000 capturas de puntos cada segundo.

El oído humano es capaz de captar la asombrosa cantidad de 44000 sonidos por segundo, es decir, 44 *Khz*. Por lo tanto, para que un sonido digital tenga suficiente calidad deberá estar basado en una frecuencia similar a ésta.

En general, el valor estándar de captura de sonidos de calidad es de 44,1 *Khz* (calidad *CD*), aunque hay capturadoras de sonido profesionales que llegan hasta los 100 *Khz*, con objeto de obtener un mayor número de puntos sobre la muestra, consiguiendo una calidad máxima.

Otro concepto que es común mencionar en torno al sonido digital es el número de bits de una tarjeta de sonido. El origen de esta magnitud es que, a la hora de capturar el sonido, no sólo es importante el número de muestreos tomados sino también la cantidad de información capturada en cada uno de esos muestreos.

Una vez capturado el sonido, para su posterior reproducción en un equipo informático, es necesario mandar una serie de impulsos o posiciones a los altavoces para que creen el sonido a partir de ellos. Esto se consigue al producir a partir de esas posiciones movimientos de las membranas de los altavoces, movimientos que transforman de nuevo el sonido digital en analógico. En este estado es capaz de viajar por el aire y producir los estímulos necesarios en nuestros tímpanos, con lo que somos capaces de percibir el sonido “original”. Cuantas más posiciones de información se envíen a los altavoces, mejor calidad tendrá el sonido reproducido.

Con estas bases, se define el número de *bits* de un sonido digital como el número de impulsos de información (posiciones) que se envían a los altavoces para su transformación en ondas analógicas. Las tarjetas de sonido actuales trabajan normalmente con 8 *bits* de información, con los que se pueden obtener $2^8=256$ posiciones (ceros y unos binarios), aunque hay algunas de mayor calidad que son capaces de trabajar con capturas de 16 bits, que originan $2^{16} = 65536$ posiciones de información. Como dato de referencia, los *CD* actuales están basados en sonido grabado a 44 *Khz* y con un tamaño de muestra de 16 bits. Estas medidas se conocen con el nombre de sonido de calidad *CD*.

Por último, una vez que el sonido digital llega a nuestros oídos impacta contra los tímpanos — verdaderas membranas especializadas — que vuelven a transformar las ondas analógicas en impulsos eléctricos. Estos viajan hasta nuestro cerebro, donde son interpretados y producen las sensaciones auditivas que todos conocemos.

Una excepción al sonido anteriormente descrito, que podemos denominar "de datos de sonido", es el sonido sintetizado. En este no se realiza ninguna captura de ondas sonoras reales, sino que es sonido totalmente digital, generado directamente en el equipo informático por el reproductor digital conocido con el nombre de *MIDI (Music Instrument Digital Interface)*.

Cuando se desea reproducir una nota musical concreta se envía un comando *MIDI* al chip sintetizador, que se encarga de traducir ese comando en una vibración especial que produce la nota. Mediante este sistema es posible crear melodías bastante aceptables, aunque nunca tendrán la calidad ni riqueza de una onda sonora natural capturada.

1.4.1. Calidad del sonido digital

La calidad del sonido depende de la frecuencia del muestreo y de la resolución. Frecuencias de muestreo o de sampleo, se refieren al número de mediciones que se hacen por segundo. Cuanto mayor sea el número de muestras, mejor es la calidad del sonido; por ejemplo, si la velocidad de muestreo es de una cada un segundo, las variaciones del sonido que se produzcan en el intermedio no serán registradas.

Según estudios, la frecuencia de muestreo debe ser el doble del sonido más alto que se pueda escuchar. Como el oído humano puede escuchar aproximadamente hasta los 20000 Hercios, la frecuencia óptima de muestreo será de 44.1 *Khz.* (44100 hercios), frecuencia que se usa en los *CD* de música. Como los instrumentos o las voces humanas no pasan la frecuencia de los 10 *Khz.*, con una frecuencia de muestreo de 32 *Khz.* es más que suficiente. Al bajar mucho la frecuencia de muestreo el sonido se vuelve opaco o poco nítido, pues se pierden las frecuencias agudas.

La resolución hace referencia a la exactitud de las medidas de frecuencia. Se mide en *bit*, si la resolución es de 8 *bits* tenemos 256 niveles posibles ($2^8=256$). Si se amplía a 16 *bits* el rango se extiende a 65535 ($2^{16}=65536$). Como referencia se puede decir que un disco compacto se graba a 44.1 *Khz.* y a una resolución de 16 *bits*.

Si se desea digitalizar 3 minutos de música a un muestreo de 44.1 *Khz.* y almacenando por cada muestra dos bytes (16 bits) se obtiene lo siguiente:

$$\begin{array}{r} 3\text{min} \times 60 \text{ seg/min} \\ \times 44100 \text{ muestras/seg} \\ \times 2 \text{ bytes/muestra} \\ \hline 15,876,000 \text{ bytes} \end{array}$$

El cálculo nos indica que para almacenar una canción de tres minutos con calidad profesional se necesitaran 16 *MB* aproximadamente. Es aquí donde surge el problema, pues aunque los discos duros u otros medios de almacenamiento han crecido mucho, tener varias canciones significaría ocupar gran parte del disco del computador.

Para solucionar este problema se han desarrollado formatos de archivo que permiten realizar grabaciones de sonido con muy buena calidad usando un método de compresión. El problema es que el sonido no puede ser editado para ser modificado.

1.5. Formatos de sonido digital

En la actualidad en cuanto hablamos de formatos de sonido digital nos vienen a la mente varios, pero como siempre, hay unos que son más populares que otros. Debido a las distintas necesidades que se tienen en el mundo de la informática, es lógico que existan diversos formatos de sonido, cada uno con distintas características que lo hacen más conveniente en un caso que en otro.

A continuación se da una breve descripción de los formatos más usados y de su aporte al mundo informático.

1.5.1. Formato MIDI

El formato *MIDI* proviene de *Musical Instrument Digital Interface* (Interfase digital para instrumentos musicales). Es un protocolo de comunicación estándar utilizado para combinar datos entre sintetizadores, *software*, procesadores de efectos y otros dispositivos *MIDI*.

Este es el formato más usado en la composición musical y tiene generalmente la extensión *mid* (*rmi*). El archivo contiene información de secuenciado, es decir, acerca de cuándo tocar qué instrumento y de qué forma. Dependiendo del *hardware*, el sonido puede ser excelente o bien muy por debajo de lo aceptable.

Los sonidos (timbres) de los diferentes instrumentos tienen un número de programa y van desde el 1 al 128. Generalmente se asigna el 1 al piano; además, cada programa tiene parámetros propios, como por ejemplo, con qué intensidad atacar un sonido.

Toda la información *MIDI* que puede procesar un teclado, sale como *MIDI Out* y entra por el *MIDI In* del computador, donde es completamente reconocido, interpretado y convertido en números. Esto puede ser editado y manipulado gracias a un *software*.

1.5.2. Formato WAV

El formato *WAV*, (*Waveform Audio File*) es un formato de archivo originario de *Microsoft Windows 3.1* y tiene normalmente la extensión *WAV*. Es el formato para almacenar sonidos más utilizado por los usuarios de *Windows*. Lo flexible de este formato lo hace muy usado para el tratamiento del sonido, pues puede ser comprimido y grabado en distintas calidades y tamaños. Los *Khz.* van desde 11025, 22050, 44100.

Aunque los archivos *WAV* pueden tener un excelente sonido comparable a la del *CD* (16 bites y 44,1 *Khz.* estéreo) el tamaño necesario para esa calidad es demasiado grande (especialmente para los usuarios de Internet) una canción convertida a *WAV* puede ocupar fácilmente entre 20 y 30 *MB*. La opción mas pequeña es grabar a 4 bits y los *Khz* lo más bajo posible, el problema es la baja calidad del sonido, los ruidos, la estática, incluso cortes en el sonido, por esta razón casi siempre se usa para muestras de sonido.

La ventaja más grande es la de su compatibilidad para convertirse en varios formatos por medio del *software* adecuado, un ejemplo de ello es pasar de *WAV* a *MP3*, a *Ogg*, etc.

1.5.3. Formato *MP3*

Este formato de compresión de audio que fue creado por el *Motion Pictures Expert Group*, (diseñadores y programadores de normas de compresión de audio y video) trabajando bajo la dirección de *International Standards Organization (ISO)*. Se identifican con la extensión *MP3*, esta norma fue lanzada el año 1995 a la Internet, actualmente se trabaja en el sucesor que será el *MP3* con una compresión de 40 a 1.

La calidad de sonido del *MP3* y su pequeño tamaño lo hecho muy popular en Internet. Su algoritmo se basa en la forma de escuchar que tiene el oído humano, ya que las frecuencias que quedan fuera de la audición no son registradas en el archivo (las mayores de 20*Khz* y las menores de 20*Hz*). Esto se traduce en archivos mucho más pequeños, sin una pérdida de la calidad del sonido.

1.5.4. Formato VQF

El formato *VQF* es un nuevo formato de compresión de audio desarrollado por la empresa japonesa Yamaha. Tiene características similares al *MP3*, pero la compresión y calidad son mejores. Se habla de un 30% menos de tamaño, lo cual verificaremos más adelante en un caso de aplicación. Un *VQF* de 96 Kbps es mejor que un *MP3* de 128 Kbps.

El formato no es aún muy difundido en comparación con el *MP3*, pero se cree que es cuestión de tiempo para que los usuarios comparen las ventajas del archivo y su popularidad suba.

Todas estas ventajas se convierten en desventajas al pensar en el *hardware*, ya que necesita mayor cantidad de *RAM* (mínimo de 16, se recomienda 32) y de velocidad (Pentium de 200 *Khz*), aunque se dice que si se corre un *MP3* mientras se trabaja en otra cosa y el computador soporta, tendría que soportar este formato.

1.5.5. Formato RA (Real Audio)

Este es el formato más usado en Internet por su capacidad de reproducción en tiempo real. Esto significa que mientras el archivo es bajado se escucha el sonido y cuando se termina de bajar, ya fue reproducido.

Este formato fue desarrollado por *RealNetworks*. Esta empresa ha puesto a disposición de los usuarios *software* para recibir y enviar en tiempo real (tanto video como sonido). La empresa es reconocida como una de las más importantes en el mundo informático, pues ha puesto su formato *RA* a la altura del *WAV* o del *MIDI* en popularidad.

El problema más grave que tiene es que puede cortarse la reproducción del audio cuando hay interrupción en la señal de datos; esto ocurre cuando el usuario usa un módem muy lento o hay mucho tráfico en la red. *Real Audio* desarrolla una mejora en su formato (*RealSystemG2*), que incrementa la frecuencia de audio en un 80% y logra en módem de 28.8 Kbps una mejora en la calidad del audio. El problema surge en el almacenaje, pues producirá archivos demasiado grandes sobre todo para el envío por correo electrónico. Este producto puede tocar archivos antiguos de *RA*, *WAV* y puede ser usado por Macintosh y *PC*.

1.5.6. Otros formatos de sonido

.au: formato de sonido muy común encontrado en Internet. Por lo general es de 8 *bits* y posee menor calidad que otros formatos. El programa más usado para este tipo de archivo es *Waveform Hold and Modify*, que soporta muchos formatos, conversiones entre ellos y funciones de edición y corrección de archivo.

.aiff: (*Audio Interchange File Format*). Formato de sonido muy simple y popular en Internet, es originario para Macintosh y parecido al *WAV* por su tamaño. También puede ser usado en otras plataformas y requiere los mismos programas que el formato *au*, anteriormente mencionado.

.voc: son similares a los archivos *WAV*, la diferencia es que traen marcadores de sincronización especialmente para ser usados con imágenes, videos u otros sonidos en aplicaciones multimedia.

.mod: es la extensión que se aplica a un tipo de archivo que utiliza muestras de instrumentos digitalizados para crear composiciones en secuenciadores especiales llamados *trakers*. Comenzó usando solo 4 pistas y actualmente llegan a 32; la calidad sonora es buena y sigue mejorando.

1.6. Software para reproducción de formatos de sonido

Para poder escuchar un archivo con alguno de los formatos anteriores, debemos contar con *software* especial que permita la reproducción de este tipo de archivos. Es por ello que se presentan los más conocidos y utilizados para la reproducción de los mismos.

1.6.1. Software para formato MIDI

Los programas que se utilizan para reproducir este tipo de formato son:

- *TiMidity* se recomienda por su buen sonido, el inconveniente es el gran uso de la *CPU*, puede convertir desde *MIDI* a *WAV*.
- *Playmidi*. Se dice que es más rápido que otros, también reproduce archivos *RIFF*, *Creative Music*. Tiene una opción de reproducción de tiempo real.
- *CakeWalk Pro Audio* es un excelente programa para edición de sonidos *MIDI*, permite grabar o reproducir desde un sintetizador conectado a la tarjeta de sonido.
- *MIDI Editor*, editor y biblioteca de archivos *MIDI*, tiene gran calidad de digitalización.
- *Mplayer*, programa que se incluye con *Windows*, muy pequeño y práctico.

1.6.2. Software para formato WAV

Entre los programas utilizados para reproducir archivos de este tipo de formato tenemos:

- *Cool Editor Pro*, trabaja bajo *Windows 95/98*, es uno de los mejores editores de sonido que hay para el computador, permite crear efectos a una gran variedad de formatos.
- *WinDac*, programa para copiar *CD* a formato *WAV*, trabaja bajo *Windows 95*.
- *Mplayer*, programa que se incluye con *Windows*, muy pequeño y práctico.

1.6.3. *Software para formato MP3*

Entre los programas utilizados para reproducir uno de los formatos más utilizados en informática tenemos:

- *Mpg123*, que reproduce audio *MPEG* y puede reproducir en tiempo real desde Internet.
- *WinAmp*, sin duda es el programa más extendido, combina rapidez, funcionalidad y un diseño flexible.
- *Sonique*, destaca por el diseño, tiene muchas funciones pero es un poco lento, según sus usuarios.
- *Musicmatch*, otro gran reproductor de *MP3*, también es utilizado para *ripear CD's* de audio a este formato.

1.7. **Compresión de los formatos de sonido digital**

La compresión de audio o sonido es un proceso destructivo. Los algoritmos empleados truncan el archivo original, por lo que el sonido obtenido no es el mismo. Lo que sucede es que las frecuencias recortadas son aquellas no audibles para el oído humano, de forma que al elegir una tasa de transferencia y frecuencia determinada para la extracción de audio se consigue para cada formato que, aparentemente, el sonido sea como el del original. Ese grado de apariencia es tan completo que es muy difícil diferenciar el formato comprimido del original.

En un *CD* el sonido se muestrea a 44.1 KHz y cada muestra se codifica con 16 *bits*, lo que supone una velocidad binaria de $44.1 * 10^3 * 16 * 2 = 1,411 \text{ Mbps}$. Esta velocidad es muy superior a la que puede proporcionar un módem estándar (56 kbps), una línea *RDSI* (64 kbps), un acceso *ADSL* básico (256 kbps) o la capacidad de un canal de radiodifusión (alrededor de 100 kbps).

Existen numerosos servicios que requieren el envío o la recepción de audio digital de calidad, pero que no pueden soportar esa tasa binaria.

1.7.1. ¿Cómo se comprime audio o sonido?

Cuando cuantificamos una señal, lo que hacemos es asignar a un rango de niveles un único valor de reconstrucción. Esto hace más fácil discernir entre niveles de amplitud, reduciendo el efecto del ruido que se pueda añadir en una transmisión o en un proceso de lectura. El precio que hay que pagar es una distorsión de la señal, ya que esta no recupera su amplitud original en todos los puntos, sino un valor próximo, que nosotros le hemos asignado. Esta distorsión puede verse como ruido añadido, en una proporción que podemos controlar variando el número de niveles de cuantificación: cuantos más niveles, menos ruido.

Esto nos da la clave para comprimir audio. Si en una zona del espectro podemos introducir ruido sin que se oiga, realizamos una cuantificación menos fina (escalones de cuantificación más grandes, que se traduce en menos *bits*), mientras que en las zonas donde el ruido se hace audible, asignamos más *bits*. Es en este punto donde se diferencian unos codificadores de otros.

El cálculo de la cantidad de ruido que se puede admitir es un dato basado en lo que se llama el **Modelo psicoacústico**. Este modelo es completamente experimental y se realiza promediando la respuesta de muchas personas frente a determinados estímulos. Un buen modelo nos permitirá estimar con precisión la cantidad de ruido admisible y la banda donde puede introducirse con pérdidas mínimas, mientras que las estimaciones de un mal modelo no permitirán comprimir tanto o con tanta calidad. No obstante, la elección de un modelo u otro puede estar determinada por diferentes factores, como por ejemplo, el coste computacional.

