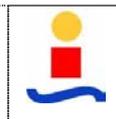
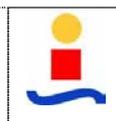


INDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	5
1.1 ANTECEDENTES	5
1.2 OBJETO.....	7
1.3 ALCANCE.....	8
2. MARCADO DIGITAL DE SEÑALES DE AUDIO	9
2.1 INTRODUCCIÓN.....	9
2.1.1 Un poco de historia.....	9
2.1.2 Definiciones previas	11
2.2 ESQUEMA GENERAL DE MARCADO DIGITAL	12
2.2.1 Proceso de marcado	13
2.2.2 Procesamiento intermedio	14
2.2.3 Detección de la marca.....	15
2.3 CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE MARCADO.....	17
2.3.1 Sistemas de marcado ciegos / no ciegos.....	17
2.3.2 Sistemas de marcado simétricos / antisimétricos	17
2.3.3 Sistemas de marcado secreto / público	18
2.4 PROPIEDADES DE LAS MARCAS DE AGUA	19
4. PROPIEDADES DEL SISTEMA AUDITIVO HUMANO.....	21
4.1 INTRODUCCIÓN.....	21
4.2 EL SISTEMA AUDITIVO HUMANO	23
4.3 EL OÍDO COMO ANALIZADOR DE FRECUENCIAS.....	28
4.4 EFECTO DEL ENMASCARAMIENTO.....	32
4.4.1 Enmascaramiento temporal	33
4.4.2 Enmascaramiento frecuencial.....	34
4.4.3 Umbral de enmascaramiento	35
5. APLICACIONES.....	37
5.1 APLICACIONES RELACIONADAS CON EL COPYRIGHT.....	38
5.1.1 Prueba de la propiedad	38
5.1.2 Monitorización en el consumidor final.....	39
5.1.3 Monitorización en el distribuidor final : Sistemas de compartición de archivos.....	40
5.1.4 Identificación de emisión de audio	41
5.1.5 Rastreo de copias ilícitas.	41
5.1.6 Determinación del origen de copias ilícitas.....	41
5.2 SERVICIOS DE VALOR AÑADIDO	43
5.2.1 Servicios relacionados con el contenido.....	43
5.2.2 Transporte de información de propósito general.....	44



5.3	APLICACIONES RELACIONADAS CON LA VERIFICACIÓN DE LA INTEGRIDAD	45
5.3.1	Marcas de agua frágiles	45
5.3.2	Otros ejemplos de verificación de la integridad	46
5.4	REQUISITOS DE LA MARCA DE AGUA EN FUNCIÓN DE LA APLICACIÓN	47
6.	ESTADO DEL ARTE DEL MERCADO DIGITAL DE SEÑALES.....	49
6.1	EMPRESAS DEDICADAS AL WATERMARKING DIGITAL	49
6.1.1	Alphatech LTD (http://www.alphatecltd.com)	49
6.1.2	Instituto Franhoufer (http://www.iis.fraunhofer.de)	54
6.1.3	Ewatermark (http://www.ewatermark.com)	60
6.1.4	BlueSpike Inc. (http://www.bluespike.com)	62
6.2	ENTIDADES SIN ÁNIMO DE LUCRO DEDICADAS AL WATERMARKING.....	63
6.2.1	Digital Watermarking World (www.watermarkingworld.org)	63
6.2.2	Grupo de Investigación de tecnología musical (www.mtg.upf.edu)	64
6.2.3	Revistas divulgativas: Stereophile (www.stereophile.com)	68
6.3	ESTADO DEL ARTE DE LAS APLICACIONES RELACIONADAS CON EL COPYRIGHT ...	69
6.3.1	¿Es delito copiar CD's o intercambiar música?	69
6.3.2	Desafío SDMI.....	72
6.3.3	Sistemas DRM: Las siglas de la discordia.....	73
6.3.4	Nueva Ley de Propiedad Intelectual del 8 de Julio de 2006 : La polémica del Canon digital	77
6.3.5	Otras Noticias Interesantes.....	80
7.	TÉNICAS DEL MERCADO DIGITAL DE AUDIO.....	84
7.1	INTRODUCCIÓN.....	84
7.2	MÉTODO DE DOS SALTOS (TWO- SET)	86
7.2.1	Algoritmo de Patchwork original.....	86
7.2.2	Algoritmo Patchwork Modificado.....	88
7.2.3	Modulación en amplitud : Componentes de baja frecuencia.....	93
7.3	MÉTODO DE RÉPLICA	98
8.3.1	Echo- hiding o marcado por eco.....	90
8.3.2	Modulación de réplica	100
7.4	MÉTODO DEL ESPECTRO EXPANDIDO (SPREAD- SPECTRUM).....	102
7.4.1	Introducción.....	102
7.4.2	Idea básica	103
7.4.3	Nueva técnica de marcado de Espectro expandido basada en características tiempo-frecuencia.....	105
7.5	MÉTODO DE AUTOMARCADO (SELF-MARKING).....	110
7.5.1	Método basado en la modificación de la escala de tiempo.....	110
7.5.2	Basado en características notables.....	112
9.	ALGORITMOS EN MATLAB 7.0	113



9.1 ALGORITMO DE MARCADO Y DETECCIÓN EN MATLAB 7.0 PARA EL MÉTODO DOS SALTOS.....	115
9.1.1 Mercado.....	115
9.1.2 Detección.....	116
9.1.3 Parámetros de marcado.....	117
9.1.4 Pruebas de inaudibilidad.....	118
9.1.5 Pruebas de resistencia y robustez.....	122
9.2 ALGORITMO DE MARCADO EN MATLAB 7.0 PARA EL MÉTODO DE RÉPLICA.....	124
9.2.1 Introducción.....	124
9.2.2 Mercado.....	125
9.2.3 Detección.....	128
9.2.4 Parámetros de marcado.....	130
9.2.5 Pruebas de inaudibilidad.....	131
9.2.6 Pruebas de resistencia y robustez.....	133
9.3 ALGORITMO DE MARCADO Y DETECCIÓN EN MATLAB 7.0 PARA EL MÉTODO DE ESPECTRO-EXPANDIDO.....	137
9.3.1 Introducción.....	137
9.3.2 Mercado.....	138
9.3.3 Detección.....	144
9.3.4 Parámetros de marcado.....	147
9.3.5 Pruebas de inaudibilidad.....	147
9.3.6 Pruebas de resistencia y robustez.....	149
10. CONCLUSIONES FINALES.....	150
ANEXO I. FUENTES DE INFORMACIÓN Y REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	158
ANEXO II. ALGORITMOS MATLAB 7.0.....	162
ALGORITMOS PARA EL MÉTODO DE DOS SALTOS.....	162
ALGORITMOS PARA EL MÉTODO DE ESPECTRO EXPANDIDO.....	172
ALGORITMOS PARA EL MÉTODO DE RÉPLICA.....	178



PFC “ Sistemas de mercado digital de audio ”





1. INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

El uso de **marcas de agua** como sistema de protección es casi tan antiguo como la fabricación de papel. Durante cientos de años, cualquiera que poseyera o fabricase un documento u obra de arte valioso lo marcaba con un sello de identificación o marca de agua (visible o no), no sólo para establecer su propiedad, origen o autenticidad, sino para desalentar a aquellos que pudieran intentar robarlo.

El término “marca de agua” (watermark), se empezó a usar con mucho éxito en los sistemas de **falsificación de billetes** en los cuales existe una imagen formada por diferencia de espesores en una hoja de papel y que sólo puede ser vista si exponemos el billete a la luz.

Sin embargo, el objeto de estudio de este documento se refiere a las marcas de agua sobre documentos digitales. La posibilidad de digitalización de cualquier tipo de información (imágenes, vídeo, audio, texto, etc.) junto a la interconectividad global que proporciona Internet y las nuevas tecnologías, posibilitan la realización de **copias perfectas de la información digitalizada**.

Las propias características de la información digital (facilidad de réplica, facilidad de transmisión, facilidad de tratamiento y modificación, equivalencia de las copias digitales, etc.) facilitan la agresión contra los Derechos de Autor del propietario de dicha información digital, lo que hace necesaria la existencia de un sistema de protección potente.

Las **primeras publicaciones** relacionadas con el marcado de agua digital **datan de 1979**. Sin embargo no es hasta 1990 cuando alcanza un interés internacional. Aunque aún es un tema de candente actualidad cada vez se crean técnicas más eficaces y complejas que mejoran a las anteriores en términos de robustez e inaudibilidad de la marca de agua.

Desde hace unos años, **numerosas empresas se han embarcado** en el mundo del marcado digital, sacando al mercado productos software que aplicados a señales digitales de todo tipo permiten que receptor y transmisor puedan intercambiarse un mensaje oculto (que sería propiamente la marca de agua), cuyo contenido puede ser en principio cualquiera. Así que, una canción, imagen, o vídeo de Internet aparentemente inofensivo puede contener un mensaje oculto, que sólo se podría extraerse con el software adecuado.



Por último, hay que destacar que aunque las primeras aplicaciones del marcado digital de señales de audio (o “*audio watermarking*”) pasaban por proteger la Propiedad Intelectual y los Derechos de autor, **cada vez son más y más distintas las aplicaciones que estas técnicas tienen.**



1.2 OBJETO

El objeto de este proyecto es introducir los sistemas actuales de marcado digital de audio, así como describir y abordar las técnicas más populares que hacen posible el uso esta tecnología en los contenidos audio digitales.

Para el estudio de las **técnicas de marcado digital**, en primer lugar se analizarán todas las técnicas existentes, haciendo una comparativa entre ellas y analizando más en profundidad aquéllas técnicas que consiguen los objetivos o tienen un mejor funcionamiento. En segundo lugar se abordarán cuatro de estas técnicas, a través de la programación en *Matlab 7.0* de los algoritmos de marcado y detección sobre un archivo audio concreto. Se compararán los resultados y se extraerán las correspondientes conclusiones sobre los algoritmos usados.

Este documento también aborda un amplio estudio de las **aplicaciones actuales de los sistemas de marcado digital**, tanto a nivel internacional como nacional, haciendo especial hincapié en las aplicaciones relacionadas con la protección de Contenidos Digitales, que es, sin duda la aplicación más controvertida de esta tecnología. Cabe destacar también que se han seleccionado una serie entidades y empresas que aplican la tecnología del marcado digital a sus productos. Presentamos en este proyecto alguno de éstos productos junto con noticias recientes íntimamente ligadas al uso de estas técnicas y que resultan interesantes para asimilar el *estado actual del arte* del marcado digital de señales audio.

Por último se muestran las **conclusiones finales**, en las se tendrán en cuenta todos los conocimientos teóricos y prácticos adquiridos a lo largo de este documento. Además se hará una reflexión sobre el **futuro** de esta tecnología basada, sobre todo, en la situación actual y las controversias surgidas en los últimos meses por la imposición de estas técnicas en productos de mercado.



1.3 ALCANCE

Este proyecto estudia los sistemas digitales de marcado de señales audio abarcando las siguientes tareas:

- Se expondrá una **breve historia** del comienzo de estos sistemas y cómo surgió la necesidad actual de estudiarlos, desarrollarlos e implementarlos. Se definirán algunos términos y conceptos que se usarán a lo largo de este proyecto.
- Se estudiará un **esquema general** de marcado, en el que se expondrán las fases que lo constituyen así como los tipos de sistemas que se conocen. También se mencionarán las características que deben tener las *marcas de agua* para la consecución de ciertos objetivos que dependerán principalmente de su posterior aplicación.
- Por otro lado, se hará un resumen de la fisiología del **Sistema Auditivo Humano**, ya que sus características son las que hacen posible que una marca de agua introducida en un archivo audio sea inaudible para el oído humano.
- En cuarto lugar, se describen las **aplicaciones** en las que hemos podido encontrar esta tecnología en los últimos años para, posteriormente, hacer un estudio del **estado del arte** actual del uso de marcas de agua en audio. Con este estudio conoceremos tanto las empresas dedicadas a productos software basados en esta tecnología, como las entidades sin ánimo de lucro que innovan e investigan sobre las marcas de agua en audio digital.
- En quinto lugar y como **tarea principal** de este proyecto se hace un amplio estudio de las **cuatro técnicas de marcado** más importantes que tienen cabida actualmente. Se programarán en *Matlab 7.0* los algoritmos de marcado y detección de marcas sometiendo los resultados a pruebas de robustez, audibilidad y resistencia. Finalmente se compararán estas cuatro técnicas analizando sus ventajas e inconvenientes y sacando las correspondientes conclusiones.
- Por último, este documento finaliza con una serie de **conclusiones** sobre el uso de esta tecnología, además de un **análisis del futuro** basado en la situación actual.



2. MARCADO DIGITAL DE SEÑALES DE AUDIO

2.1 INTRODUCCIÓN

Si bien las técnicas de marcado digital son ampliamente estudiadas para todo tipo de archivos digitales como imágenes, vídeo o texto digital, este **proyecto se centrará en las técnicas de marcado digital para audio**, es decir, canciones o archivos de voz. De ahí que a partir de ahora cualquier información digital a la que se haga mención será tipo audio.

2.1.1 Un poco de historia

Podríamos decir que el arte de ocultar mensajes da sus primeros pasos en la antigua Grecia. Se cuenta en “*Les Històries d’Heròdot*” que *Demeratus* quería comunicar a la ciudad de Esparta que Xerxes tenía planes para invadir Grecia. Para evitar ser capturado por espionaje en los controles, escribió sus **mensajes en tablas** que luego fueron cubiertas con cera, de forma que parecían no haber sido usadas. Ésta es posiblemente una de las primeras manifestaciones en la historia de mensajes esteganografiados¹.

Otro método usado durante siglos consistía en **tatuar al mensajero** (generalmente un esclavo) un mensaje en la cabeza afeitada para después dejarle crecer el pelo y enviar así el mensaje oculto.