A la hora de efectuar una compresión de audio, una vez elegido el formato, es necesario prefijar una tasa de transferencia de datos y una frecuencia. Para cada uno de los formatos comprimidos existe una calidad semejante al sonido del *CD* original. Aquí hay que señalar que el abanico que incluye el programa es amplio, con tasas de transferencia superiores e inferiores a la calidad de audio del *CD*.

A mayor tasa de transferencia, mayor ocupación del archivo resultante y mayor similitud entre el archivo del *CD* original y el que estemos creando; es decir, la destrucción es menor. Contrariamente, cuanto más baja sea la tasa de transferencia menor será la ocupación del archivo resultante al igual que su calidad, ya que la destrucción del algoritmo habrá sido mayor.

Los métodos de codificación de audio que existen en la actualidad se basan en algoritmos de compresión y en codificación multicanal.

Los algoritmos de compresión de audio se fundamentan en aspectos perceptibles al oído humano. Básicamente son dos los fenómenos que son objeto de estudio y que han originado los métodos de compresión:

- La curva de sensibilidad del oído
- El fenómeno de enmascaramiento

El oído humano detecta sonidos entre 20Hz y 20KHz , pero su sensibilidad depende de la frecuencia del sonido. De esta forma, dos frecuencias con la misma potencia son interpretadas por nuestro oído de forma diferente, y se tiene la sensación de que una es más fuerte que otra, o incluso, oír una y no la otra. La curva que indica cuál es la potencia mínima (umbral) que nuestro oído detecta es la curva de sensibilidad.

1.7.1.1. Curva de sensibilidad (típica) del oído

Nuestro oído es muy sensible a frecuencias entre 2 y 4 *KHz* (aproximadamente). Si la potencia de una cierta frecuencia no supera el umbral de la sensibilidad del oído, simplemente no la oiremos, por lo tanto, no hace falta que la codifiquemos. Este es un primer paso en la compresión: eliminar las señales que no oiremos.

Existe otro tipo de señales que tampoco oímos: aquellas que son enmascaradas. Imaginemos una señal de 1*KHz* con un potencia tal que supera el umbral y que, por lo tanto, oímos. Si aparece de forma simultanea otra señal de 0.5*KHz* y vamos aumentando su potencia llegará un instante en el que no oiremos la señal de 1*KHz* ya que ha sido enmascarada. Esto se debe a que la potencia de una señal hace que la sensibilidad del oído varíe, y se necesita más potencia de las señales próximas en frecuencia para poder oírlas.

1.7.1.2. Fenómeno de enmascaramiento

El enmascaramiento gana importancia cuando los sonidos son cercanos en frecuencia y la frecuencia enmascaradora es inferior que la enmascarada. Para poder cuantificar el fenómeno de enmascaramiento surge el concepto de **banda crítica** como el ancho de banda máxima alrededor de una frecuencia para que no haya enmascaramiento; por lo tanto, sólo se produce éste entre bandas contiguas. Además, estas bandas están distribuidas siguiendo una escala logarítmica, simulando la escala perceptiva del oído. Una escala de medida perceptual es la escala *BARK*, que relaciona las frecuencias acústicas con la resolución perceptual de éstas.

A partir de esta escala de bandas de frecuencia y de un modelo psicoacústico se determinará qué frecuencias se enmascaran y cuáles no.

Además existe enmascaramiento temporal cuando oímos un sonido de alta potencia, se detiene de pronto y seguimos oyéndolo durante un breve instante que puede enmascarar a otras señales.

1.7.2. Proceso de compresión de sonido

El procedimiento básico para la compresión del sonido o de audio es el siguiente:

a) Enventanado de la señal: tomar muestras durante unos 10 ms (alrededor de 512 muestras). A este intervalo temporal se le denomina ventana de análisis.

b) Análisis espectral de la ventana: se divide la señal de audio en bandas frecuenciales mediante filtros convolucionales, de tal forma que se corresponden con 32 bandas críticas, que suelen distribuirse de manera uniforme en frecuencia. Hay que calcular un umbral de enmascaramiento para cada una de estas bandas.

Generalmente se usa una *FFT* (Transformada rápida de Fourier), pero pueden utilizarse otras transformaciones, como por ejemplo la *DCT* (Transformada Discreta del Coseno). Al aplicar esta transformación, el espectro se divide en bandas de anchura creciente con la frecuencia, lo que simula el comportamiento del oído, que tiene más resolución espectral en baja frecuencia.

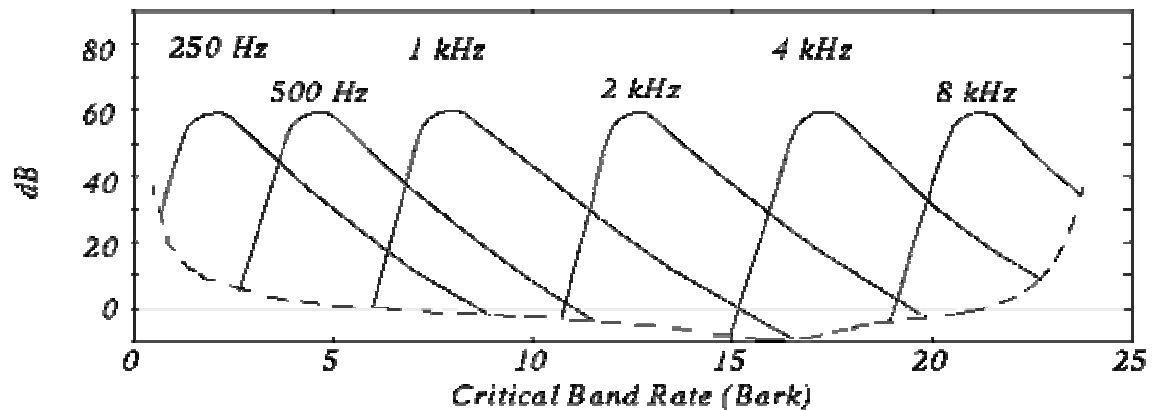
c) Cálculo de los umbrales de enmascaramiento: esta parte puede hacerse de dos formas. La más simple, y la que se usa para factores de compresión pequeños, es utilizar la energía de las subbandas para estimar los umbrales, que es computacionalmente poco costoso. Para elevar los factores de compresión, necesitamos afinar más en la estimación, lo que se hace calculando una *FFT* de muchos puntos (más de 512) o calcular *FFT* (o *MDCT*) de cada una de las subbandas. La decisión de usar uno u otro método es un compromiso entre prestaciones y coste computacional.

Según los umbrales de enmascaramiento y la velocidad binaria de salida se realiza la cuantificación de los coeficientes de cada banda con un número determinado de bits.

Si la potencia de una banda es menor que el umbral no se codifica. En caso contrario, se determina el número de bits necesario para representar el coeficiente tal que el ruido introducido en la cuantificación sea menor que el efecto de enmascaramiento.

Luego de estos pasos se procede a crear la trama de datos, la cual se puede observar en la gráfica siguiente:

Gráfica 1. Trama de datos



Esquema de codificación

Por ejemplo, imaginemos que tras el análisis correspondiente se encuentra que los niveles de potencia de las bandas son:

Banda	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	...
Nivel (db)	0	8	12	10	6	2	10	60	35	20	...

Si el nivel en la octava banda es de 60dB y según el modelo psicoacústico provoca un enmascaramiento de 12dB sobre la banda 7 y 15dB sobre la banda 9, el nivel en la banda 7 es 10dB ($<12\text{dB}$), por lo tanto la enmascara y se ignora. El nivel en la banda 9 es de 35dB ($> 15\text{dB}$), por lo tanto se codifica.

2. FORMATOS DE SONIDO DIGITAL: *MP3*, *OGG* Y *VQF*

Cada uno de los formatos que pondremos en estudio tiene un origen y características distintivas que los hacen una opción en el mundo informático. Por ello describiremos cada formato de sonido para luego dar una evaluación y un análisis comparativo de cada uno. Iniciaremos con el más conocido y famoso, el formato *MP3*.

2.1. Formato *MP3*

2.1.1. ¿Qué es *MP3*?

La revolución musical informática inició en el año de 1987, cuando el Instituto Fraunhofer se propuso desarrollar un método para transmitir audio en un formato digital comprimido.

Para ello idearon un algoritmo (*codec*) capaz de comprimir el sonido sin una pérdida de calidad apreciable. En 1992, el *Motion Pictures Expert Group (MPEG)* aprobó la tecnología y nació el *MP3 (MPEG1 Audio Layer 3 - 3er nivel de compresión del MPEG1)*. Trabajan desarrollando estándares para codificar audio y video. La verdadera revolución llegó con el crecimiento espectacular de Internet.

Hay que indicar que se tienen tres algoritmos distintos: *Fraunhofer*, *GOGO* y *LAME*, para la compresión de formato *MP3*. Cada uno trabaja de distinta manera.

El formato *MP3* (*MPEG Layer III*) no es más que un *WAV* (*wave*) con una calidad muy elevada de compresión. El formato *WAV* es un formato de sonido (de onda) que abarca distintos grados de calidad de sonido en base: *bitrate*, a la frecuencia de muestreo (en *Hz*) así como al sonido estéreo o mono. Con un archivo *WAV* podemos conseguir una calidad de reproducción igual a la obtenida con un disco compacto, aunque el problema es el del espacio que ocupan estos archivos. Por medio de compresores se consigue reducir el tamaño de estos archivos de una forma exponencial y así, con el formato comprimido *MP3*, podemos tener en un poco más de tres megabytes una canción de tres minutos de nuestro cantante preferido y con calidad *CD*.

Para reproducir o escuchar un archivo *MP3* necesitamos un programa reproductor de *MP3*, para ello podemos utilizar alguno de los mencionados en el apartado 1.6.3 del capítulo anterior. En la actualidad el *Winamp* es el reproductor de archivos de sonido del tipo *MP3* más extendido. Para reproducir este tipo de archivos se deberá tener como mínimo una computadora con un procesador 486 a 100 *MHz* con una tarjeta de sonido de 16 *bits*.

2.1.2. Calidad de sonido y tamaño de un *MP3*

Para obtener un archivo *MP3* con calidad *CD* se deben hacer dos cosas:

- Primero: debe extraerse la información del *CD*-Audio y pasarla al disco duro. Esto lo hace un programa denominado extractor (ripper o ripeador). De esta manera ya tenemos la información del *CD*-Audio en el disco duro, generalmente en un voluminoso archivo *WAV*.

- Segundo: debido al gran tamaño de estos archivos, necesitamos comprimirlos. Aquí es donde surge el compresor, que nos pasará este archivo *WAV* a un archivo *MP3*, el cual contiene prácticamente la misma calidad de sonido pero ocupa de 11 a 12 veces menos espacio.

Respecto a la calidad de un archivo *MP3*, puede ser de la calidad que se quiera: menor calidad es menor tamaño y menos tiempo empleado. Para obtener un sonido con calidad digital la tasa de transferencia de *bits* o *bitRate* deberá ser de 128 Kbits/seg, con una frecuencia de muestreo de 44.100 *Khz*. Esto hay que tenerlo en cuenta a la hora de crear un archivo *MP3*.

Para cualquier formato *MP3* la calidad equivalente a *CD* es 128 kBit/s *Stereo*. Si elegimos una calidad superior no seremos capaces de notarlo al escucharlo, pues entraremos dentro de las frecuencias que se escapan de nuestro oído. Si la calidad es inferior a la señalada iremos notando pérdida de sonoridad y ruidos de fondo.

Al usar el formato a *MP3* se puede reducir la pista de un *CD* a un factor de 12 a 1, (1 minuto de calidad *CD* en formato *MP3* equivale a 1MB aproximadamente; esto significa que en un disco compacto se pueden grabar unos 12 *CD*'s-Audio). Lo más importante es que no pierde calidad de sonido. Factores de incluso 24 a 1 son aceptables.

El uso más corriente que se le da a estos formatos es el de almacenamiento de música, por lo que primero se debe grabar el *CD* en el disco duro de la computadora para luego pasarlo al formato *MP3*. Para esto se debe tener un ripper que cumpla la función de pasar desde el formato *CDA (CD)* a *WAV*; luego se debe utilizar un compresor, estos programas pasan de formato *WAV* a *MP3*. Se debe tener en cuenta la calidad que se desea, a mayor tamaño de archivo, mayor calidad.

Esto se especifica eligiendo los Kbps (512, 256, 128, 64, 32, 20, 16), los *Khz* (48000, 44100, 32000, 24000, 22050, 16000, 11025, 8000) y si es estéreo o mono y cómo es la calidad del *WAV* que se está trabajando.

2.1.3. Razones que favorecen a *MP3* sobre otros formatos

El formato *MP3* es el más utilizado y el más popular por tres razones, de las cuales ya se habló un poco en el apartado anterior y que describimos a continuación.

2.1.3.1. Capacidad de compresión

El *MP3* es un formato de compresión de audio que logra reducir hasta 12 veces el tamaño de una canción. Un tema de 5 minutos sin comprimir ocupa 60 *MegaBytes* (un tamaño bastante molesto para cualquier disco duro a pesar que el tamaño de estos va en aumento); si se convierte esa canción en un archivo *MP3* ocupará sólo 5 *MegaBytes*. Otro ejemplo: mientras que en un disco duro de 1 GB entrarían 16 canciones sin comprimir, en la misma cantidad de espacio caben 200 archivos *MP3*.

2.1.3.2. Calidad de compresión

Un método de compresión no es otra cosa que un algoritmo (serie de ecuaciones matemáticas) capaz de simplificar la información. Pero compresión indica, inevitablemente, una pérdida de calidad. Pues bien, el *MP3* logra un equilibrio casi perfecto: logra reducir el tamaño de una canción con una mínima pérdida de calidad sonora.

2.1.3.3. Facilidad de distribución

La tercera clave fundamental para entender el éxito y la aceptación mundial del *MP3* es su facilidad de distribución. Gracias a Internet se puede enviar o recibir un archivo de este tipo sin demasiado esfuerzo.

Una canción de tres minutos (con un tamaño promedio de 3 *MegaBytes*) se puede distribuir por Internet sin mayor problema, es por ello que ha proliferado la creación de sitios *Web* que permiten bajar canciones en este formato, incluso con conexiones lentas. Aunque también se tiene que tener en cuenta los aspectos legales en la distribución, los cuales presentamos en el siguiente apartado.

2.1.4. Legalidad del *MP3*

Una vez que se tiene un archivo *MP3* se debe tomar en cuenta qué se va a hacer con él. Ya que dependiendo el uso que se le dé puede traernos problemas legales, por los derechos de autor.

Como dato interesante hay que decir que nunca se ha detenido a alguien por tener en una página de Internet archivos *MP3*, ni siquiera en Estados Unidos, que es donde más énfasis ponen a los derechos de autor. Qué decir del famoso caso de *Napster* que fue uno de los primeros sitios en Internet que permitía el intercambio de música en cualquier parte del mundo y por el cual se realizó una gran batalla legal.

Como es sabido por la comunidad informática, es ilegal intercambiar o bajar archivos *MP3*, a no ser que se paguen derechos de autor. El problema para las discográficas (no tanto para los autores debido al estrecho margen de beneficios que se llevan) es que existe multitud de sitios en los que pueden descargar *MP3*. Además puede decirse que existe impunidad en la red.

Lo único que se hace es hablar con el *webmaster* o administrador de la página, y normalmente elimina los *MP3* o los cambia a servidores extranjeros. De esta manera el único problema que se puede encontrar es que el enlace al *MP3* no exista o que la velocidad de descarga sea desesperante.

2.1.5. El futuro del *MP3*, ¿es el *MP4*?

Desde la popularización del *MP3*, la industria empezó a buscar nuevas formas de reproducir la música digital. Los dispositivos portátiles *MP3* para escuchar música desde cualquier lugar, han reemplazado a los reproductores de cintas de cassettes o *CD's*. Pero lo último en la industria es el *MP4*, un formato de audio que se encuentra en pleno desarrollo técnico y que promete ser mucho mejor que el *MP3*. Aunque todavía no hay nada claro sobre el *MP4*, la polémica se centra en si será una "norma abierta", es decir, que la música codificada en este formato podrá ser también distribuida libremente, o si por el contrario será un intento de la industria para frenar la piratería. Ni siquiera se conoce si el nombre definitivo de este nuevo formato será *MP4*.