El método de escritura de “**Cifrado Nulo**” es usado desde hace siglos, y sigue siendo usado hoy en día. Ésto es debido a que se trata posiblemente de uno de los métodos más sencillos de ocultar información. Consiste en escribir un texto aparentemente inofensivo donde, mediante algún mecanismo conocido por el legítimo receptor de la información (actualmente hablamos de algoritmos y claves), subyace la información realmente importante.

- Veamos un **ejemplo** de un “mensaje real” enviado por un espía alemán durante la Segunda Guerra Mundial:

¹ Las marcas de agua son un caso particular de técnica esteganográfica. Se explica este concepto en el punto 2.1.1



“Apparently neutral's protest is thoroughly discounted and ignored. Isman hard hit. Blockade issue affects pretext for embargo on by products, ejecting suets and vegetable oils.”

Si de este inocente texto extraemos la segunda letra de cada palabra, obtendremos este otro mensaje:

“Pershing sails from NY June 1.”

Otro método digno de mencionar es el de escritura con **“tinta invisible”**, que aunque ya se usaba desde la edad media, es en la Segunda Guerra Mundial cuando adquiere una importancia capital. Fue usado muy activamente por la resistencia en los campos de prisioneros nazis. Generalmente se usa de la siguiente forma: en primer lugar se escribe una carta completamente normal, y después se escribe, entre las líneas de esa carta, otro texto donde está la información importante. Era habitual el uso de vinagre, zumos de frutas u orina, aunque hoy en día existen compuestos químicos específicos. Al calentar el papel, la escritura oculta se hace visible.

Por último comentaremos la técnica de los **“micropuntos”** Esta tecnología fue inventada por los alemanes durante la Segunda Guerra Mundial y fue usada de forma muy activa durante la época de la guerra fría. La técnica se basa en esconder puntos minúsculos en fotografías, tan pequeños, que para el ojo humano e incluso para instrumentos ópticos básicos como lupas resultan invisibles, pero que forman un patrón de información significativa. Debido a la naturaleza analógica de esta técnica, resultaba fácilmente detectable para los servicios de inteligencia, si bien advertir la presencia de mensajes esteganografiados² no siempre significa que puedan ser legibles. Aún así, descubrir la presencia de un mensaje esteganografiado se considera un fracaso de la esteganografía que lo soporta, pues la imposibilidad de comprender su contenido conforma su capa de cifrado.

Fue a **principio de los años 80** cuando se empezaron a publicarse los primeros documentos que hablaban del mercado digital de imágenes. Sin embargo es a lo largo de la década de los 90, con la aparición de Internet y la rápida evolución del comercio multimedia, cuando el watermarking (aplicado a imágenes, archivos de audio, o incluso vídeo) ha adquirido un amplio interés internacional. Tanto es así, que en los últimos años se han creado multitud de empresas de servicios software que aplican el watermarking a todo tipo de archivos multimedia³.

² Para ver definición de esteganografía, ver apartado 2.1.1

³ Ver apartado 6 de este documento, que habla del estado del Arte del Mercado digital de señales.



Para terminar esta introducción histórica, mencionaremos que en los últimos años se han creado varios portales digitales específicos, entre los que destacaremos “*Digital Watermarking World*”. Esta iniciativa de *Martin Kutter* a principio del año 2000 es un gran foro sin ánimo de lucro con el objetivo de proporcionar medios y servicios a los investigadores y científicos del watermarking digital.

2.1.2 Definiciones previas

El marcado digital de señales de agua (en adelante “watermarking”) es una técnica esteganográfica, que no deja de ser una forma de **transmitir un mensaje oculto entre un transmisor y un receptor**. Sin embargo se suele confundir la *esteganografía* con la *criptografía*. A continuación aclararemos estos dos términos.

La *esteganografía* es el arte de escribir de forma oculta. Procede de los términos griegos; *stegano* (encubierto con sentido oculto) y *graphos* (escritura). Se suele confundir con la criptografía (cripto, oculto y grafo, escritura). La criptografía es el arte de escribir de forma enigmática (según la *Real Academia Española*), mientras que la esteganografía es el arte de escribir de forma oculta. Puede que sigan pareciendo similares, pero las connotaciones toman mucho valor al analizarlo detenidamente: **la criptografía tiene su fuerza en la imposibilidad de comprender el mensaje, mientras que la esteganografía la tiene en el desconocimiento de que el mensaje siquiera existe.**

Como anécdota, comentaremos que en ciertos países el gobierno controla a la población hasta el extremo de controlar la información que emiten a la red (por ejemplo en China), por lo que cualquier dato cifrado sería interceptado de inmediato. Podemos comparar la criptografía a “tener alarma” en casa: nuestra seguridad aumenta muchísimo, pero todos los que vean las medidas de seguridad sabrán que tenemos cosas importantes que guardar (por norma general se cifran únicamente los contenidos muy importantes).

Mediante técnicas esteganográficas podemos hacer que cualquier información pase inadvertida (subyaciendo en información inofensiva), pero la seguridad intrínseca de la esteganografía para datos importantes no es mucha. Actualmente, para la transmisión de algunos datos, se usan estas dos técnicas combinadas, obteniendo así dos capas de seguridad.

2.2 ESQUEMA GENERAL DE MARCADO DIGITAL

Los Sistemas de marcado **insertan una marca de agua (mensaje oculto) en una señal audio**, permitiendo la comunicación secreta entre transmisor y receptor, y de manera que no existan diferencias perceptibles entre la señal original y la señal marcada.

La señal de audio marcada deber ser robusta frente a ataques ya sean intencionados (como el intento de extraer o destruir la marca) o no (como la compresión del archivo a MP3). Podría decirse, pues, que el watermarking es una **técnica esteganográfica pero con el requerimiento adicional de que es robusto frente a posibles ataques**.

El esquema general de un sistema de marcado se muestra en la Figura 1.

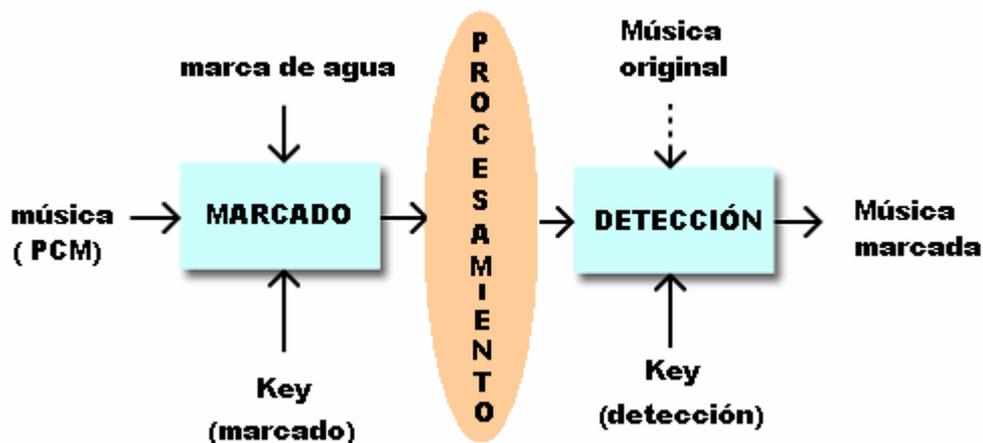


Figura 1: Esquema general de un sistema de marcado digital

El proceso de introducción y extracción de la marca se modela como un canal de comunicación donde la marca es distorsionada debido a la presencia de una fuerte interferencia, que es la señal audio original a efectos de canal, que se corresponden con los procesamientos a los que se puede ver sometida la señal audio.

2.2.1 Proceso de marcado

La idea básica del un esquema de marcado se muestra en la Figura 2, una marca de agua m es introducida en una señal audio s . El proceso de marcado depende de una llave o semilla k , y a la salida del bloque de marcado la señal marcada \hat{s} debe de sonar igual que la señal original s , éste es el requisito de *transparencia perceptiva*.



Figura 2: Esquema de marcado

La marca digital:

Una marca de agua (watermark), es un código perceptible (audible) o preferiblemente imperceptible, que se encuentra **permanentemente "incrustado"** en la información (no desaparece después del descifrado).

La marca digital contiene datos que pueden ser utilizados en distintas aplicaciones, como iremos mencionando a lo largo de este documento, y consiste en una **secuencia de dígitos binarios**. A primera vista podría parecer que la información que puede ir en la marca está limitada, por el número de bits máximo que ésta pueda contener, pero en ocasiones, el contenido de la marca de agua es la entrada a una base de datos que contenga la información deseada. De esta forma se consigue que la información que se puede introducir sea muy elevada y no se encuentre limitada por la técnica usada o la longitud de la señal a marcar. Para ser más precisos, hay que distinguir entre la marca digital, que es la señal que se introduce en la canción original, y el mensaje oculto o **información que la marca transmite**.

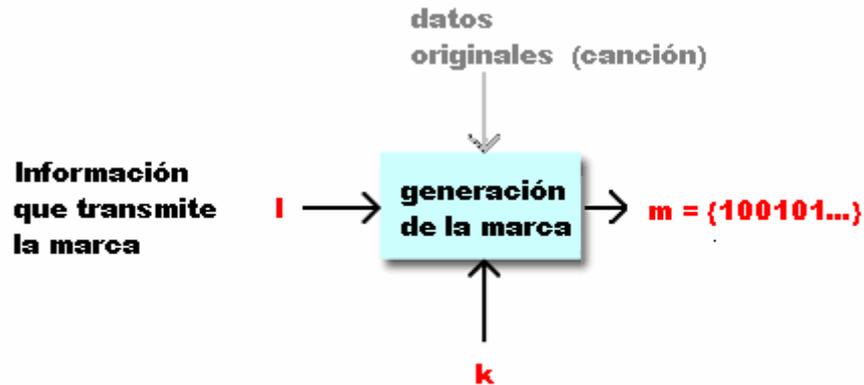


Figura 3: Generación de la marca.

En la Figura 3 podemos ver el esquema de generación de la marca, paso que debemos dar en la parte transmisora para obtener la marca que irá integrada en los datos.

Los datos originales pueden formar parte de la generación de la marca o no. Por otra parte la semilla es imprescindible, ya que será la clave o llave que permitirá distinguir unas marcas de otras.

2.2.2 Procesamiento intermedio

La señal marcada s sufrirá un procesamiento intermedio, desde que es marcada hasta que un receptor se propone extraer dicha marca. Este procesamiento que sufre la señal se considerará a efectos del sistema como un ataque a la misma. Ya que tras él, la señal se ha modificado de alguna manera y esto puede afectar negativamente a la marca que lleva el archivo.

El ataque puede ser:

- **Intencionado:** Aquéllos que intentan modificar o borrar la marca a propósito.
- **No intencionado:** Son modificaciones que sufre el audio. Por ejemplo, que la canción pase por un canal altamente ruidoso (ruido de transmisión), que la canción se comprima a formato MP3, que sufra conversión A/D o D/A etc.

Los algoritmos de marcado deben diseñarse para que la marca digital insertada sea robusta frente a estos ataques, ya sean intencionados o no.

En contraste, existen ciertas aplicaciones en las que conviene que la marca sea frágil ante estos ataques. En estos casos prima saber si la marca que lleva el archivo audio ha sido atacada o no, viendo si ha sufrido alguna variación con respecto a la original.

2.2.3 Detección de la marca

El proceso de detección consiste en **extraer la marca** de agua a partir del archivo audio supuestamente marcado y que ha podido sufrir cualquier tipo de procesamiento intermedio.

El esquema de detección se presenta en la Figura 4:

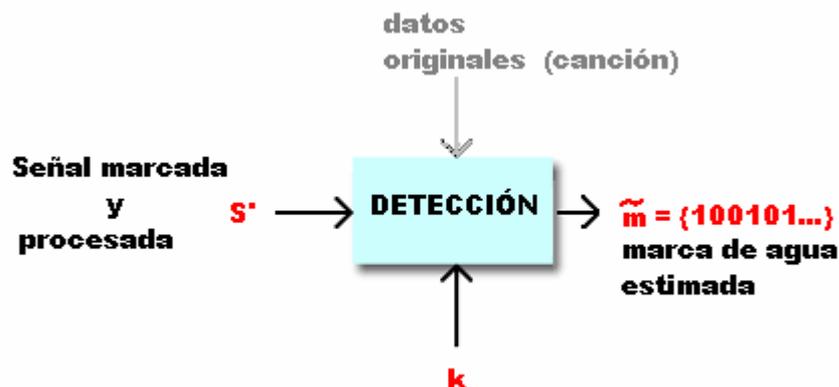


Figura 4: Esquema de detección.

Debemos **distinguir entre la detección de la marca**; proceso en el que se estima si existía marca incrustada en los datos y la **extracción de la misma**, en la que se recuperan los datos que fueron transmitidos.



En el proceso de detección es **necesaria la semilla**, que podrá ser igual a la que se usó en la parte del transmisor o no. Por otro lado, el uso de los datos originales en la detección sí es opcional.



3.3 CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE MARCADO

Una vez visto con detalle cada una de las fases de un sistema de marcado digital de audio, que son, marcado, procesamiento y detección, pasaremos a ver algunas clasificaciones de estos sistemas.

3.3.1 Sistemas de marcado ciegos / no ciegos

Un **sistema de marcado ciego** es aquél en el que el proceso de detección y extracción **no necesita conocer los datos originales** para extraer la marca. Es decir, sólo con la clave y los datos marcados el sistema es capaz de detectar y extraer la marca que se encuentra incrustada.

Por el contrario, **los sistemas no ciegos necesitan los datos originales** en la detección y extracción para poder estimar la marca que se encuentra incrustada.

Los sistemas no ciegos son interesantes desde el punto de vista teórico pero no son útiles en la práctica, ya que requieren el doble de capacidad de almacenamiento y doble ancho de banda de comunicación para la detección de la marca. Por otro lado un esquema de marcado ciego puede detectar y extraer marcas sin usar la señal original, por ello requiere sólo la mitad de ancho de banda y de almacenamiento que los no ciegos. De ahí que sean más útiles para la mayoría de las aplicaciones en las que el receptor no conoce los datos originales. Como desventaja, los esquemas de detección ciegos necesitan mecanismos de autodetección y sincronización.