El futuro para la música digital es cada vez más prometedor. Cada día más empresas están lanzando al mercado reproductores portátiles, incluso algunas comercializan legalmente con *MP3*, pagando los derechos de autor. Aunque es ilegal intercambiar o bajar *MP3*, hay muchos otros más sitios *Web* en los que se pueden descargar, casi de forma impune.

MP3 empezó a ganar popularidad gracias a la salida de *plug-ins* gratuitos, una oferta cada vez mayor de música, tanto legal como pirateada, y el respaldo de un creciente número de bandas y sellos que consideran Internet como un medio más para llegar a los aficionados. Pero en la búsqueda por la velocidad ya han aparecido prototipos de un nuevo formato, el *MP4*.

De momento, el *MP4* se encuentra en desarrollo técnico aunque ya han salido algunos proyectos. Por ejemplo, existe una compañía que ha propuesto un formato de *MP4* en el que el archivo de audio se trata de un ejecutable que contiene el reproductor, la canción e información.

Con esta idea no haría falta contar con un reproductor, pero detrás podría esconderse la forma de evitar la piratería, pues se necesitaría contar con un sistema operativo *Win 32*, lo que resulta incompatible con un reproductor portátil.

Sólo en teoría, el *MP4* será un formato de audio pero no *MPEG*, sino una mezcla de *AAC (Advanced Audio Coding*, que incluye más de 48 canales de audio, 15 cadenas de datos y capacidad multi-lenguaje), *Windows Media Audio*, el *Ogg Vorbis* y otros. La empresa *Global Music Outlet* fue la primera en colgar en Internet el primer tema en *MP4*, el conocido *Swindler's Lust* de Chuck D. del grupo *Public Enemy*. Se sabe que *MP4* se basará en una codificación que permitirá, a diferencia del *MP3*, reproducir música siempre con la misma calidad, independientemente de la herramienta usada para crear la ficha en *MP4*.

Otra de las ventajas será que, gracias a su sistema de compresión, el archivo ocupará un 30% menos de espacio que los *MP3*, por lo que tendrá una velocidad de bajada mucho más rápida. En cambio, podría ser que los *MP4* no pudieran ser listados para escucharse como un disco entero o varios temas seguidos, algo que sí es posible en cualquier reproductor de *MP3*.

2.2. Formato Ogg Vorbis

2.2.1. ¿Qué es Ogg Vorbis?

Ogg es el nombre que recibe un proyecto que tenía como objetivo diseñar un nuevo sistema multimedia abierto de código. La segunda parte del nombre viene de la denominación que se dio al esquema de compresión de audio usado para crear archivos con este formato. De ahí que el nombre de este nuevo formato sea *Ogg Vorbis*. Como es lógico, la extensión que toman los archivos bajo este formato es *Ogg*.

Ogg Vorbis es un nuevo formato de compresión de audio con calidad digital, tanto para grabar como para reproducir música. Es comparable a los formatos mencionados anteriormente, aunque cuenta con una característica que le diferencia de los demás y que es bastante importante: es completamente gratuito y no está sujeto a ninguna patente.

A partir de este momento comenzaron a aparecer diferentes componentes de *software*, de los que luego hablaremos, entre los que no solo encontramos reproductores del formato, sino que además podremos tener acceso al código del formato mediante herramientas de desarrollo que los programadores podrían usar para comenzar a trabajar universalmente con *Ogg Vorbis*.

2.2.2. Filosofía de Ogg Vorbis

Ogg Vorbis está basado en la licencia pública general de *GNU*. *GNU* es el nombre que recibe un proyecto que data del año 1984 cuyo objetivo era el desarrollo de un sistema operativo basado en Unix y con la calificación de *software* libre. Estos sistemas son hoy en día muy usados bajo el nombre de Linux.

El término de *software* libre está asociado íntimamente con el proyecto *GNU*, y por tanto a *Ogg Vorbis*. Se basa en la libertad que, según los miembros de este proyecto, debería existir sobre el *software*. Para quienes configuran el *GNU*, el hecho de no poseer *software* libre supone una privación de la tecnología a cierto sector de la sociedad, algo que no debería estar permitido y que seguiría siendo así mientras exista el *copyright*. *Ogg Vorbis* se rige en su totalidad por las normas del proyecto *GNU*, por lo que se considera un sistema libre que podrá circular, copiarse, mejorarse de manera libre.

El código de desarrollo de este formato está a disposición de los programadores, para ir puliendo los pequeños defectos que pueda tener, al tiempo que se mejora su implementación. El objetivo se sitúa en que algún día, todo el *software* que requiera de contenido de audio, sea desarrollado y distribuido con código de *Ogg Vorbis*.

Por tanto, no está sujeto a patentes como el *MP3*, y su uso no implica la obligación de abonar una cantidad al grupo de desarrollo de *Ogg Vorbis*. Tenemos un formato de calidad futurible, que no nos dará una sorpresa dentro de un mes, haciéndose de pago.

Esto implica un posible soporte para otras empresas, que pueden añadir música de calidad a sus creaciones sin tener que pensar en el presupuesto necesario para poder usar la tecnología actual.

2.2.3. ¿Es *Ogg Vorbis* sustituto de *MP3*?

La intención de *Ogg Vorbis* es conseguir una mayor aceptación que el resto de formatos destinados al mismo fin. Para lograrlo, el mejor argumento siempre es poseer la mejor calidad, por ello — y aunque las comparaciones siempre son así — el formato *MP3* es el punto de referencia a la hora de comparar este formato.

En una hipotética situación de compresión de una misma canción, tanto en formato *MP3* a 128 kbps como en formato *Ogg*, el espacio que ambos archivos ocuparían en disco es el mismo aproximadamente, aunque en el segundo caso, la calidad auditiva sería superior.

La explicación se debe fundamentalmente a los valores de muestreo en los que es capaz de trabajar este formato, llegando desde los 16 kbps hasta los 128 kbps por canal, aunque en las especificaciones del formato no se detalla específicamente que no se pueda codificar un archivo a 8 kbps o 512 kbps.

Ogg Vorbis tiene una muy bien definida cabecera para comentarios en los archivos, que es extensible y fácil de usar, sin tener que usar etiquetas de ID3. Posee además una escala de muestreo, es decir, una función que permite cambiar la cantidad de muestra de un archivo o transmisión sin tener que recodificar el archivo entero, con el tiempo que ello conlleva; simplemente se acortan los paquetes al tamaño deseado. Los archivos *Vorbis* pueden ser troceados y luego editados con extraordinaria fineza de muestreo y puede implementar canales múltiples, no solamente uno o dos.

Como dijimos antes, para que realmente sea útil, el formato debe ser soportado por una serie de aplicaciones que provean la funcionalidad mínima exigida al formato, en el mayor número de ámbitos posibles. *Ogg Vorbis* está fuertemente impuesto en aplicaciones como:

- *icecast* (*audio streaming10*)
- *XMMS* (reproductor de audio)
- *Sonique* (reproductor de audio)
- *Winamp* (reproductor de audio)
- *Serious Sam* (como música de un videojuego)
- *Super Audio Converter* (conversor de formatos)

Real Networks ha anunciado una colaboración con el grupo *Xiph.Org* (los responsables de *Ogg Vorbis*) para integrar el formato *Ogg Vorbis* en el cliente *Helix DNA*, proyecto *Open Source* que desarrolla *Real Networks*.

2.2.4. Método de compresión de *Ogg Vorbis*

2.2.4.1. Conceptos generales

Daremos ahora unas ligeras explicaciones sobre algunas partes que se usan en el algoritmo de compresión.

a) Usa la *MDCT* (transformada modificada discreta del coseno), un tipo de *DFT* (transformada discreta de Fourier), cuyo objetivo primordial es pasar del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia.

El análisis de Fourier permite representar cualquier forma de onda mediante un conjunto de componentes armónicamente relacionados de amplitud y fase adecuadas. La transformada de una forma de onda de audio típica varía de manera relativamente lenta. La lenta señal sonora procedente del tubo de un órgano o de la cuerda de un violín, o el lento decrecimiento de la mayoría de los sonidos musicales, permite la reducción de la frecuencia a la que la transformada es muestreada, obteniéndose una ganancia de codificación. Las transformadas prácticas requieren bloques (también llamados ventanas) de muestras en lugar de cadenas interminables. La solución está en cortar la forma de onda en cortos segmentos solapados y, seguidamente, transformar cada uno de ellos individualmente.

De este modo, cada muestra de entrada aparece en sólo dos transformadas, pero con una ponderación variable dependiendo de su posición en el eje temporal.

La *DFT* requiere gran número de cálculos, debido al requisito de tener que utilizar una aritmética compleja para obtener la fase de las componentes, así como la amplitud. Una alternativa consiste en emplear la transformada discreta del coseno (*DCT*). Esta presenta una ventaja cuando se utiliza con ventanas solapadas. En la transformada discreta del coseno modificada (*MDCT*), se usan ventanas con un solapamiento del 50 %.

El problema que surge es al tener un efecto transitorio hacia el final del bloque, ya que el decodificador reproduce la forma de onda correctamente, pero el ruido de cuantización comenzará al principio de bloque, y puede dar lugar a un pre-eco. La solución es utilizar una ventana de tiempo variable de acuerdo con el contenido del transitorio de la forma de onda de audio. Cuando se producen transitorios musicales, se necesitan bloques cortos, por lo que la resolución de la frecuencia y, por tanto, la ganancia de codificación, serán bajas. En otras ocasiones, los bloques pueden hacerse más grandes, lo que mejora así la resolución de la frecuencia de la transformada y se obtiene una mayor ganancia de codificación.

b) *Vorbis* usa ventanas de dos tamaños, las grandes y las pequeñas. Los tamaños deben ser pequeñas potencias de 2, normalmente entre 256 y 2048, y se fijan para cada ejecución del algoritmo. El tamaño podría ser igual, y el algoritmo conceptualmente usaría solo ventanas pequeñas.

Ambas ventanas se usan para controlar la expansión temporal del pre-eco producido por la *MDCT* como resultado de un incremento brusco en la energía auditiva, como pueden darse en sonidos como la “p”, por ejemplo. Las ventanas pequeñas se usan cerca de estos sonidos cortantes para aislar el efecto de deslizamiento temporal que ocurriría en otro caso. Las ventanas grandes se usan el en resto. Las ventanas cortas no se usan para los decrementos bruscos, ya que el oído humano es menos sensitivo a los post-ecos.

El algoritmo típico de *Ogg Vorbis* busca saltos de 24-32 dB en 256 muestras. Usa un filtro paso-alto IIR11 para ignorar los cambios bruscos en la banda de baja frecuencia. Cada par de ventanas consecutivas está separada por 1/4 del tamaño total de la pareja, lo que corresponde a un 50% de solapamiento cuando las ventanas son de idéntico tamaño.

Cabe destacar que las curvas son simétricas con respecto a los solapamientos. Es decir, cuando se solapan una ventana grande y una pequeña, la curva de la ventana grande será asimétrica, ya que la caída será simétrica a la subida de la pequeña, que no es igual a la subida de la grande.

c) Para calcular los *floor* (son el valor base medio de la ventana analizada), se pasa la señal a una escala logarítmica de dB. Tras esto, se convierte toda la curva en positiva, añadiendo un desplazamiento de amplitud, *ampdB*. Ahora se convierte la curva a *LPC* (codificación lineal predictiva).

LPC es uno de los métodos más poderosos de análisis de voz, y uno de los métodos más útiles para codificar voz a buena calidad con una tasa baja de bits. *LPC* asume que la señal es producida por un zumbador al final de un tubo. La glotis produce el zumbido, que está caracterizado por su intensidad y su frecuencia. La boca y la garganta forman el tubo, caracterizado por su resonancia. *LPC* analiza la señal, estima la resonancia, elimina su efecto en la señal, y estima la intensidad y frecuencia del zumbido restante. Tras tener la curva en *LPC*, se cuantiza a bits de amplitud, en la escala [0, *ampdB*], truncando, no redondeando.

- Si no es silencio, se convierte la señal de *LPC* a *LSP* (parejas de líneas espectrales) que, al ser ortogonales, son estables. Se divide el *LSP* en trozos de longitud *dim*.

Hay que tener en cuenta que el *LSP* será siempre una secuencia incremental en $[0, \pi]$. Ahora se busca el trozo que mejor ajusta con éste en el *codebook* (diccionario donde se almacenan los trozos distintos de la señal, usado para evitar la duplicidad de estos trozos), devolviendo la entrada el número correspondiente. Este número de entrada siempre es en relación al valor del último trozo, o 0 si es el primer trozo.

- Si es silencio, devuelve simplemente una curva cero sin añadirlo al buffer.

d) Los *codebooks* tienen estructura de retículo. Se pueden escribir compactamente sin ser enumerados. La generación de residuos consiste en coger el *floor* y restárselo a la señal *PCM* (modulación por codificación de pulsos). Todos los residuos se codifican y se escriben sus entradas en el *buffer*.

e) Se invierte la *MDCT* y se le da una oportunidad a las funciones de *floor* para que modifiquen las cosas. Su finalidad es ver la calidad resultante y, si estima que no es la deseada, intenta mejorarla cambiando los parámetros.

2.2.4.2. Lista de pasos

Veamos ahora una rápida guía de los pasos que se realizan durante la compresión de un archivo cualquiera.

- Psicoacústico: *Vorbis* computa máscaras sobre cada *frame* de señal, usadas para separar los tonos inaudibles de los audibles, y elige una curva de amplitud en el dominio de la frecuencia que representa la energía base de ese *frame*.
- La curva de energía base (un *floor*) se resta de los datos *MDCT*, produciendo el residuo de frecuencia (los coeficientes cuantizados del residuo *MDCT*).

La multiplicación del *floor* con los coeficientes residuales reconstruirá una versión cuantizada del espectro original de la *MDCT*. El truco está en que el *floor* de la curva puede ser codificado en un filtro paso-bajo IIR de codificación lineal predictiva (20-30 polos). La compresión de voz codifica 20 polos en 20-28 bits. Al contrario que las compresiones de voz y el *TwinVQ*, *Vorbis* nunca usa el filtro de codificación lineal predictiva. Se usa únicamente como un modelo compacto de representación de la curva espectral. La curva puede así ser eficientemente calculada directamente de los coeficientes *LPC* en cualquier momento. Con un *floor* de mucha precisión, la mayoría de los coeficientes de los residuos son -1, 0 y 1. La curva *floor* tiene un máximo, conocido como resolución.

- El *floor* se convierte a representación de parejas de líneas espectrales. Como en la compresión moderna de voz, el filtro *LPC* se codifica en forma de *LSP*.
- Entonces, el filtro *LPC* y los residuos del *MDCT* son cuantizados como vectores (*VQ*) en la salida final, mediante una serie de diccionarios de datos de vectores cuantizados que se empaquetan en la cabecera de la trama de bits. El resultado es uno de los paquetes de audio de *Vorbis*. Los coeficientes residuales se codifican según una entrada genérica del diccionario de datos, que usa una proporcionada por el diccionario de datos. El diccionario de datos puede operar con valores escalares o vectores, y puede ser sin pérdidas o con pérdidas.
- El paquete de audio se empotra en una página de trama *Ogg*, y al llenar la página, se manda al flujo de datos.

2.2.4.3. Resumen del compresor

De forma general, lo que el compresor hace es:

- Separar los datos del dominio del tiempo en bloques de tamaño potencia de dos.
- La envolvente de un bloque se codifica completamente para cada bloque, y la sección solapada no tiene necesariamente que usar la misma envolvente.

- Realizar la *MDCT*.
- Deducir la curva envolvente del espectro deseada (el *floor*).
- Generar un conjunto de coeficientes de codificación lineal predictiva (*LPC*) que codifique la curva. Transformar estos coeficientes en coeficientes de parejas de líneas espectrales (*LSP*), que toleran mejor la cuantización. Codificar estos coeficientes *LSP*.
- Eliminar de los coeficientes *MDCT* el *floor*, y cuantizar. El resultado será el residuo (cuando vayamos a descomprimir, el espectro original se reconstruye multiplicando el *floor* con el residuo). Codificar el residuo.
- Repetir.

2.2.5. *Ogg en hardware*

Es importante tener este tipo de soporte disponible para poder competir realmente con el formato *MP3*. Los dispositivos *hardware* disponibles, tan solo reproducían *MP3*, pues era el formato más extendido.