3.3.2 Sistemas de marcado simétricos / antisimétricos

Un sistema de marcado es simétrico si las claves para la inserción y detección de la marca son las mismas. Cuando estas claves son distintas el sistema se llama asimétrico.

Los sistemas de marcado simétricos son convenientes para el **watermarking privado** (es decir cuando la clave se mantiene en secreto). Por el contrario los sistemas asimétricos son apropiados para el **watermarking público**, donde se usa una clave privada para la inserción y una clave pública para la detección. Al igual que en los sistemas públicos de encriptado, la idea de una función “no invertible” está presente: la clave pública deriva de una clave privada, pero la clave privada no puede ser deducida de una clave pública.



3.3.3 Sistemas de marcado secreto / público

Desde un punto de vista general, la marca de agua establece un link o enlace entre el vector de datos (ristra de bits) y la correspondiente información que transporta. Este enlace puede servir para diferentes propósitos y el hecho de que la marca de agua se mantenga o no en secreto depende enteramente de la aplicación.

Así que los diferentes tipos de marca se clasifican en:

- **Sistemas de marcado secreto:** La información que transporta la marca es secreta. Se usa en aplicaciones relacionadas con la autenticación y en un gran número de mecanismos de integridad. Esto implica que la legibilidad o entendimiento de la marca de agua está asegurada sólo para personal autorizado que tenga el conocimiento del “secreto”.
- **Sistemas de marcado público:** En estos sistemas las marcas actúan como portadoras de información, siendo legibles o entendibles por cualquiera. Estas marcas de agua públicas no deberían ser borrables por parte de una tercera persona. Este requerimiento puede ser relajado si estas marcas sólo actúan de links o enlaces a la verdadera información.

De acuerdo con la intención y el tipo de marca de agua, las técnicas de marcado deberán poseer **ciertas propiedades generales, de seguridad y de transmisión.**



3.4 PROPIEDADES DE LAS MARCAS DE AGUA

Las propiedades que debe tener toda marca digital son:

- **Inaudibilidad**: Deben estar incrustadas en el fichero de música original sin que un oyente intermedio pueda percibirla. Es decir, la técnica usada debe aprovechar las imperfecciones del Sistema Auditivo Humano (en adelante HAS). Para ello se usan modelos psicoacústicos, que explotan todas las características del HAS. El grado de audibilidad depende de la aplicación.
- **Robustez** : La marca de agua no se podrá ver modificada cuando se le realice al archivo marcado una serie de operaciones permitidas como:
 - Codificación.
 - Ruido aditivo (Ruido de transmisión).
 - Conversiones A/D y D/A. (Cambios de soporte).
 - Compresión del archivo (con o sin pérdidas).
- **Resistencia** frente a ataques intencionados:
 - Que intenten eliminar la marca.
 - Que intenten hacer que no se pueda descodificar.
 - Que intenten modificar los datos de la marca.

La primera idea para lograr una marca imperceptible es mantener la *potencia de la marca* muy baja, lo que sería incompatible con el requisito de robustez. Así que **inaudibilidad y robustez son dos requerimientos que están enfrentados**. Esto es un inconveniente que nos encontraremos a la hora de diseñar técnicas de marcado digital, lo que hace que haya que explotar las características de las señales y **adquirir soluciones de compromiso** para ciertas aplicaciones.

Otro aspecto a tener en cuenta sería la *tasa de marcado* del algoritmo en cuestión. La velocidad con la que los datos originales son marcados y la *complejidad* o número de operaciones que un PC realiza durante el marcado también son requisitos a tener en cuenta a la hora de comparar unos algoritmos con otros.



Todos los requerimientos deben ser respetados hasta cierto punto, de acuerdo con la aplicación. En algunas aplicaciones (como en transferencia de audio a baja tasa de bits típicas de Internet) se puede admitir que la marca introduzca un pequeño nivel de degradación de calidad del sonido, mientras que en otras aplicaciones (como audio a alta tasa de bits) se extremaría rigurosamente este asunto.



4. PROPIEDADES DEL SISTEMA AUDITIVO HUMANO

4.1 INTRODUCCIÓN

Las características del nuestro oído son cruciales a la hora de diseñar un algoritmo de marcado. El marcado digital de señales de audio explota las propiedades del Sistema Auditivo Humano para introducir la marca en aquellas zonas en las que el oído es menos sensible.

El ser humano es capaz de detectar únicamente aquellos sonidos que se encuentren dentro de un determinado rango de amplitudes y frecuencias. En este sentido, se puede establecer una analogía entre el aparato auditivo y un sistema electrónico de audio: en base al concepto convencional del rango dinámico.

Se define el rango dinámico del oído como la relación entre **la máxima potencia sonora que éste puede manejar y la mínima potencia necesaria para detectar un sonido**. Asimismo, el rango de frecuencias asignado convencionalmente al sistema auditivo va desde los **20 Hz hasta los 20 kHz**, aún cuando este rango puede variar de un sujeto a otro o disminuir en función de la edad del sujeto, de trastornos auditivos o de una pérdida de sensibilidad debida a la exposición a sonidos de elevada intensidad.

Ahora bien, la sensibilidad del sistema auditivo no es independiente de la frecuencia; por el contrario, dos sonidos de igual presión sonora pueden provocar distintas sensaciones de intensidad o sonoridad, dependiendo de su contenido espectral.

Estos tres parámetros del oído (rango dinámico, respuesta en frecuencia y sensibilidad en función de la frecuencia) se resumen en la Figura 5, que ilustra el área de audición.

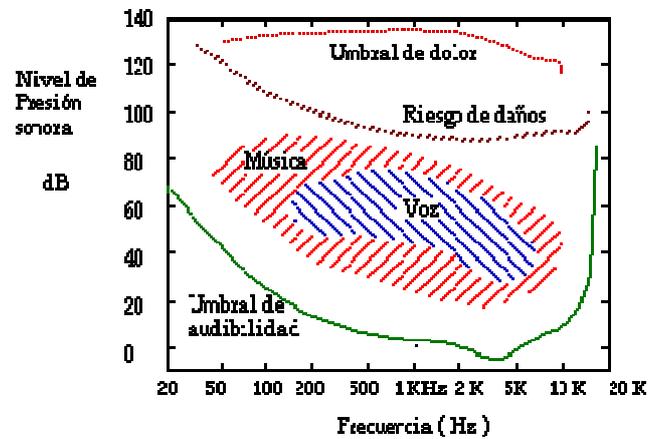


Figura 5: Área de audición del HAS

Dos propiedades fundamentales del oído humano que hay que tener en cuenta son el enmascaramiento en frecuencia y en tiempo. La idea es aprovechar debilidades del HAS, al igual que se hace en los algoritmos de compresión, para introducir la marca en estos puntos.



4.2 EL SISTEMA AUDITIVO HUMANO

La audición es el resultado de una serie de procesos acústicos, mecánicos, nerviosos y mentales dentro de la combinación oído/cerebro que dan a una persona la impresión del sonido. La impresión que un humano recibe no es idéntica a la forma de onda acústica verdadera presente en el canal auditivo porque parte de la entropía de la onda se pierde.

La agudeza del oído humano es asombrosa, ya que puede detectar cantidades minúsculas de distorsión y aceptar un enorme rango dinámico. El único criterio de calidad de que se dispone consiste en el hecho de que si el oído es incapaz de detectar distorsión alguna, se dice que el sonido es perfecto. Por tanto, el **criterio de calidad es completamente subjetivo** y sólo se puede comprobar mediante pruebas de audición.

Estructura física del oído:

El oído se divide en tres zonas; oído externo, oído medio y oído interno, de acuerdo a su ubicación en el cráneo. El oído externo es la parte del aparato auditivo que se encuentra en posición lateral al tímpano. Comprende el pabellón auditivo externo y el conducto auditivo externo, que mide tres centímetros de longitud.

En la siguiente Figura 6 se muestra un esquema de la anatomía del oído humano, pudiendo distinguirse:

- **Oído medio:** Se encuentra situado en la cavidad timpánica, cuya cara externa está formada por el tímpano, que lo separa del oído externo. Incluye el mecanismo responsable de la conducción de las ondas sonoras hacia el oído medio y actúa como un transformador **adaptador de impedancias** que mejora la transferencia de potencia.
- **Oído interno;** Se encuentra en el interior del hueso temporal que contiene los órganos encargados del equilibrio. Está separado del oído medio por la ventana oval. El oído interno consiste en una serie de canales membranosos alojados en una parte densa del hueso temporal y está dividido en: cóclea, vestíbulo y tres canales semicirculares (Figura 7). Estos tres canales se comunican entre sí y contienen un fluido gelatinoso denominado *endolinfa*.

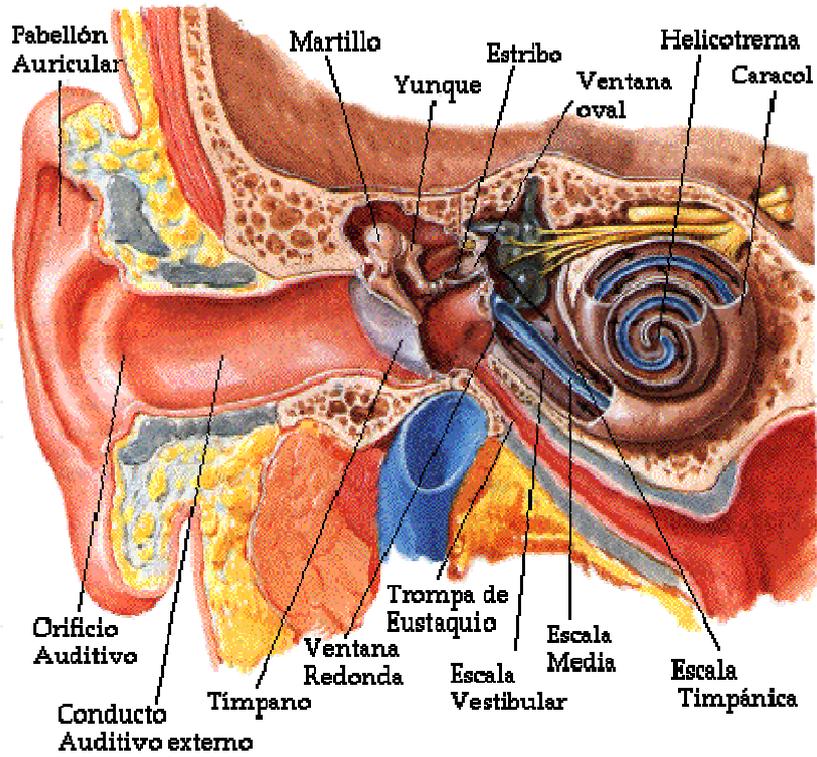


Figura 6: Anatomía del oído humano.

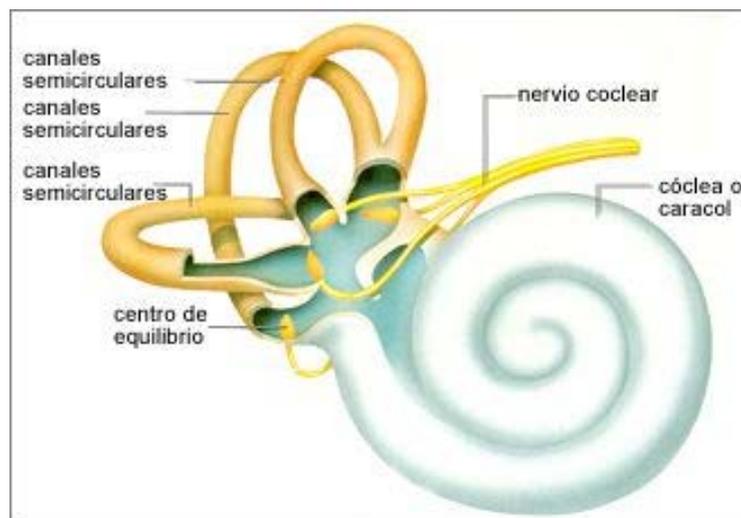


Figura 7: Estructura del oído interno.

Los sonidos, formados por oscilaciones de las moléculas del aire, son conducidos a través del conducto auditivo hasta el tímpano. Los cambios de presión en la pared externa de la membrana timpánica, asociados a la señal sonora, hacen que dicha membrana vibre siguiendo las oscilaciones de dicha señal.

Las vibraciones del tímpano se transmiten a lo largo de la **cadena de huesecillos**, la cuál opera como un **sistema de palancas** de forma tal que la base del estribo vibra en la **ventana oval** (Figura 8). Este huesecillo se encuentra en contacto con uno de los fluidos contenidos en el oído interno; por lo tanto, el tímpano y la cadena de huesecillos actúan como un mecanismo para transformar las vibraciones del aire en vibraciones del fluido.

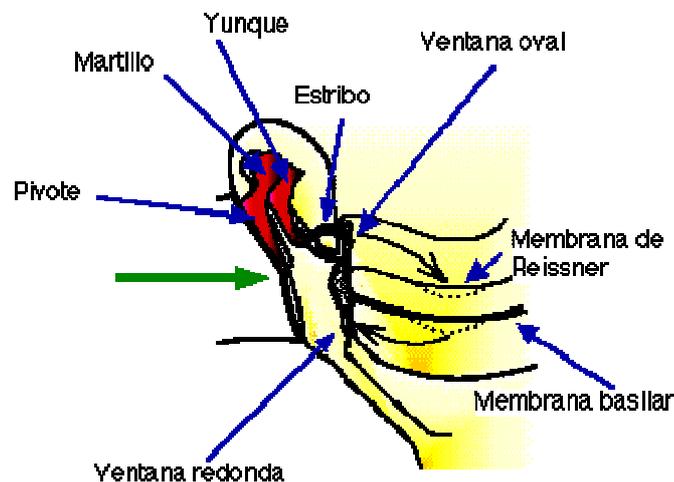


Figura 8: Propagación del sonido a través del oído interno y medio.