Inicialmente ninguna compañía de *hardware* dio soporte al por entonces nuevo *Ogg Vorbis*, salvo *TheKompany*. *TheKompany* fabrica, además de un gran número de *hardware* y *software*, una serie de computadoras de bolsillo, que usan sistemas basados en Linux. Estas computadoras son los Zaurus.

El resto de reproductores *hardware* no contemplaron dar soporte a *Ogg* debido al diseño inicial de *Ogg Vorbis*. Este diseño se hizo pensando en un repertorio de instrucciones de coma flotante, cosa de la que carecen la mayor parte de los reproductores. Los fabricantes no quisieron tener que reconvertir todo el algoritmo de cifrado y descifrado a un repertorio sin coma flotante.

Viendo esto, los desarrolladores de *Ogg Vorbis* sacaron Tremor, una versión del reproductor diseñado para un repertorio de instrucciones que no posea coma flotante, permitiendo a los fabricantes de reproductores que usen *Ogg*. Además de eso, ofrece ingenieros gratuitamente para ayudar a la integración del sistema. De momento, ya tienen un acuerdo con Neuros para fabricar unidades con soporte *Ogg*. El *firmware* está terminado, aunque aún no ha salido ninguna unidad que soporte *Ogg*.

Frontier Labs quiere añadir soporte *Ogg* a su “*NEX II*”, y la gente de *Xiph* (los de *Ogg Vorbis*) está estudiando si la máquina en cuestión es suficientemente potente para poder soportar *Ogg*. De serlo, tendrá soporte de *Ogg Vorbis* asegurado. *Aerodrome software* ha desarrollado un reproductor, el *AeroPlayer*, que reproduce *Ogg Vorbis* para *Palm*.

2.3. Formato VQF

Todos conocemos cómo el *MP3* (*MPEG LAYER III*) ha revolucionado el mundo de la música, con su ratio de compresión de 1:12 y poca pérdida de fidelidad al hacerlo. Es debido a ese éxito que empresas conocidas están sacando al mercado nuevos formatos de compresión de audio.

VQF es un formato nuevo de compresión de sonido creado por los laboratorios de la Empresa Japonesa *NTT* (*Nippon Telephone & Telegraph*) y distribuido por Yamaha, que recibe el nombre de *TwinVQ*, y el *software* de compresión y descompresión existente se llama *SoundVQ*, que es de Yamaha.

VQF (*Transform-domain Weighted Interleave Vector Quantization* por sus siglas en inglés) es un nuevo formato de compresión de audio que tiene similares características que un *MP3*, pero con una mejor compresión y calidad de sonido.

Los archivos *VQF* tienen una compresión de 1/20 con una calidad cercana al *CD*, es decir que son entre 30-35% mas pequeños que un archivo *MP3*, o sea que lo que antes era un *WAV* de 50 *MB* hoy lo tenemos en un *VQF* de 2,5 *MB*. Por ejemplo: El archivo *WAV* de una canción de 4 minutos ocupa aproximadamente 40*MB*, al convertir ese archivo a formato *MP3* ocupa 3.33 *MB*, mientras que al convertirlo a formato *VQF* ocupa solamente 2.33 *MB*, con una calidad cercana a la del *WAV*.

Este nivel de compresión no afecta de ningún modo la calidad del sonido, inclusive la calidad del sonido de este formato es mucho mejor que el de *MP3*, por ejemplo: un archivo *VQF* a 80 kbps es tan bueno como un *MP3* a 128 kbps, y un *VQF* a 96 kbps tiene casi la misma calidad que un *MP3* a 256kbps a 1/4 de su tamaño.

Parte de lo que acabamos de mencionar es pura estadística y pasaremos a analizar estos resultados en un capítulo posterior, aunque hay que mencionar que un punto en contra de este formato es la aparente lentitud al comprimir los archivos.

2.3.1. Interfase del reproductor de Yamaha

La tecnología original, llamada *TwinVQ* ha sido desarrollada por *NTT* de Japón. Aquí presentamos una de sus implementaciones, debida a *Yamaha Corporation*, que provee el *software* necesario para generar y reproducir este tipo de archivos.

Lo mínimo para disfrutar de un archivo con formato *VQF* es contar con un reproductor o *player*. Pero lo ideal es contar también con un *encoder*, es decir, el *software* que nos permitirá generar nuestros propios registros a partir de archivos de sonido *WAV* o *aiff*. Debe aclararse que para convertir una pista de *CD* a estos formatos se requiere un *ripper*, que no es más que un programa para transferir los datos del *CD* a la computadora.

Con respecto del encoder de *VQF* es recomendable utilizar el de Yamaha, el *YamahaSoundVQ2.54* del cual se pueden encontrar ya varias versiones Beta de la versión 2.56. Estos *encoders* son gratuitos y realmente funcionan adecuadamente.

2.3.2. Funciones y ventajas del *VQF*

Este nuevo formato tiene casi las mismas funciones y posibilidades que el *MP3*. Como principal ventaja sobre el *MP3* se encuentra su poder de compresión. Las principales funciones de *VQF* son:

- 1.- Su formato la calidad de sonido es cercana a la calidad de *CD* (16 Bits 44.1Khz), aunque la calidad de los *MP3*, por el momento es aparentemente mejor.
- 2.- Los archivos *VQF* se pueden distribuir sin necesidad de *software* especial en los servidores. Además, no se necesita *hardware* adicional para comprimir estos archivos, ya que para comprimir o escuchar sólo es necesario un *software* especial (como los *MP3*'s).
- 3.- Como una ventaja realmente grande con respecto a los *MP3*, es que los archivos *VQF* pueden ser escuchados y colocados en *webs* de forma muy sencilla. Es decir, se podrán crear *webs* con música en formato *VQF* de fondo, para dar vida a los *links* y botones de las *webs*, etc.
- 4.- Otra ventaja realmente grande es la capacidad de proteger este formato, de forma que no puedan ser escuchados sin autorización previa, es decir, no se podrán duplicar sin permiso.

5.- El programa reproductor de los archivos *VQF* está pensado para fusionarse perfectamente con los *browsers* navegadores de Internet, de forma que se puede escuchar y grabar los *VQF* mientras están llegando.

2.3.3. ¿*VQF* o *MP3*?

Al igual que con el formato *Ogg Vorbis*, posiblemente este sea un tema de debate de moda en los foros relacionados con temas de sonido en los últimos meses. Ambos sistemas tienen sus ventajas y sus inconvenientes.

El formato *MP3* ofrece menor calidad por *bit*, pero aún con todo, sus resultados globales son excelentes. El formato *VQF*, por su parte, presenta un rendimiento más óptimo, pero es muchísimo más lento a la hora de comprimir. A efectos prácticos y teniendo en cuenta que el tiempo de proceso va a ser cada vez un problema menos acusado, parece más razonable decantarse por el formato *VQF*.

En cuanto a calidad apreciada, no existe realmente mucha diferencia si no se presta excesiva atención, como se pudo observar en el capítulo 1 en el que hablamos de las características del sonido digital. Aunque el formato *MP3* presenta un pequeño problema con el estéreo que el *VQF* no padece. Suele apoyarse en la idea de que el canal derecho y el izquierdo están relacionados y, por tanto, contienen información redundante. En muchas ocasiones esto no sucede y el resultado es que cualquiera que tenga un amplificador *surround* observará unos desagradables ruidos metálicos en el canal central. Esto, con el *VQF* no ocurre.

Sin embargo, a pesar de las diferencias técnicas no podemos olvidar la política a la hora de pronosticar una posible elección. Y es que el formato *MP3* es un estándar ISO y eso pesa mucho, mientras que las compañías creadoras del *VQF* apenas quieren informar sobre su sistema, con la intención de explotarlo en exclusiva.

3. CASO DE APLICACIÓN DE LOS FORMATOS DE SONIDO DIGITAL

Ya que conocemos más acerca de los formatos de sonido digital, podemos proceder a realizar una comparación entre cada uno de ellos en un caso real, es decir, que se procede a realizar pruebas de compresión para cada uno de los formatos en estudio.

Para realizar dichas pruebas se utilizó un *software* (programa) que no es muy comercializado ni conocido, *CDEX*. Se utilizó la versión 1.51 XP que es exclusivamente para el sistema operativo *Windows XP* y también la versión 1.4 para una prueba en *Windows 98*.

A pesar de no ser muy conocido, nos proporciona todas las herramientas necesarias para hacer nuestro estudio, ya que esta herramienta nos permite comprimir o *ripear* pistas de audio a cualquiera de los tres formatos que tenemos en estudio, además de otros tantos formatos de sonido.

Todas las tablas que se muestran en este y el siguiente capítulo, presentan datos tomados de pruebas que se realizaron personalmente para el presente estudio.

3.1 Selección del medio de extracción para la compresión y análisis

Primero debemos realizar la selección del medio que se utilizará para la extracción y compresión del archivo de sonido. Para esto se realizaron unas pruebas desde distintos medios y se realizó el análisis y selección del más conveniente.

Se empezó con la extracción de una pista de audio desde *CD* utilizando el *CD-ROM* a un formato intermedio (*WAV*) antes de la compresión al formato final. Para esta prueba y las demás se utilizaron tres pistas de música con distintos tiempos de duración cada una. Estas se identificarán a lo largo de este y el otro capítulo simplemente como pista 1, pista 2 y pista 3, respectivamente. Los datos generales de cada una se muestran en la tabla siguiente:

Tabla I. Datos generales de las pistas de audio a utilizar

Pistas de audio a utilizar en las pruebas de compresión de los distintos formatos			
Archivo original	Duración MM:SS	Tamaño archivo MB	Tamaño KBytes
Pista 1	04:44	47.92	49,073
Pista 2	05:30	55.66	56,997
Pista 3	02:51	28.82	29,515

Como se observa en la tabla son tres pistas con diferentes tamaños, tanto en duración como en tamaño de archivo. Entonces ahora procedemos a mostrar el tiempo de extracción de las pistas desde el *CD-ROM* utilizando el *software* que mencionamos anteriormente.

De aquí en adelante, para cada una de las pruebas en las que se tomaron tiempos de compresión, se realizó la toma de 6 tiempos para obtener un dato más exacto en cuanto al tiempo de compresión. Cada uno de los tiempos que se tomó en cada una de las pruebas se identifica como T1, T2, T3, T4, T5 y T6, respectivamente, y fueron tomados en segundos. Con estos tiempos se procedió a calcular una columna con el tiempo promedio de los tiempos tomados; esta columna es la que se utiliza en los análisis posteriores.

Tabla II. Tiempos de extracción a WAV utilizando CD-ROM

Tiempos de extracción de las pistas de audio desde CD a formato WAV							
Archivo	T1 (Seg.)	T2 (Seg.)	T3 (Seg.)	T4 (Seg.)	T5 (Seg.)	T6 (Seg.)	Promedio segundos
Pista 1	18	17	18	18	17	18	17.67
Pista 2	16	16	16	16	16	15	15.83
Pista 3	7	8	7	8	8	7	7.50

En la tabla anterior mostramos los tiempos utilizados en extraer la pista de audio desde el *CD-ROM* a formato *WAV*. El tiempo esta representado en segundos.

La Tabla III nos muestra los tiempos de extracción de la pista desde el *CD* a formato *WAV*, pero esta vez utilizando un *DVD-ROM*.

Tabla III. Tiempos de extracción a WAV desde DVD-ROM

Tiempos de extracción de las pistas de audio desde CD a formato WAV							
Archivo	T1 (Seg.)	T2 (Seg.)	T3 (Seg.)	T4 (Seg.)	T5 (Seg.)	T6 (Seg.)	Promedio segundos
Pista 1	55	52	51	53	52	51	52.33
Pista 2	57	56	57	57	57	56	56.67
Pista 3	27	26	26	26	27	27	26.50

Como se puede observar existe una diferencia marcada en los tiempos, ya que estos son tres veces mayor que el de *CD-ROM*. Esto es debido a que un *DVD-ROM* no lee a la misma velocidad que un *CD-ROM*, por lo que entonces podemos comprobar que un lector de *DVD* es más lento que un *CD-ROM* en cuanto a lectura de *CD*'s se refiere.

En la Tabla IV (página siguiente) se muestra los tiempos de compresión de un archivo *WAV* tomado desde el disco duro a formato *MP3*.

Si comparamos estos tiempos con los de la Tabla V que son datos para la compresión, pero utilizando el *CD-ROM*, nos damos cuenta de que no varían mucho. Donde se puede distinguir una diferencia es solamente en la pista 1, ya que desde el *CD-ROM* la compresión tarda 2 segundos más que tomando el archivo *WAV* desde el disco duro. Esto debido a que al momento de empezar la compresión el *CD-ROM* esta inactivo y el tiempo de reacción a la petición de comprimir el archivo varía por el rango de 1 a 2 segundos, que es el tiempo que al parecer le toma a éste en reaccionar y realizar el movimiento del lente lector a la posición deseada.

Si se observa en las pistas 2 y 3 el tiempo de compresión es básicamente el mismo, ya que estas pistas siempre se comprimen después de comprimir la pista 1. Para este entonces el *CD-ROM* ya no tiene que despertar de una inactividad, como en el inicio de la compresión de la pista 1.

Tabla IV. Tiempos de compresión a MP3 desde un archivo WAV en disco duro

Características: MPEG 1.0 Layer 3, 128Kbit, 44100 Hz, Joint Stereo								
Archivo WAV	Tamaño KBytes	T1 (Seg.)	T2 (Seg.)	T3 (Seg.)	T4 (Seg.)	T5 (Seg.)	T6 (Seg.)	Promedio segundos
Pista 1	4,444	32	31	32	32	31	32	31.67
Pista 2	5,160	36	36	37	37	36	36	36.33
Pista 3	2,674	19	19	20	19	19	20	19.33

Otro factor que se debe tomar en cuenta son las características de la computadora que utilizaremos para las pruebas, ya que dependiendo de la velocidad del procesador, de la memoria, del sistema operativo, entre otros, así van a variar los tiempos de extracción y compresión.

Por ejemplo, en la tabla siguiente se observan datos tomados utilizando una computadora con características menores a la utilizada en el resto de las pruebas. Para realizar todas las pruebas que se presentan en este capítulo (excepto los datos de la Tabla V) se utilizó una computadora con las siguientes características:

- Procesador: *AMD Athlon XP 2.8 Ghz.*
- Memoria: *256 RAM DDR.*
- Sistema operativo: *Windows XP.*
- Disco duro con 512 de cache.

Tabla V. Tiempos de extracción de pista de audio origen a WAV

Procesador Duron 950 Mhz, 160 RAM, CD-ROM 52X, Windows 98			
Archivo original	Extrayendo (MM:SS)	Normalizando (Seg.)	Total (MM:SS)
Pista 1	02:12	7	02:19
Pista 2	02:27	2	02:29
Pista 3	01:31	2	01.33

Como se puede ver, si comparamos los tiempos de la Tabla II con los de la Tabla V hay también una gran diferencia en el tiempo que se ha tomado en extraer la pista de audio a formato *WAV*. Las características de la computadora utilizada para obtener los datos de la tabla anterior son las siguientes:

- Procesador: *AMD Duron 950 Mhz.*
- Memoria: *160 RAM.*
- Sistema operativo: *Windows 98.*

Una vez presentados los datos que se deben tomar en cuenta, se ha optado por seleccionar como medio de extracción y compresión el *CD-ROM*, ya que si se toma un archivo *WAV* en el disco duro, no se estará tomando en cuenta el tiempo de extracción, sino simplemente el de compresión. Aunque como vimos en la prueba que se hizo con los archivos tomados del disco duro, el tiempo de extracción que le toma al *CD-ROM* es relativamente nada o poco distinguible.

Ya que se ha seleccionado cómo se realizarán las pruebas de compresión para cada formato, se pasa a realizar las pruebas de compresión para cada uno de ellos.

3.2 Compresión a formato *MP3*

Una vez que se ha comparado los medios para la extracción de las pistas de audio procedemos a empezar las pruebas con los formatos de sonido en estudio. El primero en orden es el formato *MP3*, por ser el formato más conocido y usado, nos sirve de referencia para los puntos de comparación.

Para realizar un mejor análisis y discusión de resultados se ha decidido que se realizarán pruebas con seis distintas calidades de archivos *MP3*: 32Kbit, 80Kbit, 96Kbit, 128Kbit, 224Kbit y 320Kbit. Cada una de estas presenta distintos tiempos de compresión y de tamaño de archivo resultante, así como también distinta calidad de sonido.

Tabla VI. Datos de compresión a formato *MP3* con calidad 32Kbit

Características: <i>MPEG 1.0 Layer 3, 32Kbit, 44100 Hz, Joint Stereo</i>								
Archivo origen	Tamaño archivo KB	T1 (Seg.)	T2 (Seg.)	T3 (Seg.)	T4 (Seg.)	T5 (Seg.)	T6 (Seg.)	Promedio segundos
Pista 1	1,109	35	35	33	33	33	33	33.67
Pista 2	1,288	36	37	37	36	37	36	36.50
Pista 3	667	20	19	20	19	19	20	19.50

Los datos que se observan en la Tabla VI son el archivo origen o la pista origen, el tamaño del archivo resultante de la compresión en *Kilobytes* ($1MB = 1,024$ KB), y las columnas con los tiempos que tomó la extracción y compresión del archivo desde el *CD-ROM*. Como se mencionó antes fueron seis tiempos los que se tomaron; la última columna nos muestra un promedio de los seis tiempos tomados. El tiempo promedio es el que se utilizará para análisis posteriores.

La Tabla VI muestra los datos para la extracción y compresión a formato *MP3* con la menor calidad permitida por este formato, que es 32Kbit. La calidad de 32Kbit en un archivo *MP3* es difícil de apreciar, ya que prácticamente o solamente se encuentran archivos de este formato con esta calidad en casos de prueba, como es nuestro caso, debido a la poca o casi nula calidad de sonido respecto del archivo original.

Las tablas VII y VIII (siguiente página) muestran tiempos de compresión de un *MP3* pero con una calidad de 80Kbit y 96Kbit. Estas son calidades que era común encontrar en estos archivos hace un tiempo, por las tarjetas de sonido que se encontraban en las computadoras de las personas que comprimían archivos para tenerlos en su computadora, y por el tamaño de los discos duros de hace unos años, los cuales eran de menor tamaño que los que se encuentran hoy. Ahora ya no se comprimen *MP3* a esta calidad, pero no es difícil encontrar alguno con esta calidad. Se tomaron los datos a estas calidades para poder tener información para la comparación con el formato *VQF*.

Tabla VII. Datos de compresión a formato *MP3* con calidad 80Kbit

Características: <i>MPEG 1.0 Layer 3, 80Kbit, 44100 Hz, Joint Stereo</i>								
Archivo origen	Tamaño archivo KB	T1 (Seg.)	T2 (Seg.)	T3 (Seg.)	T4 (Seg.)	T5 (Seg.)	T6 (Seg.)	Promedio segundos
Pista 1	2,781	33	33	32	32	33	32	32.50
Pista 2	3,230	38	37	37	37	36	36	36.83
Pista 3	1,673	19	19	19	19	20	19	19.17

Tabla VIII. Datos de compresión a formato MP3 con calidad 96Kbit

Características: MPEG 1.0 Layer 3, 96Kbit, 44100 Hz, Joint Stereo								
Archivo origen	Tamaño archivo KB	T1 (Seg.)	T2 (Seg.)	T3 (Seg.)	T4 (Seg.)	T5 (Seg.)	T6 (Seg.)	Promedio segundos
Pista 1	3,335	36	34	32	31	31	34	33.00
Pista 2	3,873	38	36	36	37	38	39	37.33
Pista 3	2,006	20	20	20	19	20	20	19.83

La Tabla IX muestra los datos para la calidad que, desde mi punto de vista, era hasta hace unos meses la más utilizada para comprimir *MP3*, que es 128Kbit. Ahora, con los tamaños de discos duros que se encuentran en el mercado, cada vez más y más personas comprimen sus *MP3* ya no a 128Kbit sino a una calidad mayor, o bien a 128Kbit pero con calidad variable.

Tabla IX. Datos de compresión a formato MP3 con calidad 128Kbit

Características: MPEG 1.0 Layer 3, 128Kbit, 44100 Hz, Joint Stereo								
Archivo origen	Tamaño archivo KB	T1 (Seg.)	T2 (Seg.)	T3 (Seg.)	T4 (Seg.)	T5 (Seg.)	T6 (Seg.)	Promedio segundos
Pista 1	4,442	34	34	34	35	34	35	34.33
Pista 2	5,159	38	37	37	37	37	37	37.17
Pista 3	2,673	19	20	20	20	19	20	19.67

Las tablas X y XI (página siguiente) muestran los datos para unas calidades que no es común utilizarlas por el tamaño del archivo resultante. Además, para el oído humano, un archivo con calidad 224Kbit o 320Kbit, comparado con uno de una calidad menor como de 128Kbit o 160Kbit, no es posible distinguir mayor diferencia, como se explicó al inicio en el capítulo 1.

Hasta el momento, la calidad máxima permitida para un *MP3* por los programas de compresión es de 320Kbit. No se encontró ningún programa que permita una calidad mayor, como con el formato *Ogg*.

Tabla X. Datos de compresión a formato *MP3* con calidad 224Kbit

Características: <i>MPEG 1.0 Layer 3, 224Kbit, 44100 Hz, Joint Stereo</i>								
Archivo origen	Tamaño archivo KB	T1 (Seg.)	T2 (Seg.)	T3 (Seg.)	T4 (Seg.)	T5 (Seg.)	T6 (Seg.)	Promedio segundos
Pista 1	7,787	35	36	34	33	33	35	34.33
Pista 2	9,044	40	38	38	38	38	38	38.33
Pista 3	4,684	21	20	20	20	20	21	20.33

Tabla XI. Datos de compresión a formato *MP3* con calidad 320Kbit

Características: <i>MPEG 1.0 Layer 3, 320Kbit, 44100 Hz, Joint Stereo</i>								
Archivo origen	Tamaño archivo KB	T1 (Seg.)	T2 (Seg.)	T3 (Seg.)	T4 (Seg.)	T5 (Seg.)	T6 (Seg.)	Promedio segundos
Pista 1	11,120	36	37	37	33	33	35	35.17
Pista 2	12,916	39	39	38	39	39	38	38.67
Pista 3	6,689	21	20	21	21	20	21	20.67

Como se puede observar, la calidad del archivo es directamente proporcional al tamaño del mismo; es decir, a menor calidad, menor tamaño del archivo y a mayor calidad, mayor tamaño del archivo.

Terminamos los resultados para formato *MP3*, indicando el *Encoder* que utiliza el programa para la compresión a este formato: *LAME MP3 Encoder* (versión 1.30, motor 3.92 *MMX*).

3.3 Compresión a formato *Ogg Vorbis*

En este apartado procedemos a mostrar las tablas con los resultados obtenidos de la compresión de las pistas de audio origen al formato *Ogg Vorbis*. Al igual que con el formato *MP3*, se procedió a comprimir las pistas origen a diferentes calidades que son: 45Kbit, 80Kbit, 96Kbit, 128Kbit, 224Kbit y 500Kbit.

En los encabezados de las tablas de los tiempos tomados de *Ogg Vorbis* se muestra la calidad del archivo pero con una característica que dice (*VBR*); esto quiere decir que la calidad del archivo varía y no se mantiene a lo largo de éste con la calidad que se comprime. Esto se debe a que este formato de sonido, en la mayoría de programas de compresión que hay, ya tiene definida esta característica para comprimir y no se puede inhabilitar. Mientras, con el formato *MP3* esta característica tiene que ser habilitada o definida por el usuario a la hora de comprimir.

En la actualidad, la mayoría de programas utilizados para la compresión de archivos de audio o sonido muestran una característica que es la *VBR*. Esta significa que, a la hora de comprimir el archivo a un formato de sonido cualquiera, se establece una calidad nominal que el usuario selecciona y puede indicar cuál es la calidad mínima y máxima que puede alcanzar un archivo a la hora de comprimir. Esto se hace con la intención de que el archivo mantenga una calidad de sonido idéntica a lo largo de la duración del mismo, ya que en algunas ocasiones los archivos tienen segmentos o partes en las que su sonido disminuye. En estos casos, la calidad del archivo puede subir para mantener un estándar de sonido en toda la pista.

A la hora de realizar las pruebas se definió como calidad nominal la presentada en la tabla, y se definió como calidad mínima y máxima la misma. Esto quiere decir que es solamente en segmentos realmente pequeños de la misma en los cuales la calidad oscila en un rango de ± 3 Kbit. Lo anterior significa que para la calidad de 96Kbit, los valores mínimos y máximos que puede alcanzar en cuanto a calidad el archivo comprimido, son 93Kbit y 99Kbit, respectivamente. Esta diferencia no es significativa a la hora de realizar el análisis en cuanto a tamaño resultante del archivo, aunque sí le da un poco de ventaja a *Ogg* en cuanto a calidad de sonido del archivo resultante.

La Tabla XII muestra los datos para un archivo comprimido a *Ogg Vorbis* con la calidad más pequeña permitida por éste (45Kbit). Algunos programas no permiten esta calidad al comprimir y la más baja que tienen es 65Kbit. No se encontró ningún programa que permitiera comprimir a una calidad de 32Kbit un *Ogg* como con *MP3*, lo cual no quiere decir que no se pueda comprimir a esta calidad, pero se presentan los datos con la calidad más baja permitida por el *software* utilizado.

Tabla XII. Datos de compresión a formato *Ogg* con calidad 45Kbit \pm 3Kbit

Características: <i>Vorbis</i> calidad -1.0, 45Kbit (VBR), 44100 Hz, 2 canales, stereo								
Archivo origen	Tamaño archivo KB	T1 (Seg.)	T2 (Seg.)	T3 (Seg.)	T4 (Seg.)	T5 (Seg.)	T6 (Seg.)	Promedio segundos
Pista 1	1,726	24	26	24	25	24	24	24.50
Pista 2	1,925	29	29	28	28	28	30	28.67
Pista 3	1,009	14	14	15	15	15	14	14.50

Las tablas XIII y XIV muestran datos para una compresión de calidad de 80Kbit y 96Kbit, respectivamente, las cuales fueron tomadas también para la compresión a *MP3*. Se puede observar que el tiempo de compresión a *Ogg* en estas calidades es menor que la de *MP3*. Observemos los tiempos de las demás pruebas para el análisis comparativo y la discusión de resultados, que se hará detenidamente en el siguiente capítulo. Mientras, solamente presentaremos los resultados de las pruebas que se realizaron.

Tabla XIII. Datos de compresión a formato *Ogg* con calidad 80Kbit \pm 3Kbit

Características: <i>Vorbis</i> calidad 1.0, 80Kbit (VBR), 44100 Hz, 2 canales, stereo								
Archivo origen	Tamaño archivo KB	T1 (Seg.)	T2 (Seg.)	T3 (Seg.)	T4 (Seg.)	T5 (Seg.)	T6 (Seg.)	Promedio segundos
Pista 1	2,721	25	27	25	25	27	25	25.67
Pista 2	3,060	28	28	29	28	29	28	28.33
Pista 3	1,624	15	14	16	15	14	14	14.67

Tabla XIV. Datos de compresión a formato *Ogg* con calidad 96Kbit \pm 3Kbit

Características: <i>Vorbis</i> calidad 2.0, 96Kbit (VBR), 44100 Hz, 2 canales, stereo								
Archivo origen	Tamaño archivo KB	T1 (Seg.)	T2 (Seg.)	T3 (Seg.)	T4 (Seg.)	T5 (Seg.)	T6 (Seg.)	Promedio segundos
Pista 1	3,128	25	27	28	26	24	25	25.83
Pista 2	3,519	28	29	28	28	29	30	28.67
Pista 3	1,868	15	14	14	15	15	15	14.67

Las tablas XV y XVI muestran los resultados obtenidos de la prueba de compresión al formato *Ogg* con una calidad de 128Kbit y 224Kbit, respectivamente. Ambas pruebas de compresión a esta calidad también fueron realizadas con el formato *MP3* para poder realizar el análisis comparativo más adelante. Solamente faltarían los datos de la compresión a la calidad más alta para el formato *Ogg*.

Tabla XV. Datos de compresión a formato *Ogg* con calidad 128Kbit \pm 3Kbit

Características: <i>Vorbis</i> calidad 4.0, 128Kbit (VBR), 44100 Hz, 2 canales, stereo								
Archivo origen	Tamaño archivo KB	T1 (Seg.)	T2 (Seg.)	T3 (Seg.)	T4 (Seg.)	T5 (Seg.)	T6 (Seg.)	Promedio segundos
Pista 1	4,411	24	28	24	25	25	25	25.17
Pista 2	5,034	29	28	30	31	28	28	29.00
Pista 3	2,533	15	14	14	15	15	14	14.50

Como se mencionó anteriormente con la prueba de 128Kbit para *MP3*, esta es la calidad que más común de encontrar en un archivo comprimido de sonido, por la buena calidad que tiene y el tamaño aceptable del archivo resultante.

Tabla XVI. Datos de compresión a formato *Ogg* con calidad 224Kbit \pm 3Kbit

Características: <i>Vorbis</i> Calidad 7.0, 224Kbit (VBR), 44100 Hz, 2 canales, stereo								
Archivo origen	Tamaño archivo KB	T1 (Seg.)	T2 (Seg.)	T3 (Seg.)	T4 (Seg.)	T5 (Seg.)	T6 (Seg.)	Promedio segundos
Pista 1	7,454	26	24	24	24	24	25	24.50
Pista 2	8,409	28	29	28	28	28	28	28.17
Pista 3	4,280	15	14	15	14	14	14	14.33

Las tablas anteriores muestran datos con calidades iguales a las de *MP3* para poder realizar una comparación. Tanto la Tabla XII como la Tabla XVII muestran datos con las calidades máxima y mínima permitida por *Ogg*, con la intención de comparar las calidades de compresión más pequeñas y grandes en cada formato en estudio.

Como se pudo observar en la Tabla XII, la calidad más pequeña permitida por el formato *Ogg* es 45Kbit (con el *software* que se utilizó para las pruebas), ligeramente mayor que la más pequeña permitida para un *MP3*. Pero en contraparte, la calidad más grande permitida para un *Ogg* es mucho mayor que la de un *MP3*. *Ogg* nos permite hasta 500Kbit de calidad máxima en la compresión, aunque de la misma manera que con la calidad más pequeña, hay programas que no permiten comprimir a la calidad que se presenta en la siguiente tabla. Hay algunos programas que la calidad más alta que permiten para un archivo con formato *Ogg* es 256Kbit y otros, al igual que con *MP3*, permiten hasta 320Kbit.

Tabla XVII. Datos de compresión a formato *Ogg* con calidad 500Kbit \pm 3Kbit

Características: <i>Vorbis</i> Calidad 10.0, 500Kbit (VBR), 44100 Hz, 2 canales, stereo								
Archivo origen	Tamaño archivo KB	T1 (Seg.)	T2 (Seg.)	T3 (Seg.)	T4 (Seg.)	T5 (Seg.)	T6 (Seg.)	Promedio segundos
Pista 1	16,278	28	26	27	27	27	27	27.00
Pista 2	17,960	28	29	29	30	31	31	29.67
Pista 3	9,777	15	15	16	16	15	15	15.33

Como se puede ver en la Tabla XVII, el tamaño de un archivo con esta calidad es también bastante grande. Archivos con este tamaño y calidad realmente no es común encontrar, ya que como se mencionó con los *MP3*, el oído humano no reconoce diferencias si lo comparamos con uno de calidad de 128Kbit. Lo único que representan estos archivos es más tamaño y espacio en el disco duro.

El *encoder* que utiliza el programa de compresión utilizado es el *Ogg Vorbis DLL Encoder (Xiph. Org libVorbis)*, el cual fue creado el 03 de Agosto de 2003. Parece un poco desactualizado pero es de los mejores codificadores que hay en la actualidad para este tipo de formato y no existe gran diferencia en las características de compresión con otros que se pueden encontrar.

3.4 Compresión a formato *Yamaha VQF*

Ya se mostraron los resultados obtenidos en la pruebas con los formatos *MP3* y *Ogg Vorbis*, por lo que ahora es el turno para el tercer formato de sonido en estudio, el *Yamaha VQF*. En el capítulo 2 se mencionó entre sus características que el radio de compresión en comparación con el *MP3* es mayor (es decir, que los archivos de este formato son más pequeños), sin que eso represente pérdida de calidad de sonido en el archivo resultante.

A diferencia de los otros dos formatos, éste no cuenta con un gran reconocimiento. Es por eso que los programas que *ripped* *CD's* de audio a archivos comprimidos de sonido (*MP3*, *Ogg*, *VQF*, *WMA*, etc.) no traen todas las herramientas necesarias para comprimir un archivo a este formato.