Ahora bien, para lograr que la transferencia de potencia del aire al fluido sea máxima, debe efectuarse un **acoplamiento entre la impedancia mecánica característica del aire y la del fluido**, puesto que esta última es mucho mayor que la primera.

Un equivalente mecánico de un transformador (el acoplador de impedancias eléctricas) es, precisamente, una palanca; por ende, **la cadena de huesecillos actúa como acoplador de impedancias**. Además, la relación entre las superficies del tímpano y de la base del estribo (en la ventana oval) introduce un efecto de acoplamiento adicional, lográndose una transformación de impedancias del orden de 1:20, con lo cual se minimizan las pérdidas por reflexión.

El máximo acoplamiento se obtiene en el rango de frecuencias medias, en torno a 1 kHz . En la Figura 9 se representa en forma esquemática la transmisión del sonido del oído externo al interno, a través del oído medio.

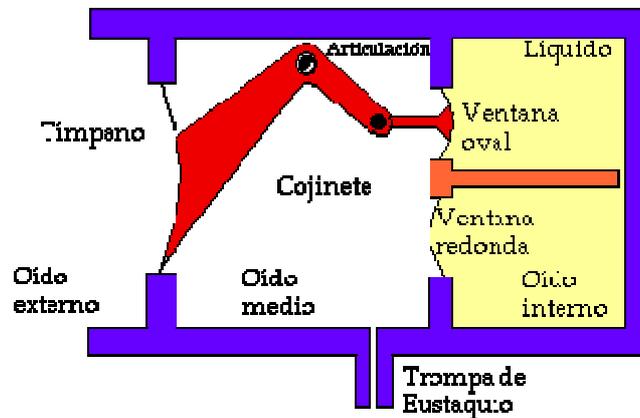


Figura 9: Esquema de la propagación del sonido a través del oído medio.

Respuesta en frecuencia combinada del oído externo y el oído medio

El conjunto formado por el oído externo y el oído medio forman un sistema cuya respuesta en frecuencia es de tipo pasa bajo, como se muestra en la Figura 10. En el intervalo cercano a los 4 kHz se observa un pequeño efecto de ganancia, debido a las características del conducto auditivo.

Esta respuesta sólo es válida cuando el sistema se comporta de modo lineal; es decir, cuando la intensidad del sonido no es muy elevada, para evitar que actúe el reflejo timpánico.

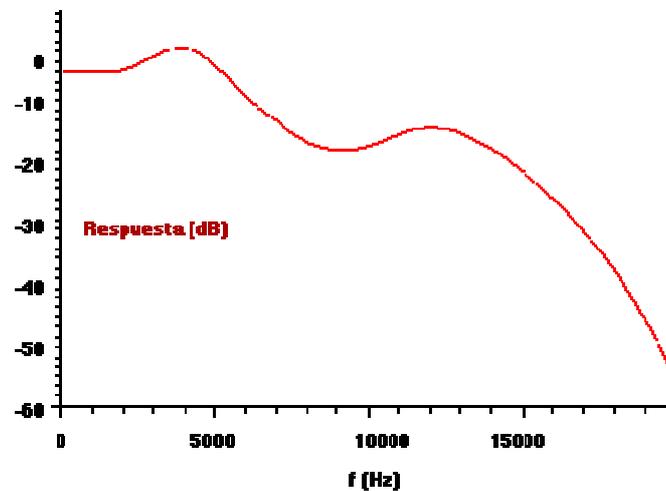


Figura 10: Respuesta en frecuencia combinada del oído externo y el oído medio

Resumen del proceso de audición:

Los sonidos penetran en el oído a través de la oreja y chocan con el tímpano haciéndolo vibrar. Esta vibración es recibida por los tres huesecillos articulados en cadena y controlados por dos pequeños pero poderosos músculos. El final de la cadena lo constituye el estribo que está alojado en un nicho llamado ventana oval que es el lugar por donde ingresa el sonido (oído interno) al caracol. Los movimientos del estribo producen desplazamientos del líquido en el oído interno que estimulan las terminaciones nerviosas o células ciliadas, lugar donde realmente comienza el proceso auditivo. Las células nerviosas estimuladas, envían la señal por el nervio auditivo hasta los centros del cerebro, donde el estímulo eléctrico es procesado.

4.3 EL OÍDO COMO ANALIZADOR DE FRECUENCIAS

Como se ve en la Figura 11, la membrana basilar se estira por la cóclea. Esta membrana varía en masa y rigidez a lo largo de su longitud. En el extremo más próximo a la ventana oval y al tímpano, la membrana es rígida y ligera, así que su frecuencia de resonancia es alta. En el extremo distante, próximo al ápice, la membrana es pesada y suave, y resuena a baja frecuencia. El rango de frecuencias de resonancia disponible determina el rango de frecuencias de la audición humana, que va desde los 20 Hz hasta los 20kHz.

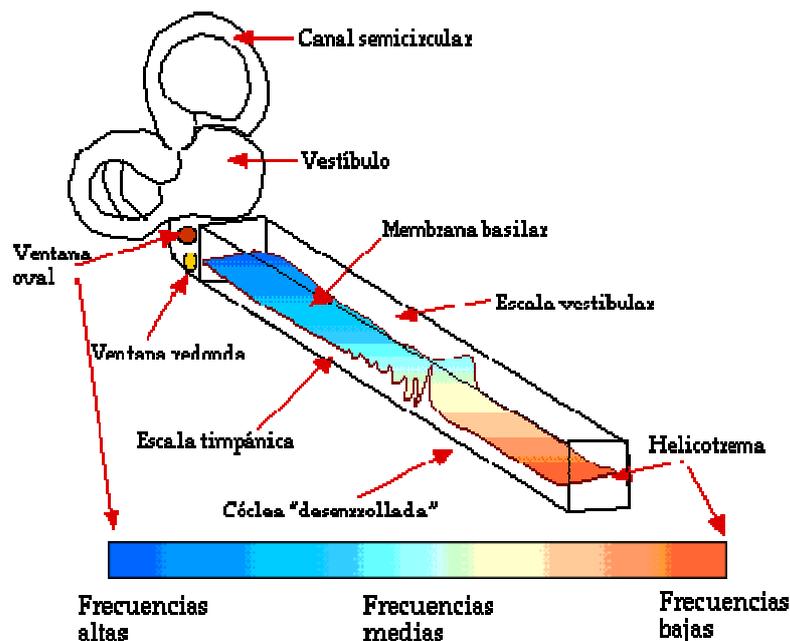


Figura 11: Membrana basilar estirada.

Frecuencias diferentes en la entrada del sonido causan que diferentes áreas de la membrana basilar vibren. Cada área tiene diferentes terminaciones nerviosas para permitir discriminar el tono. La membrana basilar además tiene músculos diminutos controlados por los nervios que juntos actúan como una especie de sistema de retroalimentación positiva que mejora el factor de calidad de resonancia Q . El comportamiento resonante de la membrana basilar es igual al comportamiento de un analizador de espectros; la parte de dicha membrana que resuena como resultado de la aplicación de un sonido es una función de la frecuencia.

El oído analiza con unas bandas de frecuencia conocidas como **bandas críticas**. Los anchos de bandas críticas dependen de la frecuencia (Figura 12). Por debajo de los 500Hz, el ancho de banda crítico es aproximadamente constante (alrededor de los 100 Hz), mientras que por encima de los 500 Hz crece en proporción a la frecuencia: el ancho de banda crítico centrada en una frecuencia superior a 500 Hz es alrededor del 20% de la frecuencia central

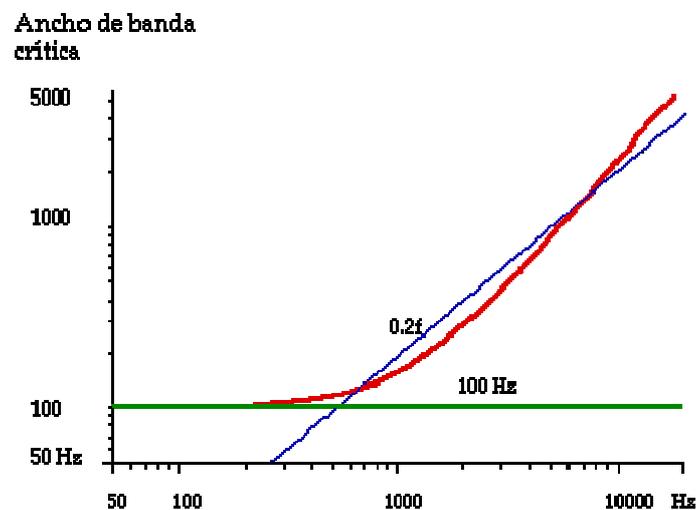


Figura 12: Ancho de las bandas críticas en función de la frecuencia.

Basándonos en los valores obtenidos mediante la Figura 12, es posible subdividir el rango de frecuencias audibles en intervalos adyacentes de una banda crítica de modo que no se solapan entre sí. Esta subdivisión se presenta en la Figura 13; en el rango audible de 20Hz a 20 kHz se encuentran 25 bandas críticas adyacentes, numeradas en forma consecutiva en la figura.

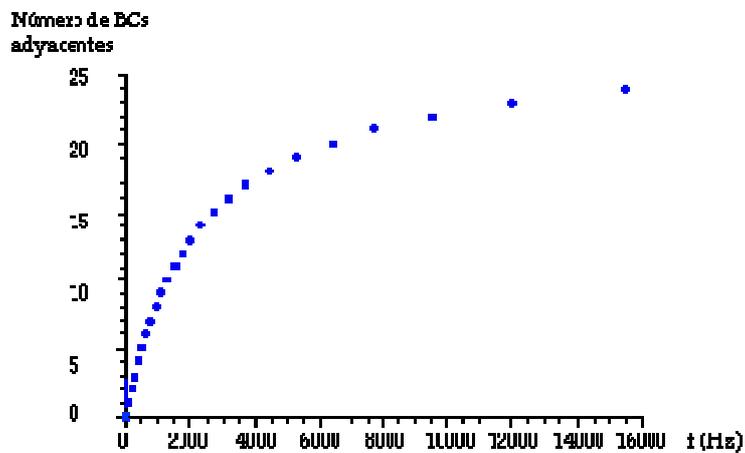


Figura 13: Bandas críticas adyacentes en el rango de las frecuencias audible.

A continuación se muestran los valores que definen las primeras 24 bandas críticas, las cuales se han convertido en un estándar “de facto” para describir la distribución de las bandas críticas en función de la frecuencia.

Nº de banda crítica	Frecuencia central (Hz)	Frecuencia superior (Hz)	Ancho de la banda crítica (Hz)
1	50	100	100
2	150	200	100
3	250	300	100
4	350	400	100
5	450	510	110
6	570	630	120
7	700	770	140
8	840	920	150
9	1000	1080	160
10	1170	1270	190
11	1370	1480	210
12	1600	1720	240
13	1850	2000	280
14	2150	2320	320
15	2500	2700	380
16	2900	3150	450
17	3400	3700	550
18	4000	4400	700
19	4800	5300	900
20	5800	6400	1100



Nº de banda crítica	Frecuencia central (Hz)	Frecuencia superior (Hz)	Ancho de la banda crítica (Hz)
21	7000	7700	1300
22	8500	9500	1800
23	10500	12000	2500
24	13500	15500	3500

Cuadro 1: Distribución de las bandas críticas en función de la frecuencia.

El oído es incapaz de registrar energía en algunas bandas cuando existe más energía en otra banda cercana. La vibración de la membrana en sintonía con una sola frecuencia no puede ser localizada en una zona infinitamente pequeña, por lo que las zonas cercanas se ven obligadas a vibrar a la misma frecuencia con una amplitud que decrece con la distancia. Otras frecuencias son excluidas a menos que la amplitud sea lo bastante alta como para dominar la vibración local de la membrana.



4.4 EFECTO DEL ENMASCARAMIENTO

Se define el **campo auditivo** como el umbral de audibilidad, para el que un tono puro de una frecuencia dada, a la mínima presión sonora eficaz que puede ser oída, en ausencia de todo ruido de fondo. El umbral auditivo representa la presión sonora mínima que produce la sensación de audición.

En el campo auditivo el rango de frecuencia audible va desde los **20Hz a los 16kHz** (en la práctica), pero el oído no es igualmente sensible a todas estas frecuencias. Las más audibles son las ubicadas en el medio del espectro, aproximadamente entre **1kHz y 5 kHz**.

El oído es menos sensible para frecuencias bajas y altas. Esta característica de menor agudeza para los tonos graves favorece el enmascaramiento de los sonidos que produce el cuerpo humano.

Se denomina enmascaramiento a la **reducción total o parcial de la sensibilidad de un oyente para percibir un determinado sonido, provocado por la presencia simultánea de otro**. Cuando un sonido hace que otro sea menos audible, porque ambos se producen al mismo tiempo, se dice que se produjo un fenómeno de enmascaramiento. El sonido cuyo umbral de audibilidad se ha modificado se denomina sonido enmascarado y al otro, sonido “que enmascara”o “enmascarador”.

La interacción entre dos estímulos presentados al mismo tiempo depende en gran medida de las características de los sonidos. Existen algunos lineamientos que rigen el enmascaramiento:

- Un sonido posee mayor poder para enmascarar, si se intenta enmascarar con otro que tenga una frecuencia parecida. En cambio, resulta muy difícil de enmascarar con otro de frecuencia diferente, alejada en el espectro. El enmascaramiento podrá realizarse, pero el nivel de precisión sonora necesario tendrá que ser más importante que el primer caso.
- Un sonido de determinada frecuencia tiene más poder para enmascarar sobre otro de frecuencia más aguda, que sobre otro de frecuencia más grave. Por lo tanto, si se está buscando el efecto de enmascaramiento, es más fácil lograrlo si el sonido que enmascara es de frecuencia más grave que el enmascarado.