El programa que se utilizó para realizar las pruebas (*CDEX*) cuenta con las herramientas necesarias pero solamente permite comprimir archivos *VQF* a dos calidades (80Kbit y 96Kbit), aunque se tuvo que buscar un archivo para realizar estas compresiones, el cual es un *dll* (librería) que requiere el programa. Existen otros programas que comprimen a *VQF* pero solamente permitían comprimir a estas dos calidades, ya que el *decoder* que utilizan aún no permite comprimir a calidades mayores.

Esto podría significar una desventaja de este formato en comparación con los otros dos, pero como se hizo ver entre las características de este formato, la calidad de 96Kbit es comparable con la calidad de 128Kbit de *MP3*, por lo que no habría que comprimir los archivos *VQF* a una calidad mayor.

Los resultados obtenidos de la compresión a este formato se presentan a continuación en las tablas XVIII y XIX, los cuales son para una calidad de 80Kbit y 96Kbit, respectivamente.

Tabla XVIII. Datos de compresión a formato *VQF* con calidad 80Kbit

Características: Yamaha <i>VQF</i> , 80Kbit, 44100 Hz, 2 canales, stereo								
Archivo origen	Tamaño archivo KB	T1 (Seg.)	T2 (Seg.)	T3 (Seg.)	T4 (Seg.)	T5 (Seg.)	T6 (Seg.)	Promedio segundos
Pista 1	2,780	29	30	31	29	30	29	29.67
Pista 2	3,229	34	34	35	35	34	35	34.50
Pista 3	1,670	18	17	18	18	17	18	17.67

La Tabla XVIII muestra los datos para la compresión a formato *VQF* con la calidad de 80Kbit. Esta es la menor calidad que permite el programa que se utilizó para la compresión.

A continuación se presentan los datos de la compresión para la calidad de 96Kbit del formato *VQF* en la Tabla XIX.

Tabla XIX. Datos de compresión a formato VQF con calidad 96Kbit

Características: Yamaha VQF, 96Kbit, 44100 Hz, 2 canales, stereo								
Archivo origen	Tamaño archivo KB	T1 (Seg.)	T2 (Seg.)	T3 (Seg.)	T4 (Seg.)	T5 (Seg.)	T6 (Seg.)	Promedio segundos
Pista 1	3,340	34	33	34	35	33	33	33.67
Pista 2	3,879	39	39	38	38	38	38	38.33
Pista 3	2,010	19	21	20	20	20	20	20.00

Si se observan los datos de las tablas XVIII y XIX y se comparan con las tablas VII, VIII, XIII y XIV (datos de compresión a estas calidades para *MP3* y *Ogg*), no existe gran diferencia en el tamaño del archivo resultante, pero sí podemos observar diferencia en los tiempos para la compresión. Se analizarán estos resultados en el próximo capítulo de una forma más detallada.

El *encoder* utilizado para la compresión de archivos a formato *VQF* es el *NTT VQF Encoder TWIN97012000*, el cual está contenido en el archivo “*tvqenc.dll*”.

Este archivo (*tvqenc.dll*) se puede encontrar en el sitio de Internet de Yamaha <http://www.yamaha-xg.com/english/xg> o en <http://www.VQF.com>. Trabaja de una manera simple, ya que basta con conseguir este archivo e instalarlo entre los *dll's* del *software* utilizado para la compresión. Hay programas que se utilizan para *ripear CD's* de audio que ya lo traen incluido entre sus archivos, mientras que otros no lo traen incluido, por lo que es necesario buscarlo y agregarlo al programa.

Como se indicó en el apartado 2.3.1 del capítulo 2, otra opción es utilizar el *encoder YamahaSoundVQ2.54* o bien el *YamahaSoundVQ2.54B6*, que también se encuentra en el sitio de Yamaha o en el sitio oficial de *VQF*, el cual es el recomendado para la compresión a este formato de sonido.

4. ANÁLISIS COMPARATIVO Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS DEL CASO DE APLICACIÓN

Una vez concluidas todas las pruebas del caso de aplicación presentado en el capítulo anterior, se procede al análisis comparativo y a la discusión de los resultados obtenidos.

El análisis que a continuación se presenta tiene como finalidad orientar al lector en la selección adecuada de un formato de sonido según las características y necesidades que se deseen.

4.1. Análisis comparativo de los formatos de sonido digital

Para realizar el análisis comparativo se ha elaborado una serie de tablas y gráficos de rendimiento que nos ayudarán a presentar de una mejor manera el análisis que se desea. Este análisis se hará con base en tres características importantes y que se deben tomar en cuenta para la elección del mejor formato de sonido. Estas características son:

- a) El radio de compresión.
- b) El tiempo de compresión.
- c) La calidad de sonido del archivo resultante.

4.1.1. Análisis comparativo con base en el radio de compresión

La Tabla XX muestra el porcentaje del radio de compresión que proporciona cada formato (*MP3*, *Ogg Vorbis* y *Yamaha VQF*) para la calidad de 80Kbit. Este porcentaje es tomado con base en el tamaño del archivo original, el cual se muestra en la segunda columna. Como se puede observar, el porcentaje del radio de compresión entre los formatos *MP3* y *Ogg* es prácticamente el mismo y no existe una diferencia marcada. Así mismo, el radio de compresión del formato *VQF* es similar, por lo que no encontramos ninguna diferencia en el porcentaje de compresión de cada formato.

Tabla XX. Radio de compresión de los formatos de sonido. Calidad 80Kbit

Radio de compresión de los formatos de sonido. Calidad 80Kbit.							
Archivo origen	Tamaño (KB.)	Tamaño <i>MP3</i> (KB.)	% Compresión <i>MP3</i>	Tamaño <i>Ogg</i> (KB.)	% Compresión <i>Ogg</i>	Tamaño <i>VQF</i> (KB.)	% Compresión <i>VQF</i>
Pista 1	49,073	2,781	94.33%	2,721	94.46%	2,780	94.33%
Pista 2	56,997	3,230	94.33%	3,060	94.63%	3,229	94.33%
Pista 3	29,515	1,673	94.33%	1,624	94.50%	1,670	94.34%

La Tabla XXI muestra los resultados obtenidos para la calidad de 96Kbit con cada uno de los formatos de sonido. De la misma manera que con la calidad de 80Kbit, no se observa una diferencia que sea considerable en el radio de compresión.

Tabla XXI. Radio de compresión de los formatos de sonido. Calidad 96Kbit

Radio de compresión de los formatos de sonido. Calidad 96Kbit.							
Archivo origen	Tamaño (KB.)	Tamaño <i>MP3</i> (KB.)	% Compresión <i>MP3</i>	Tamaño <i>Ogg</i> (KB.)	% Compresión <i>Ogg</i>	Tamaño <i>VQF</i> (KB.)	% Compresión <i>VQF</i>
Pista 1	49,073	3,335	93.20%	3,128	93.63%	3,340	93.19%
Pista 2	56,997	3,873	93.20%	3,519	93.83%	3,879	93.19%
Pista 3	29,515	2,006	93.20%	1,868	93.67%	2,010	93.19%

En la Tabla XXII se muestran los datos respecto a los archivos con calidad de 128Kbit. De igual manera que en la tabla anterior. entre *MP3* y *Ogg* no existe una diferencia marcada, aunque el porcentaje de compresión en ambos casos disminuyó con respecto del archivo con calidad de 96Kbit. No se presentan datos para formato *VQF* ya que no se comprimió archivos con este formato a esta calidad, por las razones explicadas en el apartado 3.4 del capítulo 3.

Tabla XXII. Radio de compresión de los formatos de sonido. Calidad 128Kbit

Radio de compresión de los formatos de sonido. Calidad 128Kbit					
Archivo origen	Tamaño (KB.)	Tamaño <i>MP3</i> (KB.)	% Compresión <i>MP3</i>	Tamaño <i>Ogg</i> (KB.)	% Compresión <i>Ogg</i>
Pista 1	49,073	4,442	90.95%	4,411	91.01%
Pista 2	56,997	5,159	90.95%	5,034	91.17%
Pista 3	29,515	2,673	90.94%	2,533	91.42%

Se continúa con los datos de la compresión a 224Kbit que se presentan en la Tabla XXIII. Los porcentajes de compresión entre *MP3* y *Ogg* continúan siendo similares; además, estos mismos porcentajes han decaído con base en los porcentajes de compresión con menor calidad, debido a que a mayor calidad del archivo de sonido el porcentaje del radio de compresión disminuye.

Tabla XXIII. Radio de compresión de los formatos de sonido. Calidad 224Kbit

Radio de compresión de los formatos de sonido. Calidad 224Kbit					
Archivo origen	Tamaño (KB.)	Tamaño <i>MP3</i> (KB.)	% Compresión <i>MP3</i>	Tamaño <i>Ogg</i> (KB.)	% Compresión <i>Ogg</i>
Pista 1	49,073	7,787	84.13%	7,454	84.81%
Pista 2	56,997	9,044	84.13%	8,409	85.25%
Pista 3	29,515	4,684	84.13%	4,280	85.50%

En las tablas siguientes se muestran los datos de compresión con las calidades más pequeñas y más grandes permitidas por los formatos de sonido, la Tabla XXIV para la calidad más pequeña y la Tabla XXV para la calidad más grande. En la Tabla XXIV se vuelven a mostrar los datos de la calidad de 80Kbit para el formato *VQF*, por ser esta la calidad más pequeña que permite este formato con el programa utilizado para la compresión de los archivos.

Tabla XXIV. Radio de compresión de los formatos de sonido. Calidad más pequeña

Radio de compresión de los formatos de sonido. Calidad más pequeña.							
Archivo origen	Tamaño (KB.)	Tamaño <i>MP3</i> (KB.)	Compresión <i>MP3</i> (32Kbit)	Tamaño <i>Ogg</i> (KB.)	Compresión <i>Ogg</i> (45Kbit)	Tamaño <i>VQF</i> (KB.)	Compresión <i>VQF</i> (80Kbit)
Pista 1	49,073	1,109	97.74%	1,726	96.48%	2,780	94.33%
Pista 2	56,997	1,288	97.74%	1,925	96.62%	3,229	94.33%
Pista 3	29,515	667	97.74%	1,009	96.58%	1,670	94.34%

En la tabla anterior se observa que no hay gran diferencia en el radio de compresión entre los formatos *MP3* y *Ogg*, ya que la diferencia entre 32Kbit de *MP3* a 45Kbit de *Ogg* no es tan significativa, aunque para el formato *VQF* sí se observa una diferencia mayor, ya que la calidad de 80Kbit de este formato, comparado con las calidades de los otros dos, es considerable a la hora de la comparación.

La siguiente tabla muestra los datos para la calidad más grande permitida para cada formato. No hay datos para el formato *VQF*, por existir una gran diferencia entre la calidad máxima permitida por este formato (96Kbit) y los otros dos formatos.

Tabla XXV. Radio de compresión de los formatos de sonido. Calidad más grande

Radio de compresión de los formatos de sonido. Calidad más grande.					
Archivo origen	Tamaño (KB.)	Tamaño MP3 (KB.)	% Compresión MP3 a 320Kbit	Tamaño Ogg (KB.)	% Compresión Ogg a 500Kbit
Pista 1	49,073	11,120	77.34%	16,278	66.83%
Pista 2	56,997	12,916	77.34%	17,960	68.49%
Pista 3	29,515	6,689	77.34%	9,777	66.87%

En la Tabla XXV se puede ver que la diferencia entre los archivos de los formatos *MP3* y *Ogg*, es ya más marcada en el tamaño del archivo resultante. El radio de compresión de cada formato, 77% para *MP3* y entre 66% y 68% para *Ogg*, da una diferencia en tamaños que ronda por los 5 *Megas* con las primeras 2 pistas y 3 *Megas* en la última pista. Esto se debe a que entre 320Kbit y 500Kbit existe una diferencia notable de calidad que se refleja en el radio de compresión, ya que la diferencia en el radio de compresión entre ambos formatos es de aproximadamente el 10%.

A continuación se muestra una tabla en la que se observan los porcentajes de compresión para cada calidad de cada formato. Se recopilan solamente los datos obtenidos con la pista 1, ya que con las otras dos pistas el radio de compresión es prácticamente el mismo en cada formato.

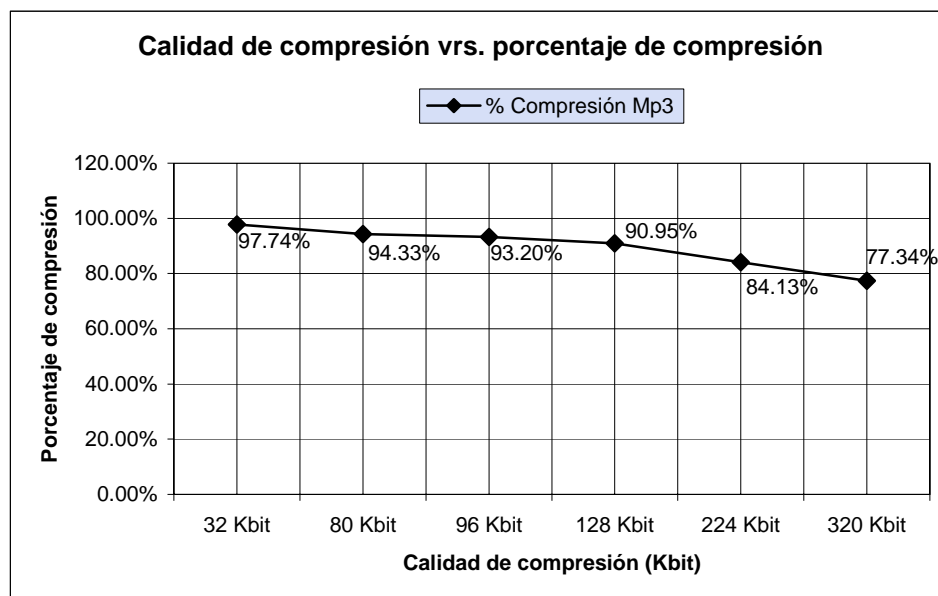
Tabla XXVI. Radio de compresión de los formatos de sonido. Resumen

Radio de compresión dependiendo la calidad del formato. Pista 1					
Calidad MP3	% Compresión MP3	Calidad Ogg	% Compresión Ogg	Calidad VQF	% Compresión VQF
32Kbit	97.74%	45Kbit	96.48%	---	---
80Kbit	94.33%	80Kbit	94.46%	80Kbit	94.33%
96Kbit	93.20%	96Kbit	93.63%	96Kbit	93.20%
128Kbit	90.95%	128Kbit	91.01%	---	---
224Kbit	84.13%	224Kbit	84.81%	---	---
320Kbit	77.34%	500Kbit	66.83%	---	---

Como podemos observar en la Tabla XXVI, los porcentajes del radio de compresión disminuyen conforme la calidad del formato crece. Mientras menor sea la calidad de compresión del archivo de sonido, mayor es el porcentaje del radio de compresión, y mientras mayor sea la calidad de compresión del archivo de sonido, menor es el porcentaje del radio de compresión.

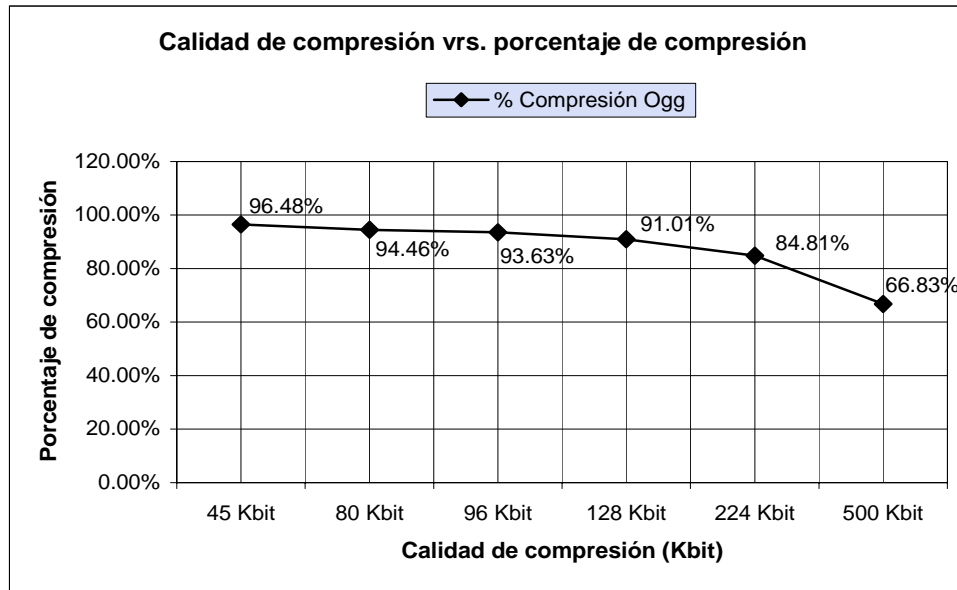
Esto se puede apreciar en las gráficas 2 y 3. Éstas muestran los datos de la tabla anterior pero de forma separada, tanto para *MP3* como para *Ogg*, y con un tipo de gráfica que nos permite visualizar de una mejor manera lo que representan estos datos.

Gráfica 2. Gráfica de comparación de compresión para formato *MP3*



En la Gráfica 2 se puede ver cómo la línea que representa el porcentaje de compresión respecto a la calidad del formato decrece conforme la calidad aumenta.

Gráfica 3. Gráfica de comparación de compresión para formato *Ogg*



La Gráfica 3 muestra los datos para el formato *Ogg Vorbis*; de igual manera que con *MP3*, la línea de la gráfica decrece conforme aumenta la calidad del archivo comprimido. Podemos ver un salto mayor entre la calidad de 224Kbit y 500Kbit, ya que entre estas dos calidades sí existe una diferencia de más del doble en cuanto a la calidad de sonido del archivo.

Para el formato *VQF* no se muestra esta tabla debido a que son solamente dos datos y la tendencia de la gráfica para este formato sería prácticamente la misma.

4.1.2. Análisis comparativo con base en el tiempo de compresión

Este apartado se dedica al análisis de los tiempos que tarda cada formato en la compresión de la pista origen, y se presentan tablas con los datos obtenidos en cada una de las distintas calidades de compresión de las pruebas efectuadas. Se verá cuál de ellos tiene un mejor rendimiento en esta característica.

Empezamos por mostrar los datos del tiempo de compresión para la calidad de 80Kbit y 96Kbit en las tablas siguientes, ya que para estas calidades sí existen tiempos para los tres formatos de sonido en estudio.

Tabla XXVII. Tiempo de compresión de los formatos de sonido. Calidad 80Kbit

Tiempo de compresión a calidad 80Kbit			
Archivo origen	Compresión MP3 (Seg.)	Compresión Ogg (Seg.)	Compresión VQF (Seg.)
Pista 1	32.50	25.67	31.50
Pista 2	36.83	28.33	35.67
Pista 3	19.17	14.67	18.67

El tiempo de compresión varía entre cada formato. El que menos tiempo tarda en la compresión de los archivos de audio original es el formato *Ogg*. Los formatos *MP3* y *VQF* presentan tiempos similares, ya que la diferencia entre los tiempos de compresión en estos formatos para esta calidad varía en el rango de 1 segundo, aproximadamente.

Tabla XXVIII. Tiempo de compresión de los formatos de sonido. Calidad 96Kbit

Tiempo de compresión a calidad 96Kbit			
Archivo origen	Compresión MP3 (Seg.)	Compresión Ogg (Seg.)	Compresión VQF (Seg.)
Pista 1	33.00	25.83	33.67
Pista 2	37.33	28.67	38.33
Pista 3	19.83	14.67	20.00

En la Tabla XXVIII se muestran los datos para la calidad de 96Kbit. Se observa que el formato que menos tiempo tarda para la compresión es el *Ogg*, además de que nuevamente existen tiempos similares entre el formato *MP3* y el formato *VQF*, como en los tiempos de la tabla anterior.

Hasta ahora estos datos nos indican que el formato *Ogg* es más rápido para comprimir un archivo. El formato *MP3* y el *VQF* utilizan prácticamente el mismo tiempo de compresión, ya que las diferencias en los tiempos de estos formatos no varían demasiado como con el formato *Ogg*.

A partir de este momento las tablas que se presentan solamente muestran datos del tiempo de compresión para los formatos *MP3* y *Ogg Vorbis* (excepto la Tabla XXXII), debido a las razones explicadas en el apartado 3.4 del capítulo 3.

Tabla XXIX. Tiempo de compresión de los formatos de sonido. Calidad 128Kbit

Tiempo de compresión a calidad 128Kbit			
Archivo origen	Compresión <i>MP3</i> (Seg.)	Compresión <i>Ogg</i> (Seg.)	Compresión <i>VQF</i> (Seg.)
Pista 1	34.33	25.17	---
Pista 2	37.17	29.00	---
Pista 3	19.67	14.50	---

La Tabla XXIX muestra los datos para el tiempo de compresión de la pista de audio origen al formato *MP3* y *Ogg* con una calidad de 128Kbit. Se vuelve a notar una diferencia entre los tiempos de compresión que favorecen al formato *Ogg*.

Tabla XXX. Tiempo de compresión de los formatos de sonido. Calidad 224Kbit

Tiempo de compresión a calidad 224Kbit			
Archivo origen	Compresión <i>MP3</i> (Seg.)	Compresión <i>Ogg</i> (Seg.)	Compresión <i>VQF</i> (Seg.)
Pista 1	34.33	24.50	---
Pista 2	38.33	28.17	---
Pista 3	20.33	14.33	---

Tabla XXXI. Tiempo de compresión de los formatos de sonido. Calidad mayor

Tiempo de compresión a calidad mayor			
Archivo	Compresión <i>MP3</i> a 320Kbit (Seg.)	Compresión <i>Ogg</i> a 500Kbit (Seg.)	Compresión <i>VQF</i> (Seg.)
Pista 1	35.17	27.00	---
Pista 2	38.67	29.67	---
Pista 3	20.67	15.33	---

Las tablas XXX y XXXI muestran los datos para las calidades de 224Kbit y la calidad mayor, siempre solamente para el formato *MP3* y *Ogg*.

Como se puede observar, siempre es el formato *Ogg* el más rápido en la compresión de los archivos. Además, la diferencia entre los tiempos de compresión entre estos formatos aumenta conforme el tiempo de duración de la pista es mayor. Se puede ver que las diferencias entre los tiempos de compresión (entre el formato *MP3* y *Ogg*) de las pistas 1 y 2 es aproximadamente de 8 a 10 segundos, pero para la pista 3 (que es la que tiene menos tiempo de duración), muestra una diferencia entre los tiempos de compresión de entre 4 y 6 segundos, aproximadamente.

Esto quiere decir que mientras más grande sea la pista (en el tiempo de duración, no en tamaño), más grande es la diferencia que existe en el tiempo de compresión entre el formato *MP3* y el formato *Ogg*. De igual manera se puede realizar esta comparación entre el formato *VQF* y el *Ogg*, por la tendencia a los tiempos similares entre el *MP3* y el *VQF*.

Tabla XXXII. Tiempo de compresión de los formatos de sonido. Calidad menor

Tiempo de compresión a calidad menor			
Archivo	Compresión <i>MP3</i> a 32Kbit (Seg.)	Compresión <i>Ogg</i> a 45Kbit (Seg.)	Compresión <i>VQF</i> a 80Kbit (Seg.)
Pista 1	33.67	24.50	31.50
Pista 2	36.50	28.67	35.67
Pista 3	19.50	14.50	18.67

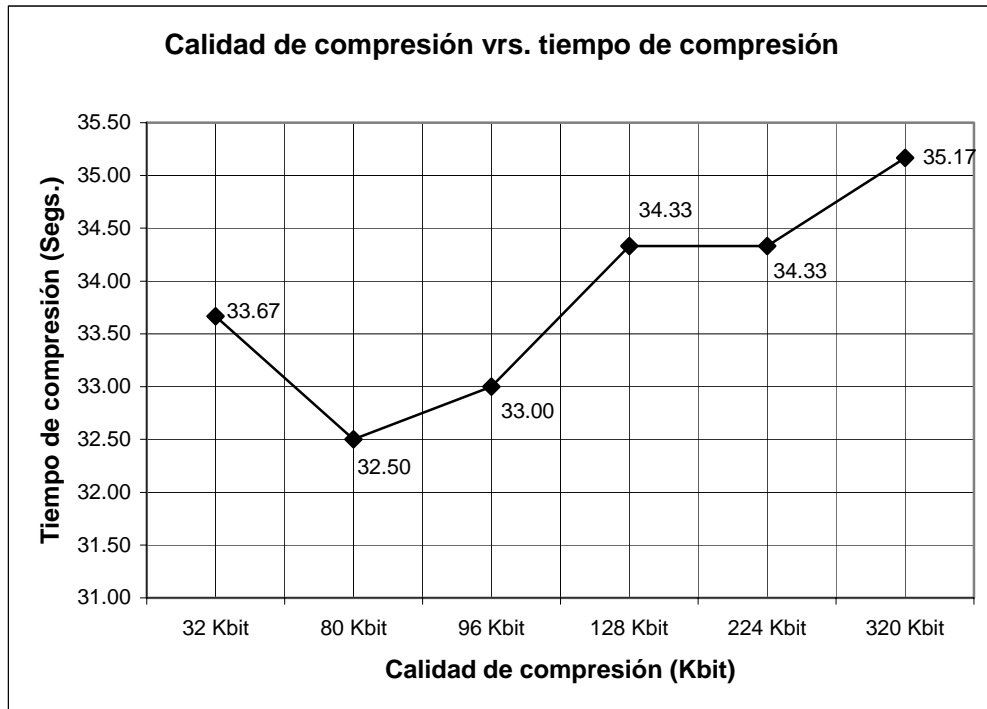
La Tabla XXXII muestra los datos para la calidad más pequeña de cada formato. Nuevamente se presentan los datos para la calidad de 80Kbit del formato *VQF*. Se puede observar diferencia en los tiempos debido a que, para cada formato, la calidad más pequeña varía, aunque nuevamente se observa que *Ogg* tiene mejor rendimiento en el tiempo de compresión. Los datos de los tiempos de compresión se presentan resumidos en la siguiente tabla.

Tabla XXXIII. Tiempo de compresión de los formatos de sonido. Resumen

Tiempo de compresión dependiendo la calidad del formato. Pista 1					
Calidad <i>MP3</i>	Tiempo (Seg.)	Calidad <i>Ogg</i>	Tiempo (Seg.)	Calidad <i>VQF</i>	Tiempo (Seg.)
32Kbit	33.67	45Kbit	24.50	---	---
80Kbit	32.50	80Kbit	25.67	80Kbit	31.50
96Kbit	33.00	96Kbit	25.83	96Kbit	33.67
128Kbit	34.33	128Kbit	25.17	---	---
224Kbit	34.33	224Kbit	24.50	---	---
320Kbit	35.17	500Kbit	27.00	---	---

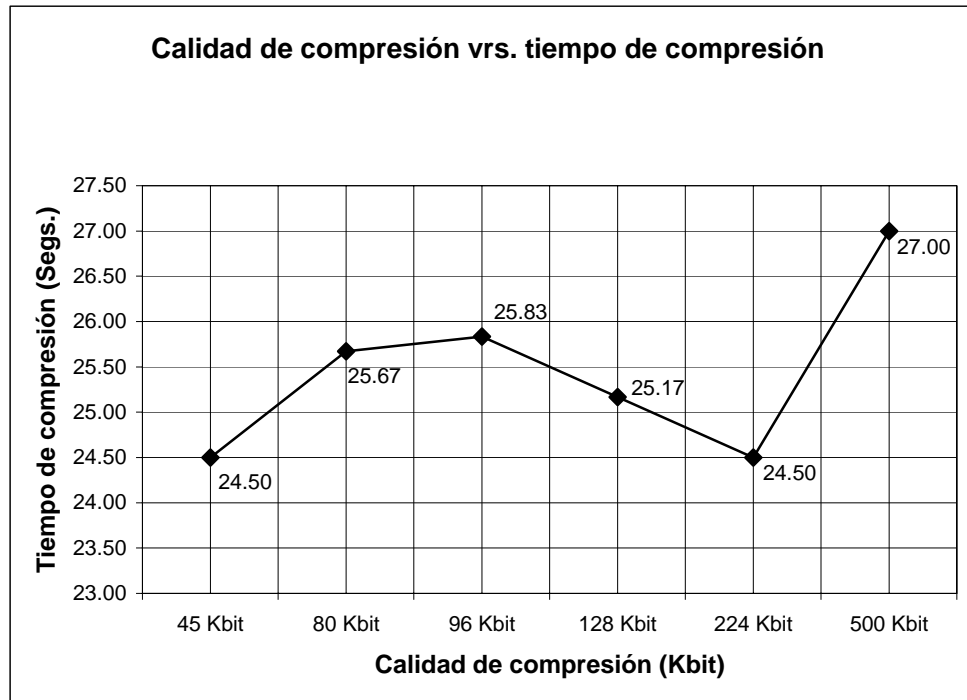
A continuación se presentan los tiempos de compresión por separado para el formato *MP3* y para el formato *Ogg* en una gráfica en la que se puede observar de una mejor manera la relación entre el tiempo de compresión y la calidad de compresión de los archivos de formato de sonido.

Gráfica 4. Gráfica de comparación del tiempo de compresión para formato MP3



Como se puede observar en la gráfica anterior, a partir de la calidad de 80Kbit los tiempos de compresión para el formato *MP3* van en aumento, lo que indica que mientras más calidad de compresión mayor será el tiempo que al *encoder* le toma la compresión.

Gráfica 5. Gráfica de comparación del tiempo de compresión para formato *Ogg*



En la Gráfica 5 se observa cómo los tiempos con el formato *Ogg* no siguen una tendencia como con el formato *MP3*, la cual tendía a aumentar el tiempo de compresión conforme aumentaba la calidad de compresión. Con el formato *Ogg* se observa que en unas ocasiones aumenta y en otras disminuye el tiempo de compresión.

Una vez observados los datos y comparados los tiempos de compresión de cada formato de sonido, se puede ver que el formato *Ogg* es el mejor en esta característica: es el que menos tiempo de compresión presenta en cada una de las pruebas, y los formatos *MP3* y *VQF* presentan tiempos de compresión similares.

4.1.3. Análisis comparativo con base en la calidad del sonido

Ya se presentaron los resultados para las características del radio de compresión y del tiempo de compresión de cada formato, falta el análisis de la última característica: la calidad de sonido final del archivo comprimido.

Se presentan tablas en las que se compara la calidad de sonido de los archivos de cada formato comprimido. Para cada archivo se determina qué calidad de sonido posee en comparación con los otros formatos y se selecciona una categoría de las que se proponen. Estos datos son tomados desde mi propio punto de vista y criterio.

Primero se seleccionó un reproductor para escuchar el archivo comprimido de cada formato (se utilizó el *Winamp* versión 5.0), se analizó cada archivo y luego se determinó qué calidad de sonido tenía. La descripción de cada una de las calidades posibles es la siguiente:

- ***Mala:*** el archivo no suena bien y no puede entrar en una categoría de sonido que se considere aceptable.
- ***Regular:*** el archivo presenta una calidad de sonido aceptable en comparación con los demás formatos.
- ***Buena:*** el archivo se escucha bastante bien y de buena calidad en comparación con los demás formatos.
- ***Excelente:*** el archivo se escucha o presenta una calidad de sonido sobresaliente o arriba de lo normal, en comparación con los demás formatos.

Se empieza comparando la calidad de sonido para los archivos comprimidos a la calidad de 80Kbit. Los datos se presentan en la Tabla XXXIV.

Tabla XXXIV. Calidad de sonido de los archivos comprimidos. Calidad 80Kbit

Archivos con calidad de compresión 80Kbit				
Calidad / Formato	Mala	Regular	Buena	Excelente
<i>MP3</i>		X		
<i>Ogg</i>			X	
<i>VQF</i>				X

La tabla anterior muestra que para la calidad de 80Kbit, los archivos con la mejor calidad de sonido (es decir, los que mejor se escuchan) son los archivos con formato *VQF*, ya que se estimó que cuentan con una calidad excelente de sonido en comparación con los otros dos formatos. Para el formato *Ogg* se estimó que cuenta con una calidad de sonido buena, a diferencia del formato *MP3* en el que se detectó que la calidad de sonido es regular en comparación con los otros formatos.

De la misma manera se presentan los datos para los archivos con calidad de 96Kbit en la Tabla XXXV.

Tabla XXXV. Calidad de sonido de los archivos comprimidos. Calidad 96Kbit

Archivos con calidad de compresión 96Kbit				
Calidad / Formato	Mala	Regular	Buena	Excelente
<i>MP3</i>		X		
<i>Ogg</i>			X	
<i>VQF</i>				X

Como se puede observar en la tabla anterior, los archivos con el formato *VQF* son los que mejor calidad de sonido tienen en comparación con los otros dos formatos.