Podemos dividir el enmascaramiento sonoro entre **enmascaramiento temporal** y **enmascaramiento frecuencial**.

4.4.1 Enmascaramiento temporal

El **enmascaramiento temporal** sucede cuando dos estímulos sonoros llegan a nuestro oído de forma cercana en el tiempo. El estímulo *enmascarante* hará que el otro, el *enmascarado*, reste inaudible. En esta situación, el tono más intenso tiende a enmascarar al tono más débil. Según en el instante de tiempo en que se produce el estímulo enmascarante respecto al instante en el que se produce el enmascarado, podremos distinguir entre *Post-enmascaramiento* y *Pre-enmascaramiento*:

- **Post-enmascaramiento:** Llega primero el tono de mayor amplitud que el de menor quedando de esta forma enmascarado.
- **Pre-enmascaramiento:** llega primero el tono de menor amplitud quedando igualmente enmascarado por el de mayor.

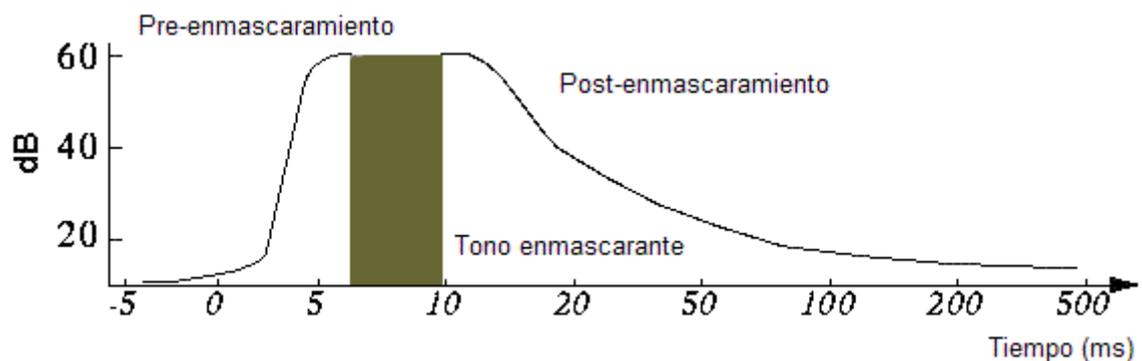


Figura 14: Enmascaramiento temporal

Cabe decir también que no se debe confundir el *enmascaramiento temporal* con el *reflejo acústico del oído*, una respuesta involuntaria e inherente del oído medio para autoprotgerse de los sonidos fuertes o de alto nivel de presión sonora (SPL).



4.4.2 Enmascaramiento frecuencial

El enmascaramiento frecuencial es la **disminución de la sonoridad de un tono a una cierta frecuencia, en presencia de otro tono simultáneo a una frecuencia diferente**. Es a decir, cuando el oído es expuesto a dos o más sonidos de diversas frecuencias, existe la posibilidad que uno de ellos camufle a los demás y por tanto, que éstos no se oigan.

A continuación se representa la amplitud relativa del desplazamiento de la membrana basilar en función de la distancia a la ventana oval para diferentes combinaciones de tonos puros:

- **Frecuencias diferentes con la misma amplitud:** En el caso de tener dos tonos en la misma presión sonora se puede comprobar como el tono grave enmascara mucho más al tono agudo que no al revés. El enmascaramiento no es simétrico respecto la frecuencia.
- **Baja frecuencia enmascara a alta frecuencia:** En el caso que el tono grave tenga más nivel de amplitud, aún se hará más claro el enmascaramiento de agudos. En este caso el tono agudo es totalmente enmascarado por el grave.
- **Alta frecuencia no enmascara a baja frecuencia:** En esta combinación, pese a aumentar la amplitud del tono agudo respecto al grave, el agudo casi no afecta al grave, por tanto el enmascaramiento del tono grave es mínimo.

La cantidad de enmascaramiento se define como el incremento de nivel de la señal enmascarada necesario para poder oírla nuevamente en presencia de la señal enmascarante. Esta cantidad depende, en el caso de varios tonos, directamente de las frecuencias asociadas y del nivel del tono enmascarante.

Es importante establecer una **relación entre el efecto de enmascaramiento y el concepto de bandas crítica**. Si bien hasta ahora hemos descrito el fenómeno de enmascaramiento entre dos tonos puros, a continuación lo analizaremos des del punto de vista de excitación de bandas críticas, considerando afirmaciones que gozan de una aceptación universal fruto del trabajo de muchos investigadores.

1. Un **ruido de banda estrecha provoca más enmascaramiento** que un tono puro de la misma intensidad y de frecuencia igual a la frecuencia central del ruido.
2. A medida que el nivel de ruido enmascarante aumenta, también lo hace la banda de frecuencias sobre la cual ejerce efecto el enmascarador.



3. Las **frecuencias superiores a la frecuencia central del ruido enmascarante son enmascaradas más fácilmente que les inferiores.**

4.4.3 Umbral de enmascaramiento

En psicoacústica, el **umbral o nivel de enmascaramiento** es el nivel de presión sonora (SPL) de un sonido de prueba necesario para que éste sea apenas audible en presencia de una señal enmascarante. Este nivel depende también en gran medida de la frecuencia y de las características del enmascarado y del enmascarador. El efecto aparece normalmente **entre tonos muy cercanos en frecuencia**. Que no sea audible implica ciertas ventajas en el mundo de las transmisiones. En cuanto a codificación de audio, por ejemplo, implica la posibilidad de pasar por alto dicho tono consiguiendo así una mejor compresión ó, en su alternativa, la codificación con menos peso, es decir, menos bits y por consiguiente reducir el tamaño del fichero resultante.

Habitualmente no se trabaja con un solo tono sino con varios de forma simultánea. Así que para una sola frecuencia se tienen más de una posible señal enmascaradora. Para estas situaciones se calcula el que se conoce como **umbral de enmascaramiento global**. Éste se cuantifica en base a un espectro de alta resolución de la señal (habitualmente de audio) a partir de una Transformada rápida de Fourier (FFT) de 512 ó 1024 puntos. En primera instancia se calculan los umbrales individuales teniendo en cuenta el nivel de señal, el tipo de enmascarador (ya sea señal ó ruido) y la banda de frecuencias (hay frecuencias inaudibles para el oído humano). Posteriormente se suman todos los umbrales añadiéndose el umbral de tranquilidad, de esta forma se asegura que el umbral de enmascaramiento total no estará nunca por debajo de este último. Finalmente se puede calcular el **SMR** (*Signal to Mask Ratio*). La anterior operación es la que se lleva a cabo en codificación de audio.

En la Figura 15 se muestra el caso de tener un tono a 1kHz.

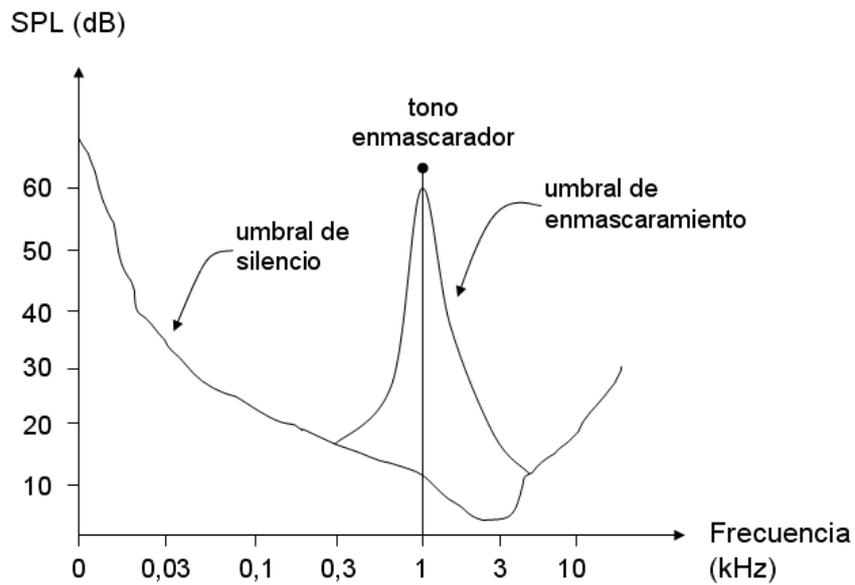


Figura 15: Enmascaramiento frecuencial

Se puede observar el umbral de tranquilidad o silencio debajo del cuál ningún sonido es perceptible. Ahora bien, al sobreponer el tono este nivel varia alrededor de la frecuencia central del enmascarador haciendo más difícil oír las posibles frecuencias cercanas a éste.

5. APLICACIONES

Todos los requerimientos mencionados 2; *inaudibilidad*, *robustez* y *resistencia* deben ser respetados hasta cierto punto, de acuerdo con la aplicación.

Se muestra en la Figura 16 un resumen de las aplicaciones más importantes en las que se están usando sistemas de marcado digital en la actualidad⁴.

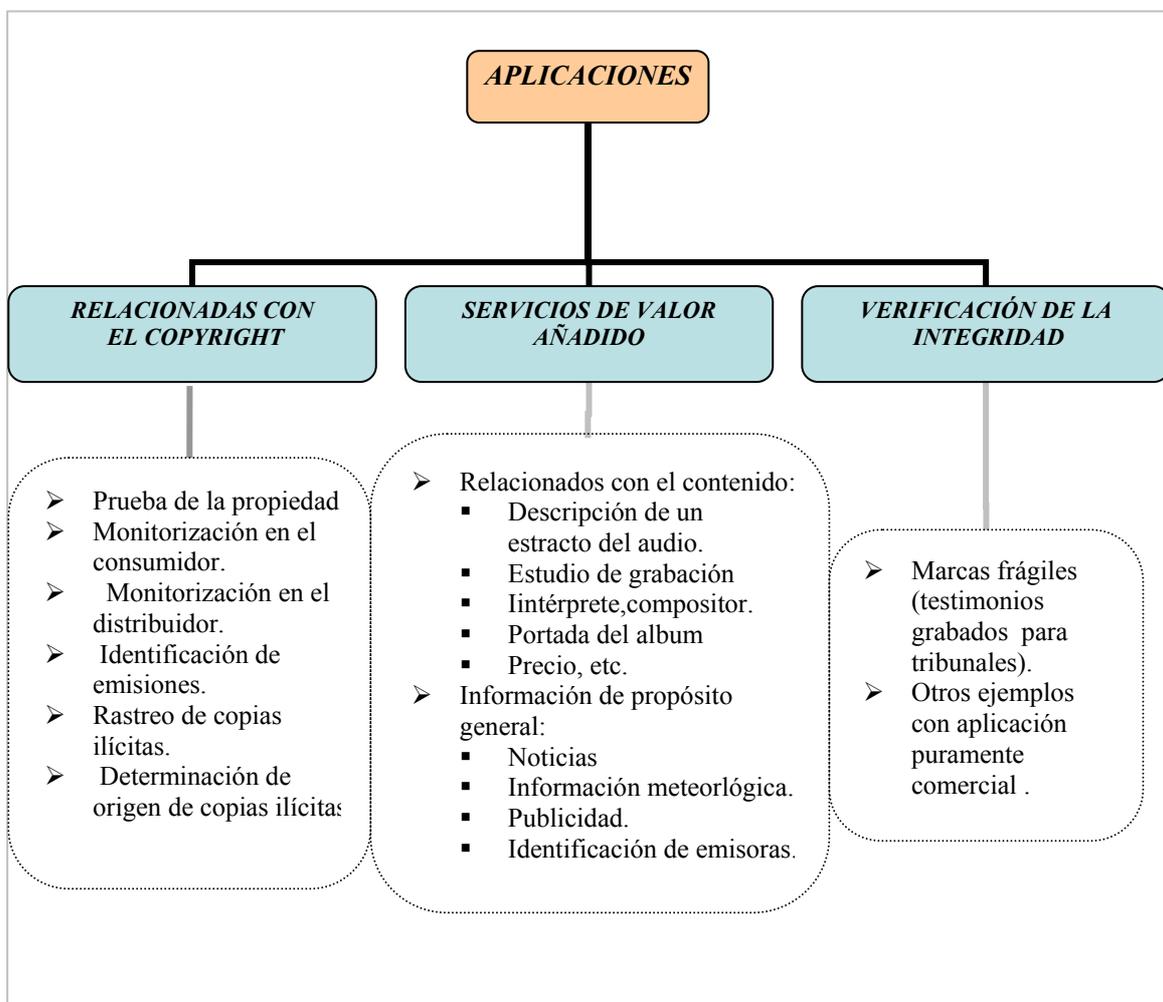


Figura 16: Resumen de las aplicaciones del audio watermarking.

Pasamos a explicar con más detalle en qué consiste cada una de las aplicaciones expuestas en el cuadro anterior.

⁴ Para más información sobre las aplicaciones aquí mencionadas ver referencia [20] en Anexo I.



5.1 APLICACIONES RELACIONADAS CON EL COPYRIGHT

Las aplicaciones relacionadas con los Derechos de Autor fueron las que **en primer lugar motivaron el desarrollo del watermarking para audio**, y es también una aplicación de gran importancia en sistemas de huellas digitales (fingerprinting)⁵. Discutiremos aquí cómo esta tecnología puede ser usada para prevenir y confrontar la piratería.

Podemos dividir este conjunto aplicaciones a su vez en varias categorías todas ellas relacionadas con la protección de los Derechos de Autor o Copyright, a saber:

- Aplicaciones relacionadas con la **prueba de la propiedad**.
- **Monitorización en el consumidor final**.
- **Monitorización en la distribución**.
- Identificación de **emisión** de archivos.
- **Rastreo** de copias ilícitas.
- Determinación de **origen** de copias ilícitas.