Así mismo, también se detecta que los archivos con formato *Ogg* presentan mayor calidad de sonido que los archivos con formato *MP3*. Estos datos son para archivos con calidad de compresión de 96Kbit.

Ahora se procede a comparar los archivos con la calidad de compresión de 128Kbit (no se presentan datos para el formato *VQF*).

Tabla XXXVI. Calidad de sonido de los archivos comprimidos. Calidad 128Kbit

Archivos con calidad de compresión 128Kbit				
Calidad \ Formato	Mala	Regular	Buena	Excelente
<i>MP3</i>			X	
<i>Ogg</i>			X	
<i>VQF</i>				

Como se observa para la calidad de 128Kbit, tanto los archivos con formato *MP3* como los archivos con formato *Ogg* muestran una calidad de sonido buena, pero no se puede determinar que uno de los dos formatos tenga mejor sonido en sus archivos.

Tabla XXXVII. Calidad de sonido de los archivos comprimidos. Calidad 224Kbit

Archivos con calidad de compresión 224Kbit				
Calidad \ Formato	Mala	Regular	Buena	Excelente
<i>MP3</i>				X
<i>Ogg</i>			X	
<i>VQF</i>				

La Tabla XXXVII muestra los datos para los archivos comprimidos con calidad de 224Kbit. Para esta calidad sí se detecta un mejor sonido en los archivos con formato *MP3* que en los archivos con formato *Ogg*, aunque los archivos con formato *Ogg* siguen presentando una buena calidad de sonido.

A continuación se presentan las tablas con los datos para las calidades de compresión mayor y menor, respectivamente.

Tabla XXXVIII. Calidad de sonido de los archivos. Calidad de compresión mayor

Archivos con calidad de compresión mayor				
Calidad \ Formato	Mala	Regular	Buena	Excelente
<i>MP3</i> (320Kbit)				X
<i>Ogg</i> (500Kbit)			X	
<i>VQF</i> (96Kbit)			X	

La Tabla XXXVIII muestra los datos para la calidad mayor de cada formato de sonido, en la cual se puede observar que el formato *MP3* presenta una mayor calidad de sonido en el archivo comprimido que los otros dos formatos. Además se puede observar que los formatos *Ogg* y *VQF* cuentan con una buena calidad de sonido en sus archivos comprimidos a las calidades de 500Kbit y 96Kbit, respectivamente.

La Tabla XXXIX muestra los últimos datos de comparación; en ella se presentan los datos para la calidad menor de compresión de cada formato. Se puede observar que para la calidad menor de compresión del formato *MP3* (32Kbit) el archivo presenta una calidad de sonido mala, mientras que el *Ogg* se mantiene en una calidad de sonido buena y el formato *VQF* presenta un sonido sobresaliente en comparación con los otros formatos.

Tabla XXXIX. Calidad de sonido de los archivos. Calidad de compresión menor

Archivos con calidad de compresión menor				
Calidad \ Formato	Mala	Regular	Buena	Excelente
MP3 (32Kbit)	X			
Ogg (45Kbit)			X	
VQF (80Kbit)				X

La Tabla XL resume los resultados presentados en las tablas anteriores.

Tabla XL. Calidad de sonido de los archivos comprimidos. Resumen

Calidad de sonido de los archivos comprimidos					
Formato <i>MP3</i>	Calidad de sonido	Formato <i>Ogg</i>	Calidad de sonido	Formato <i>VQF</i>	Calidad de sonido
32Kbit	Mala	45Kbit	Buena	---	---
80Kbit	Regular	80Kbit	Buena	80Kbit	Excelente
96Kbit	Regular	96Kbit	Buena	96Kbit	Excelente
128Kbit	Buena	128Kbit	Buena	---	---
224Kbit	Excelente	224Kbit	Buena	---	---
320Kbit	Excelente	500Kbit	Buena	---	---

Se puede observar que para el formato *MP3* la calidad de sonido varía dependiendo de la calidad de compresión que se realice, ya que el sonido de estos archivos aumenta mientras mejor calidad de compresión tengan. El formato *Ogg* presenta una calidad de sonido buena en todas las calidades de compresión, lo que indica que la calidad de sonido de los archivos con este formato no depende de la calidad de compresión. Así mismo, el formato *VQF* presenta una excelente calidad de sonido en sus archivos comprimidos, comparados con los otros dos formatos a una misma calidad de compresión.

4.2. Discusión de resultados

Con base en las características mencionadas en el apartado 4.1 se procede a dar un análisis final y discusión de resultados, para determinar qué formato de los que se presentan en estudio es el mejor (desde mi punto de vista) y presenta un mejor rendimiento o balance en sus características.

Como se puede observar en el apartado 4.1.1, no existe una diferencia entre el radio de compresión de cada formato; es decir, que cada formato presenta un mismo tamaño de archivo comprimido en cada una de las calidades que se realizaron pruebas.

El porcentaje del radio de compresión de cada formato no varía considerablemente como para poder decir que uno de ellos comprime más un archivo, ya que las diferencias entre los porcentajes no son mayores al uno por ciento (1%) en la mayoría de casos. Solamente existe una diferencia marcada en la calidad de 320Kbit y 500Kbit para los formatos *MP3* y *Ogg* respectivamente, la cual es de más del 10%, pero esta diferencia se puede justificar ya que la diferencia entre las calidades de compresión es considerablemente alta.

En cuanto al radio de compresión, los formatos de sonido en estudio (*MP3*, *Ogg* y *VQF*) no presentan ninguna diferencia, como para poder determinar cuál tiene mejor rendimiento o desempeño en esta característica.

Lo que sí se puede observar y se debe mencionar, es que mientras más grande es la calidad a la que se comprime un archivo de audio origen a un formato de sonido, menor es el porcentaje del radio de compresión.

Por lo tanto hasta este momento no se puede mencionar cuál de los tres formatos es mejor. Se deben analizar las otras dos características para poder tomar la decisión, ya que hasta el momento no hay datos concretos que permitan tomar la elección adecuada.

En relación al tiempo de compresión que le toma a cada formato convertir de la pista de audio origen al archivo comprimido en cada uno de los formatos con distinta calidad de compresión, se puede observar que el formato *Ogg* presenta un mejor desempeño en el tiempo de compresión de los archivos.

Esto se puede observar en todas las pruebas realizadas en cada una de las calidades de compresión de cada formato, ya que para todas las calidades de compresión (80Kbit, 96Kbit, 128Kbit, etc.) el formato *Ogg* es el que menos tiempo emplea para la compresión.

Esto indica claramente y sin ninguna duda que el formato *Ogg* es el mejor en esta característica. Ahora bien, falta comparar los tiempos entre el formato *MP3* y el *VQF*. Como se puede observar en los dos tiempos que se pueden comparar entre estos dos formatos (tiempo de compresión para las calidades de 80Kbit y 96Kbit), existe una ligera similitud entre ellos en el tiempo que les toma la compresión.

Entonces se puede decir que entre los formatos *MP3* y *VQF* no hay diferencia entre los tiempos de compresión y por lo tanto, ninguno de los dos tiene ventaja sobre el otro en esta característica. Lo anterior no se puede decir con respecto al formato *Ogg*, en donde la diferencia es notable si se toma en cuenta los tiempos resultantes de compresión para cada formato, los cuales son de 24 a 27 segundos para el formato *Ogg*, de 32 a 35 segundos para el formato *MP3* y de 31 a 32 segundos para el formato *VQF*. La diferencia llega a ser de hasta 10 segundos entre el *Ogg* y los otros dos formatos.

Hasta este momento, el formato *Ogg* lleva ventaja con respecto a los otros dos formatos, debido a que el tiempo de compresión de los archivos *Ogg* es menor que el de los archivos *MP3* y *VQF*.

Solamente resta realizar el análisis de la tercera característica planteada para la comparación de los formatos, que es la calidad de sonido del archivo resultante. Para ello analizamos los datos y resultados del apartado 4.1.3 en el que se compararon las calidades de sonido de cada formato.

La calidad del sonido de los archivos *MP3*, en comparación con los otros dos formatos, varía dependiendo de la calidad de compresión del archivo, ya que con los archivos *MP3* de menor calidad de compresión, se pudo identificar una calidad entre mala y regular de sonido del archivo. Con calidades mayores de compresión, el formato *MP3* presenta calidades entre buenas y excelentes.

Esto quiere decir que para el formato *MP3* la calidad de sonido de los archivos comprimidos es mejor mientras mejor sea la calidad de compresión de éstos. Esto no sucede con el formato *Ogg*, ya que para cada una de las calidades de compresión presenta una calidad de sonido buena, independientemente de la calidad de compresión de los archivos.

Por último, el formato *VQF*, en las dos calidades de compresión que se presentan, mostró una calidad de sonido excelente en comparación con los archivos con la misma calidad de compresión de los formatos *MP3* y *Ogg*.

Entonces se puede concluir que en cuanto a la calidad del sonido de los archivos comprimidos de cada formato de sonido digital, el formato *Ogg* y el *VQF* presentan características que les favorecen en calidades pequeñas sobre el *MP3*, pero al contrario, mientras más calidad de compresión tengan los archivos, el formato *MP3* tiene ventaja sobre los otros dos formatos.

Si se analiza que en la actualidad archivos de sonido con calidad de compresión pequeña ya no se encuentran o no se realizan, sino que por el contrario cada vez más se comprimen archivos de sonido a calidades más altas (por la fidelidad del sonido y por que el tamaño del archivo ya no es muy importante por el tamaño actual de los discos duros) se puede decir que el formato *MP3* tiene ventaja sobre los otros dos formatos.

Desde mi punto de vista y luego de observar cada uno de los resultados, puedo concluir que el mejor formato de sonido es el formato *Ogg*, ya que presenta un balance adecuado en sus características, tanto en el radio de compresión como en el tiempo de compresión y la calidad del sonido de los archivos resultantes.

El formato *MP3* queda, desde mi punto de vista, como la segunda opción, debido a que su calidad de sonido no es constante entre las calidades de compresión y el tiempo de compresión es menor que el formato *Ogg*.

Por último quedaría el formato *VQF*, que es poco conocido y por lo tanto se pueden encontrar dificultades tanto para comprimir archivos a esta calidad como para reproducirlos, aunque hay que decir que este formato presenta una buena calidad de sonido en sus pocas calidades a las que permite comprimir archivos.

CONCLUSIONES

1. Los formatos de sonido utilizan diferentes métodos o algoritmos para la compresión de un archivo de audio, los cuales se basan en transformadas entre las que se puede mencionar la Transformada Modificada Discreta del Coseno (*MDCT*) y la Transformada Discreta del Coseno (*DCT*)
2. Entre los formatos de sonido más conocidos se encuentran el formato *WAV*, el *MIDI*, el *MP3* y el *Ogg*; mientras que en los menos conocidos se pueden mencionar el formato *RA* y el *VQF*, entre otros.
3. Al momento de realizar la compresión de una pista de audio a cualquiera de los formatos de sonido digital, se debe tomar en cuenta varios factores como el programa a utilizar para la compresión y el medio que se utilizará para la extracción y compresión al formato de sonido.
4. El formato de sonido que presenta un mejor balance en cuanto a las características analizadas a lo largo del trabajo investigativo, fue el *Ogg Vorbis*, por lo que se puede decir que es el mejor formato en comparación con los otros dos formatos (*MP3* y *VQF*).
5. El formato de sonido más conocido y utilizado en la actualidad en el mundo de la informática es el formato *MP3*, el cual lleva considerable ventaja sobre los otros, por su gran comercialización y distribución.

RECOMENDACIONES

1. Al momento de realizar la compresión de un archivo de audio a un formato de sonido, es necesario contar con un *software* (programa) que proporcione todas las herramientas necesarias para la compresión al formato de sonido de nuestra elección.
2. A la hora de comprimir archivos de audio a un formato de sonido digital, se recomienda determinar cuáles son las necesidades que se tienen para elegir el mejor formato con base en esas necesidades.
3. El formato *VQF* cuenta con una calidad bastante buena de sonido en sus archivos, no obstante no es muy recomendado su uso por la falta de herramientas tanto para comprimir como para reproducir archivos con este formato.
4. El formato de sonido que más balance tiene en sus características principales es el *Ogg Vorbis*, por lo que es recomendable utilizar de manera más frecuente este tipo de archivos y no centrarnos solamente en usar archivos de formato *MP3*.

BIBLIOGRAFÍA

1. Mata, Alfonso. **“La guerra de los artefactos de sonido”** Compuchannel. (Guatemala) (45): 6-7. 2004.
2. Rodas, Iris y Mario López. *Computación y Programación*. 1era. Edición. Guatemala: Editorial Textos Didácticos de Guatemala, 1993. 187 pp.
3. **Compresión de audio**
<http://freak.jorgeferrer.com/elbazar/articulos/compresion-de-udio/ar01s02.html>
(15/02/2004)
4. **Pasando archivos WAV a MP3 u Ogg**
<http://www.ciberperiodismo.net/gorka/noticias> (23/10/2003)
5. **El formato de sonido Ogg** <http://www.terra.es/personal/fravila/oggvorbis>
(23/10/2003)
6. **Ogg Vorbis otro concepto en sonido**
http://www.baluma.com/software/Formato_Ogg_Vorbis/home2.asp
(23/10/2003)
7. **MP3 y VQF**
<http://usuarios.advance.com.ar/fralunito/notas/MP3%20vs%20VQF%20Cual%20es%20%20el%20mas%20conveniente.htm> (05/03/2004)

8. Noticias VQF

<http://www.noticiasdot.com/publicaciones/2002/1202/021202/noticias021202/noticias021202-10.htm> (05/04/2004)

9. VQF, una nueva alternativa para el sonido digital

<http://www.maestrosdelweb.com/editorial/VQF/> (05/04/2004)

10. Nuevos estándares para comunicación de sonido comprimido

<http://neutron.ing.ucv.ve/revistae/No6/Magne%20Carmen/ESTANDARES%20DE%20SONIDO.htm> (05/04/2004)

11. Fundamentos del sonido digital

<http://www.monografias.com/trabajos7/sodi/sodi.shtml> (01/09/2003)

12. Sonido en HTML II, características del sonido digital

<http://www.desarrolloweb.com/articulos/1097.php?manual=21> (09/09/2003)

13. Sonido en HTML III

<http://www.desarrolloweb.com/articulos/1116.php?manual=21> (09/09/2003)

14. Sonido en HTML IV

<http://www.desarrolloweb.com/articulos/1131.php?manual=21> (09/09/2003)

15. El MP3 inicia la revolución de la música digital

<http://www.baquia.com/com/legacy/8441.html> (23/10/2003)

16. FAQ MP3 <http://www.barciaonline.com/aural/faq-Vorbis.htm> (23/10/2003)

- 17. MP3 info** <http://www.geocities.com/Heartland/Plains/1858/musica/info.html>
(23/10/2003)
- 18. MP3 la nueva generación del sonido**
http://members.tripod.com.mx/the_kof/MP3NEW.HTM (23/10/2003)
- 19. Portada, Planeta Música** <http://www.lared.com.ve/archivo/porta30.html>
(23/10/2003)
- 20. Qué es MP3** http://www.musicagospel.com.ar/Que_es_MP3.htm (23/10/2003)
- 21. Una comparativa entre MP3, WMA, AAC, VQF y Ogg Vorbis**
<http://ice.prohosting.com/clbustos/oggvorbis/comparativa.html> (23/10/2003)
- 22. Ogg Vorbis: el sucesor libre del formato MP3**
<http://bulmalug.net/body.phtml?nIdNoticia=1410> (23/10/2003)
- 23. Doom 9 en español – La casa del video digital**
<http://spanish.doom9.org/index.html?/Ogg.htm> (23/10/2003)

APÉNDICE

SOFTWARE UTILIZADO:

- Biblioteca de Consulta *Microsoft® Encarta®* 2003.
1993-2002 *Microsoft Corporation* ©.
<http://encarta.msn.com/es/teleport/fromCD2003/tour04.asp>

- *CDEX 1.51e*
Versión 1.51 exclusivo para *Windows XP*
Copyright© 1998-2003 Albert L. Faber.
<http://cdexos.sourceforge.net/>

- *CDEX 1.40e*
Versión 1.40 release para *Windows 98*
Copyright© 1998-2002 Albert L. Faber.
<http://www.cdex.n3.net/>