5.1.1 Prueba de la propiedad

Los creadores de contenidos digitales son conscientes de la posibilidad de que otra gente puede apropiarse de su trabajo. Imaginémonos el siguiente escenario: (1) Un artista A graba una canción y la hace disponible desde su sitio Web; (2) Otro artista B obtiene una copia de esta canción y la pone en venta como suya (posibilidad de beneficio económico); (3) El artista A demanda al B pero es incapaz de probar que es el legítimo autor de la canción. Esta situación es más probable que ocurra cuando el creador del contenido digital no es muy conocido por el público: nadie tendría dudas acerca de la propiedad de una canción publicada por un gran artista pop, mientras que un artista menos conocido podría tener problemas para probar que él es el verdadero autor de la canción si alguien consigue apropiarse de ella.

⁵ Fingerprinting (huellas digitales) : Es un caso particular de watermarking y consiste en insertar una serie de bits imperceptible sobre un soporte electrónico que identifique a una persona de manera única e inconfundible, es decir, la marca de agua sería en este caso como una “firma digital” que certificaría la autenticidad de las personas.



Esta situación se puede resolver introduciendo un “Tercer grupo de confianza” (Trusted Third Party o TTP), que actúa como depósito del contenido audio. Es decir, es una entidad, normalmente un organismo gubernamental que facilita la interacción entre las dos partes con seguridad. Los TTPs son típicos en protocolos de criptografía, como por ejemplo certificados de autoridad (CA’s). Esta situación se usa, de hecho en muchos países desde hace tiempo. Antes de publicar un nuevo trabajo, el artista lo registra con un TTP que guarda una copia del trabajo. El artista está ahora en posición de demandar a otro que intente apropiarse de su trabajo sin permiso.

Se usaría una única clave secreta, la firma del propietario, para generar la marca de agua que se introducirá en la señal audio. La firma del autor es registrada con un TTP. La presencia de la marca de agua debe ser aceptada por un tribunal como prueba de la propiedad. Este procedimiento evita la necesidad de transferir los contenidos audio en sí mismos a las bases de datos de los TTP.

También pueden usarse huellas digitales (fingerprinting) para probar la propiedad legítima. En vez de registrar la pieza completa de música con un TTP, sólo se registrará su huella digital, y esa huella debe ser aceptada por un tribunal como prueba de la propiedad. La ventaja de este enfoque en comparación con el tradicional es la facilidad de verificación cuando una pieza específica de música está presente en la base de datos del TTP.

5.1.2 Monitorización en el consumidor final

En la *política de uso* de las aplicaciones de monitorización, el objetivo es evitar el mal uso de las señales de audio por el consumidor. **La marca de agua contiene información que dicta el comportamiento de dispositivos obedientes⁶** (como los reproductores y grabadores de CD, reproductores MP3 e incluso ordenadores) de acuerdo con la política de uso. Como el típico usuario final no posee las habilidades necesarias para borrar la marca de agua, tal sistema debe prevenir la piratería casera (“*keep honest people honest*”). En contraste, los piratas profesionales probablemente serían capaces de vencer este sistema de protección, aunque el coste de hacerlo podría volver a la piratería una actividad menos atractiva.

⁶ Estos dispositivos obedientes que chequean en busca de marcas de agua son aquellos que obedecen a sistemas “DRM” (Digital Rights Management). Estos sistemas se verán más adelante en el puento que estudia el Estado Del Arte de los sistemas de marcado.



5.1.3 Monitorización en el distribuidor final : Sistemas de compartición de archivos

En la actualidad nos encontramos con un gran número de programas de compartición de archivos a través de Internet u otras redes más pequeñas como **emule**, **BigTorrent** o **Lphant** cada vez con mayor número de usuarios⁷ que han proporcionado excelentes canales para la piratería musical.

La **compartición de archivos** es la práctica de hacer que los archivos estén disponibles en Internet o en redes más pequeñas. Esta práctica ha crecido en popularidad **debido a la proliferación de las conexiones de banda ancha en Internet**, el pequeño tamaño de los archivos y la alta calidad del formato MP3. Normalmente siguen el **modelo Peer-to-Peer** donde los archivos son almacenados en los PCs de los usuarios.

Aunque la compartición de archivos es una **tecnología legal con usos legales**⁸, muchos usuarios la usan para descargarse o subir archivos con Copyright sin permiso, que puede suponer una infracción de los Derechos de Autor si se hace sin autorización y para propósitos impropios. Esto ha llevado a los defensores de los Derechos de Autor a estar en contra de estos sistemas de compartición de archivos.

La actuación legal sobre estos sistemas de distribución de archivos ha sido siempre un punto con **mucha polémica**. Existen problemas sobre todo cuando los que comparten estos archivos están en países con diferentes códigos legales⁹.

A lo largo de los primeros años del siglo XXI, la comunidad de Compartición de archivos ha estado en un estado de flujo. En el año 2000, existían especulaciones sobre cómo compañías discográficas y la *Asociación de Industrias discográficas de América* atacaban a la comunidad de compartición de archivos a causa de sus limitaciones comparada con los medios tradicionales.

⁷ En Abril de 2006 aproximadamente 10.3 millones de usuarios de acuerdo con www.slyck.com

⁸ Ver Ley de Propiedad Intelectual (LPI de 8 de Julio de 2006). Se verá la legalidad de la compartición de archivos en el Estado Del Arte del Mercado digital de señales.

⁹ Por ejemplo, en algunos países en los que el cánon de discos vírgenes es obligado se ha producido la correspondiente legalización del acto de “robo”. En concreto, en Canadá es legal copiar música protegida con Copyright “para uso propio”, aunque la copia se haga del disco original de otra persona.



5.1.4 Identificación de emisión de audio

En muchos países **las estaciones de radio (tanto tradicionales como online) deben pagar por la música que emiten** . Los poseedores de los Derechos necesitarán monitorizar las transmisiones de radio para verificar si los Derechos de Autor están siendo debidamente pagados. Incluso en países donde las emisoras de radio pueden emitir música libremente, los autores están interesados en monitorizar las transmisiones radios para propósitos estadísticos.

5.1.5 Rastreo de copias ilícitas.

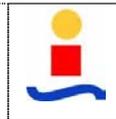
El uso no autorizado de material con copyright (textos, imágenes, vídeos y música) ha sido práctica común en el mundo Web desde sus comienzos.

Los sistemas de marcado digital se pueden usar en sistemas de rastreo de archivos audio. Consiste en **marcar las grabaciones para ser protegidas antes de su distribución**. Un *Web crawler*¹⁰ buscará entonces en la Web y comprobará la presencia de una marca digital en cada archivo audio que encuentre. Si se encuentra una grabación marcada, el sistema lo notificará a los poseedores de los derechos , que contactarán con el trasgresor después de confirmar manualmente la infracción. El sistema puede enviar automáticamente noticias al trasgresor (sin confirmación manual), pero en este caso la probabilidad de falso positivo debe ser muy baja. Una solución intermedia también es posible: el sistema pide una confirmación manual sólo cuando la marca digital detectada tenga baja fiabilidad (esto es, una marca digital débil que pueda constituir un falso positivo).

5.1.6 Determinación del origen de copias ilícitas

Cuando se encuentra una copia ilícita de una grabación en un sitio Web, el poseedor de los Derechos podría procesar al propietario de sitio Web. Pero puede que éste sea sólo el

¹⁰ Un “web crawler” es un programa que visita sitios webs leyendo sus páginas y otras informaciones para crear entradas al índice de un motor de búsqueda. Los crawler típicamente se programan para visitar sitios que han sido sometidos por sus propietarios como “nuevos” o “actualizados”



último eslabón en la cadena de la piratería: si pudiéramos avanzar hacia el principio de la cadena , podríamos alcanzar una copia original legal de la grabación. Esta copia original fue legalmente comprada por un distribuidor autorizado pero se usó de forma que infringió la política de uso definida por el poseedor de los derechos.

Si cada copia legal de una grabación es marcada digitalmente con diferente información , como un número de serie único, es posible determinar a partir de qué copia legal se ha hecho una ilegal. Cuando la música se distribuye on-line, este tipo de marcas de agua se integran generalmente en el flujo de bits en dominio temporal debido a restricciones en tiempo real. Si el distribuidor guarda en un archivo las identidades de sus clientes y todos los números de serie de todas las grabaciones compradas, el individuo del principio de la cadena de piratería puede ser identificado y perseguido. Este tipo de sistema de protección está particularmente bien implantado en Webs dedicadas a la distribución de música. Cuando el usuario se descarga una grabación, ésta es marcada en tiempo real y se registra la operación en el archivo del distribuidor.

Este tipo de sistema de protección desanimaría seriamente a los piratas no profesionales (de nuevo, “ *keep honest people honest* ”). Sin embargo, **los piratas profesionales pueden prevenir la detección de la marca de agua promediando varias copias legales de la misma grabación, lo que se llama “ataque de confabulación”** . Como la marca digital es única en cada copia legal, este ataque tendería a recuperar la grabación original no marcada, o al menos debilitaría las marcas digitales individuales, posiblemente hasta el punto de volverlas indetectables.

Aunque la mayor parte de los esquemas dicen ser “imborrables” , todos los esquemas existentes son fácilmente vencidos por ataques que consisten en promediados¹¹. Se asume que el atacador obtiene dos copias del documento marcado digitalmente. Cada copia puede tener una marca diferente, y se supone que ninguna de ellas es borrrable. El falsificador ahora hace una tercera versión del documento promediando las otras dos copias. Usando los enfoques del sistema de marcado , la tercera copia del documento producido será como las versiones originales pero la marca se habrá destruido. Esto es porque **la media o promedio de dos marcas de agua no lleva suficiente información como para vincularse a una marca digital individualmente**. Así que, el esquema de marcado puede volverse inefectivo simplemente promediando dos copias de un documento.

Una solución al promediado sería **que cada uno de los juegos de copias del trabajo tenga una marca digital ligeramente modificada con respecto a una de “referencia”, cuya clave será guardada en secreto y que estará localizada en una región crítica del dato**. Sin embargo, las ligeras variaciones en las marcas digitales no son perceptibles. Si varias personas (cada una de ellas con una copia original) conspiran para intentar crear

¹¹ Ver la polémica que existió en Octubre del año 2000 con el Desafío SDMI, que retó a todos los hackers a borrar las marcas de agua incluidas en sus sistemas a cambio de dinero. Parece ser que hubo más de uno que las pudo borrar, aunque los miembros de SDMI nunca dieron la confirmación oficial.



una copia “ilícita” (es decir, una copia sin marca digital), al menos una de las variaciones de la marca estará presente en la copia.

5.2 SERVICIOS DE VALOR AÑADIDO

Las aplicaciones de los sistemas de marcado de audio relacionadas con el Copyright requieren un cierto grado de robustez ante ataques intencionados, lo que añade considerablemente complejidad al sistema. Sin embargo, **para el transporte de información no relacionada con el Copyright, los ataques malintencionados no son un problema ya que información sólo añade valor a la señal.** La marca de agua debería ser entonces robusta frente a operaciones lícitas, que dependerán de la aplicación, (como por ejemplo, filtrado, compresión, conversión D/A–A/D, transmisión radioeléctrica).

5.2.1 Servicios relacionados con el contenido

La información de contenido se define como un extracto del audio que es relevante o necesario para la aplicación pretendida. Dependiendo de la aplicación y del perfil del usuario se pueden definir varios niveles de información de contenido.

Exponemos algunas de las situaciones que se pueden presentar:

- Información de contenido que **describe un extracto de audio:** rítmico, melódico o harmónico.
- Metadatos¹² que describen un trabajo musical, como se compuso y como se grabó. Por ejemplo , **el compositor, el año de composición, intérprete o el estudio de grabación.**
- Otra información referente al trabajo musical, como la **portada del álbum, precio del álbum o la biografía del artista.**

¹² Un “metadato” son datos que definen otros datos . En general un grupo de metadatos se refiere a un grupo de datos llamada “recurso”.



5.2.2 Transporte de información de propósito general

Los sistemas de marcado también pueden ser empleados como medios para transmitir otro tipo de información , no necesariamente relacionada con el contenido del audio. Las estaciones de radio , por ejemplo, pueden marcar digitalmente su audio justo antes de la transmisión, integrando texto en él. Este texto luego aparecerá en una pequeña pantalla en el receptor. Presentamos algunos ejemplos de información que se puede transmitir a través del “**canal de marcado digital**”:

- Noticias
- Pronóstico meteorológico
- Cuotas de existencia
- Anuncios publicitarios
- Identificación de la estación o emisora

El último punto puede ser interesante , por ejemplo, en sistemas con medidas automáticas de audiencia: la estación de radio (o de TV) sintonizada es detectada a partir del audio marcado en emisión con dispositivos específicos. Esta información se registrará y transmitirá periódicamente a la empresa responsable de las estadísticas de audiencia.



5.3 APLICACIONES RELACIONADAS CON LA VERIFICACIÓN DE LA INTEGRIDAD

La *verificación de la integridad* es un tema muy importante, por ejemplo cuando un testimonio previamente grabado es usado como evidencia ante un tribunal de justicia : es deseable asegurar que la grabación no ha sido editada ni modificada.

5.3.1 Marcas de agua frágiles

La **integridad de una grabación de audio se puede controlar por medio de las marcas de agua frágiles**. Si la señal marcada ha sido editada , la marca digital ya no debería ser detectable. Por “editada” entendemos cualquier modificación que pueda corromper el *significado* de la grabación. Por ejemplo, la extracción o adición de segmentos en un testimonio grabado podría modificar potencialmente el significado de las frases; es por ello que tal tipo de modificaciones debería volver indetectable la marca digital. Por el contrario, en compresión con pérdidas con tasas de bits razonables, la marca digital debería ser detectable.

Un ejemplo del uso de marcas de agua frágiles o visibles serían:

- **Testimonios grabados** que sirven como pruebas ante un tribunal.
- **Grabaciones de voces sintéticas o no sintéticas que piden una serie de datos al usuario vía telefónica** (procedentes de una sucursal bancaria, de una compañía de telefonía móvil) . Es muy crítico que en estos casos las voces que escuchamos por teléfono hayan sido manipuladas y estemos dando nuestros datos personales a las personas equivocadas. En este caso sería el hardware que reciben estas grabaciones el que tendrá que estar preparado¹³.

¹³ Esto podría hacerse por ejemplo, a través de dispositivos DRM. Se explicarán en el apartado de Estado del Arte



5.3.2 Otros ejemplos de verificación de la integridad

Existen otros casos de aplicación en los que es **necesaria la autenticación del archivo audio mediante marcas de agua.**

Un ejemplo, muy de moda estos tiempos , y que genera una gran cantidad de mercado son los **politonos o melodías para el móvil.** Este tipo de archivos audio, descargados de Internet o a través de un servidor privado ya tienen licencias y están siendo estudiados a fondo en lo que al Copyright se refieren. Para una empresa cuya única actividad sea ésta sería muy recomendable el uso de marcas de agua para asegurar el control de copias.

Por poner un ejemplo, el servidor *Net Real Solutions* (NRS) ya tiene una serie de normas en materia de Derechos de Autor. No está permitido incluir copias, reproducir, distribuir o modificar las melodías y los logos contenidos en el servidor sin la expresa y previa autorización escrita por parte de NRS. La licencia otorgada para la descarga de melodías prohíbe la reproducción total o parcial en otros soportes de la obra descargada en Internet, así como la copia privada para su venta. La copia bajada es exclusivamente para su uso privado.

5.4 REQUISITOS DE LA MARCA DE AGUA EN FUNCIÓN DE LA APLICACIÓN

Como dijimos al principio de este apartado, los requisitos que deben cumplir las marcas de agua son **muy dependientes de aplicación**.

Todos los requerimientos deben ser respetados hasta cierto punto. Por ejemplo , en algunas aplicaciones se puede admitir que la marca introduzca un pequeño nivel de degradación de calidad del sonido, mientras que en otras aplicaciones se extremaría rigurosamente en este tema.

La resistencia a operaciones de procesamiento de señal, como filtrado, remuestreo o codificación si es necesario en muchos casos.

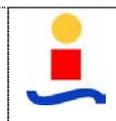
Para la protección del Copyright , la resistencia a ataques maliciosos es determinante. Por ejemplo si un trozo de señal es borrado la marca debe ser detectable. Sin embargo para aplicaciones de verificación de la integridad (como por ejemplo **testimonios grabados ante un tribunal**) la marca de agua debe cambiar de algún modo cuando se ha variado el contenido audio. En este caso la robustez no es tan requerida, sino al contrario, la marca de agua debe ser frágil.

A continuación se muestra una tabla resumen de los requisitos que se deben cumplir de manera básica en cada una de las aplicaciones.

		INAUDIBILIDAD	ROBUSTEZ	RESISTENCIA	TASA DE MARCADO
RELACIONADAS CON EL COPYRIGHT	Prueba de la propiedad	Alta	Alta	Alta	Baja
	Monitorización consumidor final	Alta	Alta	Alta	Alta
	Monitorización en distribución	Alta	Alta	Alta	Alta
	Emisión de audio (radio, TV)	Alta	Media	Normal	Baja
	Rastreo de copias ilícitas	Alta	Alta	Alta	Alta
	Origen de copias ilícitas	Alta	Alta	Alta	Alta
SERVICIOS DE VALOR	Relacionados con el contenido	Normal	Normal	Baja	Baja/Normal
	Transporte de información de propósito general	Normal	Normal	Baja	Baja/Normal

		INAUDIBILIDAD	ROBUSTEZ	RESISTENCIA	TASA DE MERCADO
VERIFICACIÓN DE LA INTEGRIDAD	Testimonios que sirven como pruebas ante la Ley <i>marcas de agua frágiles o visibles</i>	Alta	Muy Baja. (marca muy frágil)	Normal	Baja/Normal
	Otros ejemplos con aplicación comercial.	Alta	Normal	Normal	Normal

Cuadro 2: Requisitos para la marca de agua en función de la aplicación.



6. ESTADO DEL ARTE DEL MERCADO DIGITAL DE SEÑALES

6.1 EMPRESAS DEDICADAS AL WATERMARKING DIGITAL

De entre todas las empresas o entidades privadas que se dedican actualmente al estudio, investigación o comercialización de material relacionado con el watermarking, hemos destacado algunas de ellas.

6.1.1 Alphatech LTD (<http://www.alphatecltd.com>)

Es una compañía especializada en **procesamiento digital de imagen, audio y vídeo y multimedia**. Su funcionamiento se basa en la contratación de trabajos para varios proyectos fundados en la Unión Europea y para Instituciones y empresas nacionales e internacionales. Tiene un personal altamente cualificado en materias de I+D.

Esta empresa es bastante interesante , ya que permite descargar de su página Web una **versión demo de casi todos sus productos software**, para que el futuro comprador pueda comprobar el potencial del producto que va a comprar.

De entre todos los **productos** de esta empresa nombraremos aquí sólo los relacionados con el watermarking. En el Cuadro 3 se muestran algunos productos software que ofrece esta empresa.

Software	Tipo Watermarking	Descripción	Precio
ALPHASPIDER 	Imágenes	Permite a Internet Explorer buscar imágenes marcadas digitalmente en Internet. Es una aplicación complementaria a EIKONOMARK.	\$ 99 USD ¹⁴

¹⁴ USD: United States Dollars.

Software	Tipo Watermarking	Descripción	Precio
POLIMARK 	Gráficos e imágenes 2D	Es un software potente y flexible que detecta marcas digitales y firmas digitales (fingerprinting) en gráficos de ordenador bidimensionales; por ejemplo , en mapas 2D , en dibujos animados , bordes de imágenes y en contorno de regiones	\$ 1999 USD (versión empresarial) \$ 199 USD (versión privada) \$ 1999 USD (kit de desarrollo)
EIKONAMARK 	Imágenes digitales	Es un software para integrar marcas digitales “invisibles” (Firmas digitales) en imagines digitales y detector éstas marcas.	\$ 1999 USD (versión empresarial) \$ 199 USD (versión privada) \$ 1999 USD (kit de desarrollo)
AUDIOMARK 	Audio digital	Paquete software designado para integrar marcas de agua “inaudibles “ en audio digital y detectarlas en caso de controversia en la propiedad de un archivo digital. De ahí que el primer uso de AudioMark sea la protección del copyright y corroborar la propiedad de fichero audio.	\$ 1999 USD (versión empresarial) \$ 499 USD (versión privada) \$ 2999 USD (kit de desarrollo)
MESHMARK 	Objetos 3D	Paquete software para integrar y detectar marcas de agua en objetos 3D.	\$ 1999 USD (versión empresarial) \$ 499 USD (versión privada) \$ 1999 USD (kit de desarrollo)
VIDEOMARK 	Vídeo digital	Software para integrar y detector marcas de agua invisible en video digital para la protección del copyright.	\$ 1999 USD (versión empresarial) \$ 499 USD (versión privada) \$ 2999 USD (kit de desarrollo)

Cuadro 3 : Software dedicado al watermarking de AlphaTech. LTD

Explicaremos con más detalle el producto **AUDIOMARK**, por ser su aplicación el objeto de este proyecto.

“*AudioMark*” es el software dedicado a integrar y detectar marcas de agua en audio digital, está enfocado a la protección del Copyright. El poseedor del Copyright usa una única llave para crear una marca digital “inaudible” en su archivo audio. Más tarde, podrá examinar si el archivo audio dado, que se sospecha que ha sido ilegalmente copiado, contiene su propia marca de agua o no y podrá usarse como prueba legal.

AudioMark está implementado como una aplicación “ Microsoft Windows 2000 user-friendly”. En caso de sospecha de “robo” buscará de manera exhaustiva en una base de datos (que contiene todos los poseedores de Copyright).

AudioMark genera marcas imperceptibles, basadas en las llaves de los propietarios del Copyright, y la integran en el cuerpo del audio. El propietario de los Derechos podrá detectar fácilmente la marca digital a través de la llave o clave y sin tener que conocer la canción audio original. Los resultados de la detección pueden ser procesados y almacenados en archivos de datos para posteriores investigaciones. También existen rutinas que proporcionan de una manera visual y comprensiva , los resultados de la detección. El lote de procesado de un conjunto de archivos audio es una característica más de *AudioMark*.

Un ejemplo de una pieza de música de Vivaldi ; “Las cuatro estaciones”

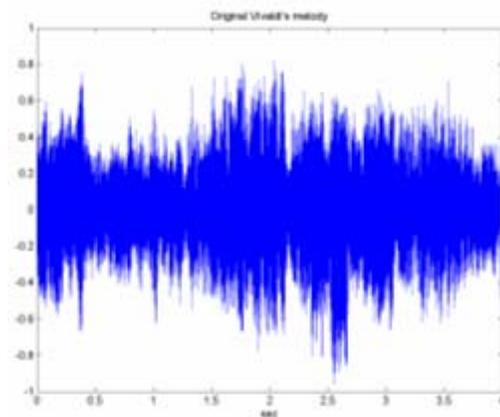


Figura 17 a

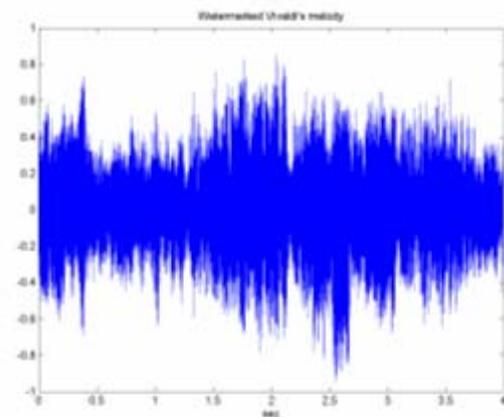


Figura 17 b

Figura 17: (a)AudioMark ,Pieza de música sin marcar y (b) la misma pieza marcada.

Como ya hemos mencionado esta Web te permite bajar “demos” de casi todos los programas. Veremos cómo funciona *AudioMark*. **Se ha descargado la demo para**

marcar una canción y posteriormente detectar la marca. Los resultados son los siguientes:

Abrimos la demo que nos hemos descargado. Abrimos una canción cualquiera (en formato MP3). Seleccionamos “Cast” del menú principal, que nos permitirá integrar una marca (8 bits máximo en esta demo que queramos). También podemos cambiar la llave de marcado. Mientras tanto la canción se va reproduciendo.

Abrimos la canción “ **Trans Siberian Orchestra.mp3**” y la marcamos:

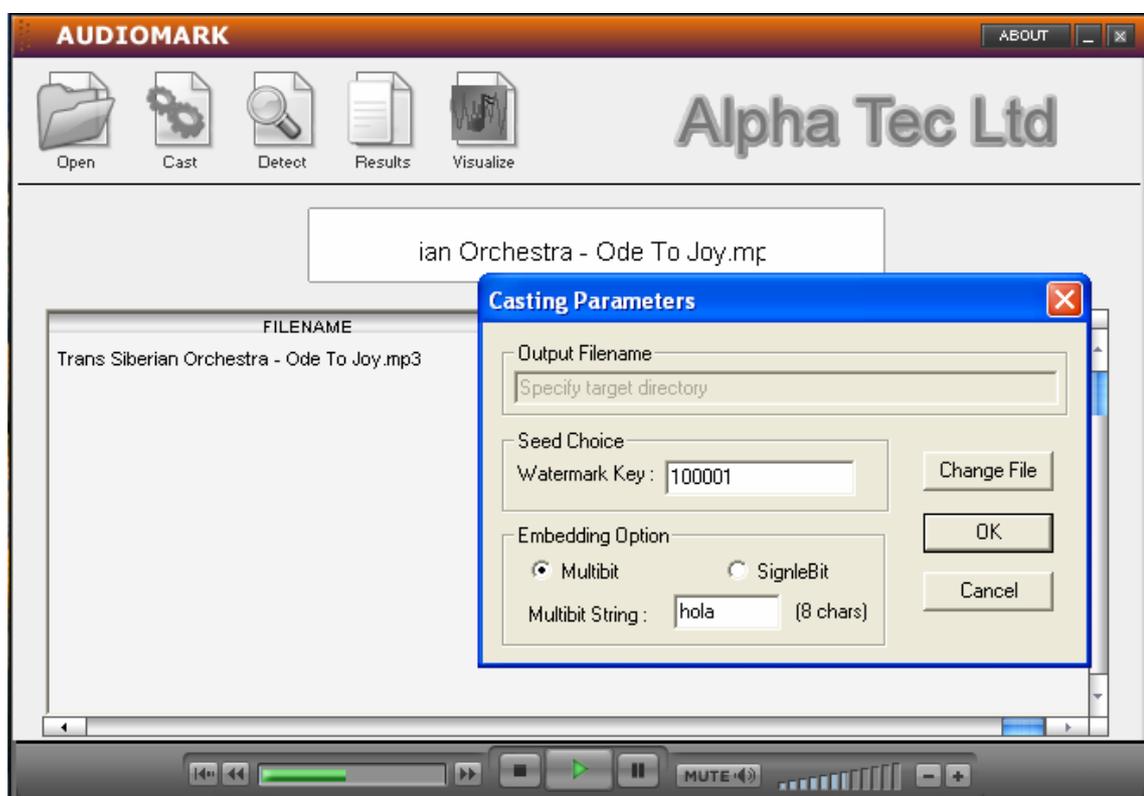


Figura 18: AudioMark .Ejemplo de integración de marca “hola” a la canción “ Trans Siberian Orchestra”

A continuación, al darle al botón *ok*, la canción va cambiando de estado, pasando por:

Decoding MP3 → Embedding Watermark → Encoding MP3 → Watermarked!

La versión marcada se almacena como :”**Trans Siberian Orchestra_wm.mp3**”

Podemos almacenar la nueva versión marcada en el lugar de nuestro PC que queramos. Reproducimos la versión marcada y **comprobamos que suena exactamente igual a la original.**

Por otro lado, podemos abrir, desde cualquier parte de nuestro PC una canción y chequearla en búsqueda de una marca digital.

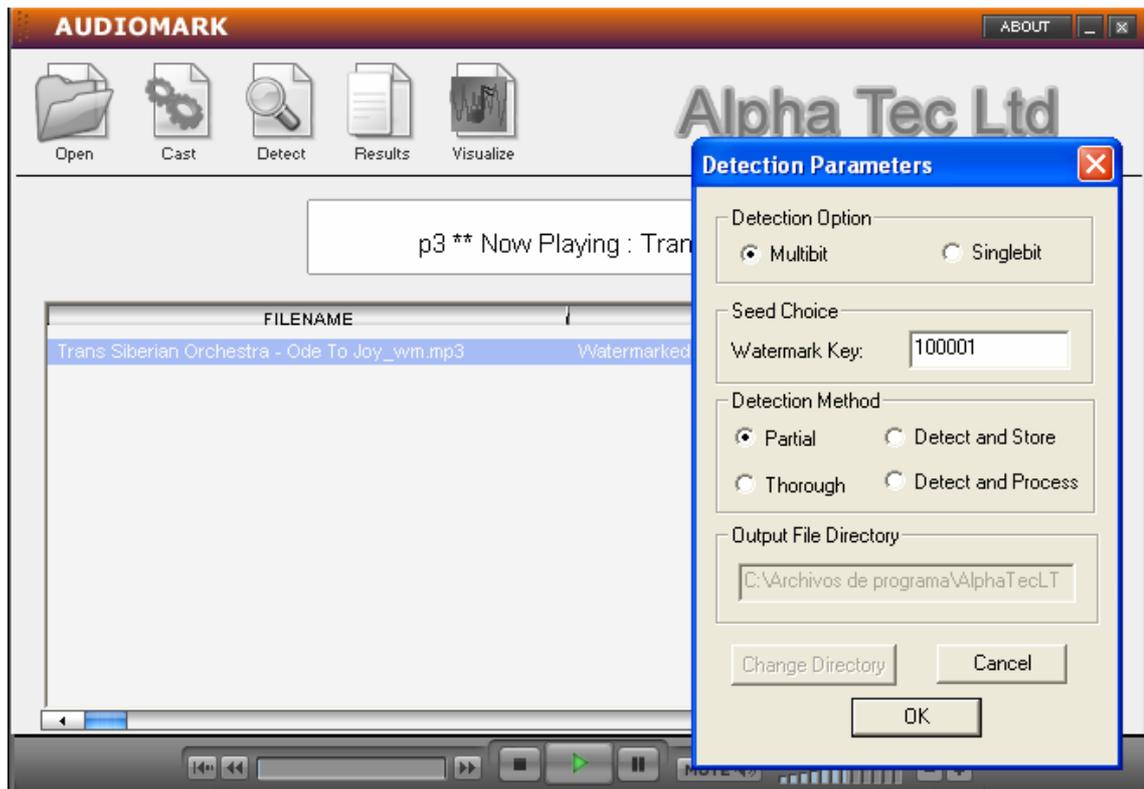


Figura 19: AudioMark, ejemplo de detección de marca

A continuación al darle al botón OK, la canción va cambiando de estado pasando por:

Decoding Mp3 → Detecting → Watermarked! (Message: ‘hola’)

Y así es como se detectaría la marca. En este caso también podemos elegir la clave, que tendrá que ser la misma con la que marcamos la canción.



6.1.2 Instituto Franhoufer (<http://www.iis.fraunhofer.de>)



Figura 20: Logo y sede del Instituto Franhoufer.

El Instituto *Fraunhofer IIS* para Circuitos Integrados gestiona contratos para la industria y autoridades públicas Alemanas e Internacionales. Encabezado por el Profesor *Heinz Gerhäuser* , ingenieros y científicos del instituto desarrollan sistemas microelectrónicos además de equipamiento y software acorde con los circuitos integrados requeridos.

Fue fundado en 1985 en Erlangen (Alemania). Actualmente tiene sedes en Nürnberg, Fürth y Dresden .

Las técnicas de codificación de audio y vídeo desarrolladas por este instituto han alcanzado un reconocimiento internacional debido a la adopción de estándares Internacionales. La más conocida y ampliamente usada **técnica de codificación MP3 fue desarrollada por este Instituto**. Es por ello, que en su página Web disponemos de un enlace a un sitio Web llamado “*Historia del MP3*”, muy didáctico y completo¹⁵.

Algunos campos de negocio del Fraunhofer Iis son ; Audio y multimedia, emisión digital, Sistemas de comunicaciones integradas, tecnología médica, Diseño IC, Sistemas ópticos de inspección,etc.

Disponen de una **amplísima gama de productos ya desarrollados e implantados**, de entre los cuales nombraremos sólo uno de ellos, dedicado a la tecnología musical llamado “*Music Trace*” y la tecnología de compartición de archivos “*The potatoe System*”.

¹⁵ Para más información ver : <http://www.iis.fraunhofer.de/fhg/iis/EN/bf/amm/mp3history/index.jsp>

6.1.2.a Music Trace (<http://www.musictrace.de>)

Franquicia del *Instituto Fraunhofer* orientada a la tecnología musical que aúna y recoge información sobre la utilización de la música y su comercialización, analiza estos temas y proporciona los resultados a sus clientes adaptándose a sus necesidades. Usa técnicas de marcado digital de señales de audio y vídeo para proporcionar **servicios de valor añadido**.



Figura 21: Logo de Music Trace.

Los clientes pueden elegir los **servicios**:

1. **Broadcast Monitoring (Monitorización de emisión) :**

MusicTrace escanea programas de radio y televisión 24 horas al día, 7 días a la semana. La información recogida se puede usar para generar listas de reproducción o para determinar tasas de música o discursos. El resultado es un esquema de emisión detallado que los tiempos de cada emisión. Estos datos se pueden usar para asegurar la correcta distribución de los “Royalties. Agencias de publicidad pueden comprobar si sus anuncios fueron realmente emitidos en los tiempos previstos, las organizaciones de investigación de consumidores pueden generar listas de la música más oída

2. **Watermark Embedding (Integración de marcas de agua) :**

Music Trace ofrece productos software para integrar marcas de agua digitales en señales audio. Por medio de estos productos es posible transmitir información adicional, (por ejemplo, número de transacción) escondidos en la música. Haciendo esto, se pueden hacer copias procedentes de la misma obra musical distinguibles unas de las otras. Estas copias pueden ser distribuidas hacia los receptores en el ámbito de una tienda de descargas on-line. Si alguno de estos archivos es encontrado por Internet en un momento posterior, puede ser rastreado hacia el receptor original gracias a la marca de agua incrustada.

Familia ContentMark:

La información a transferir va en los llamados “contenedores de datos”. Se han desarrollado ya muchos contenedores de datos, que difieren en el volumen de datos a transferir, la tasa de datos y la robustez de la marca. Los dos más comúnmente usados transfieren 48 bits en 5 o 2’7seg. *MusicTrace* ofrece varios productos mutuamente compatibles. Esto implica que sólo hay un programa para extraer la información insertada. El programa para extraer la marca de agua es un componente de la *familia ContentMark*.

Los productos software relacionados con los servicios anteriores se muestran en el siguiente cuadro:

Servicio	Producto Software	Definición
Monitorización de emisión.	<i>CastTrace</i>	Software par monitorizar emisiones de radio y TV. Tiene capacidad par para más de 100 satélites y estaciones por cable. Es capaz de recibir todas las emisiones de las estaciones vía ASTRA. También pueden entrar vía satélite otras emisiones europeas y por la red de cable. De ahí, Music Trace es capaz de recoger información de los canales más importantes europeos , procesando datos y haciéndolos accesibles para el consumidor. También podrá alimentar a 100 emisiones por Internet al mismo tiempo. El formato de flujo presentado para Internet soporta MP3, WMA y Real.
Integración de marcas de agua	<i>ContentMarkPCM</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Permite integrar marcas digitales en señales audio sin comprimir. En archivos PCM o WAV. El resultado es también audio sin comprimir marcados. ▪ Se usa par aplicaciones de protección del Copyright, integrando las marcas durante la producción o la fase de licencia de tonos y politonos (para móviles). ▪ Admite señales mono y estereo con frecuencias de muestreo de 32 , 44,1 y 48kHz. Es compatible con Windows (98 y posteriores) , Linux y Mac OS-X.

Servicio	Producto Software	Definición
	<p style="text-align: center;"><i>ContentMarkCD</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Permite hacer cualquier número de copias de un CD audio, portando cada una marca de agua diferente. Todas las copias sonarán igual ,para el oído humano, aunque son discernibles en base a su marca. Además el programa soporta impresión de etiquetas de CD, incluyendo información del correspondiente receptor. Así que el receptor del CD es consciente de que ésta copia fue creada especialmente para él. ▪ Usado para copias Pre-Lanzamiento de nuevas grabaciones (para periodistas musicales, por ejemplo). Los prelanzamientos tienen lugar varias semanas antes que el lanzamiento oficial , y las medidas de protección son particularmente importantes aquí para prevenir pérdidas financieras antes de la aparición del CD en el mercado. ▪ Es un software para Windows y actualmente sólo funciona bajo CD/DVD fabricados por <i>Rimage</i>.
	<p style="text-align: center;"><i>ContentMarkMP3</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Integra marcas de agua en archivos MP3.El formato no cambia al marcarlo, pudiéndose escuchar el archivo en cualquier reproductor de Mp3. ▪ Usado para transacciones de datos de títulos musicales o audio books vendidos on-line. Se usan números de transacción consecutivos par poder determinar después si un cliente que compró una copia legal ha violado los derechos de uso. ▪ Compatible con Windows (98 y versiones posteriores) , Linux y Mac OS-X.

Cuadro 4: Productos Software ofrecidos por Music Trace

6.1.2.b Potato System (<http://www.potatosystem.com>)

The potatoSystem es una colaboración entre “4FriendsOnly.com” , “Internet Technologies AG” y el Instituto Fraunhofer para la tecnología digital multimedia. Proporciona un **sistema amistoso para la distribución de música sin copyright**.



Figura 22: Logos de 4FriendsOnly y del Producto PotatoeSystem.

Es una alternativa innovadora y flexible para artistas , discográficas y portales de música para vender música en la Web. Para cada canción o álbum registrado *PotatoSystem* proporciona una pequeña “iFrame”, que contiene los metadatos requeridos para la canción o álbum (por ejemplo; título, artista, precio, etc.), un enlace para pre-escuchar la música y un enlace específico de venta. Si un consumidor quiere comprar una canción o álbum hará click en ese enlace y accederá a la “iframe” del archivo. De éste modo el consumidor **no sólo paga por el derecho a tener la música, sino también por el derecho a la redistribución**. Así los consumidores registrados (otros artistas o portales) se convierten en re-vendedores. Ellos pueden distribuir la música por toda la Web usando las “iFrame” integradas.

Los revendedores reciben una comisión por redistribuir los archivos. La principal fracción , el 43% va a los proveedores originales, como por ejemplo artistas, o discográficas. En total el 35% del precio pagado se divide en tres partes máximo (original, proveedores y revendedores).

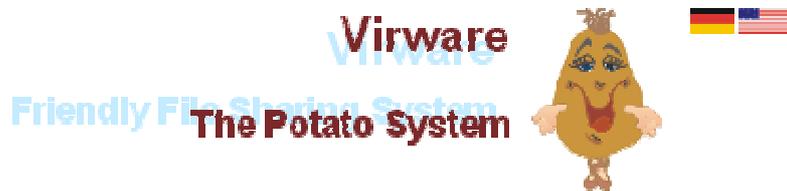


Figura 23: Logotipo del programa usado por el producto PotatoSystem.



Figura 24: Diagrama de división de comisiones en PotatoSystem. Los consumidores registrados en la Web se convertirían en re-vendedores.



6.1.3 Ewatermark (<http://www.ewatermark.com>)

Empresa dedicada a **desarrollar técnicas para proteger el Copyright** de contenidos digitales , que permite a todos, desde profesionales hasta usuarios genéricos, proteger fácilmente sus derechos digitales sin tener que usar complicados procedimientos para ello.

Sus productos se diseñan para los titulares de contenidos, tales como Webmasters, creadores o fotógrafos, que quieran proteger sus Derechos de autor on-line. Se proporcionan Servicios de clase A; soluciones software que pueden satisfacer la demanda de usuarios sofisticados, pero que pueden ser usados de una manera fácil y segura por cualquiera.

En esta Web ,también podemos encontrar una introducción a la tecnología usada en sus productos. Las aplicaciones de marcas digitales proporcionadas por *Ewatermark* se presentan bajo un acuerdo de licencia con *Kowa Company Ltd* (Japón). Estando algunos de sus productos disponibles también en Japón a través de *Kowa Company Ltd*.

Actualmente venden sus productos en Estados Unidos y están intentando conseguir algunos acuerdos con empresas para ampliar su mercado. Aceptan aplicaciones de una gran variedad de empresas, tales como distribuidoras, agencias de apoyo, y desarrolladores de aplicación que usen su tecnología.

Los productos y servicios que ofrecen son los siguientes:

- **Stegano-Series :**
 - “*SteganoSign for Personal*” : Es un programa software que incrusta y detecta marcas de agua digitales en varios tipos de imágenes y en archivos audio. Permite marcar un montón de contenidos digitales distintos; tales como JPEG, BMP, PCX,TIFF y PCT. Para audio, soporta archivos WAV. Este software está equipado con unas características que permiten procesar muchos archivos al mismo tiempo.
 - “ *SteganoSign for Photoshop*” : Es un plug-in desarrollado para *Adobe Photoshop*. Se puede integrar y detectar fácilmente marcas de agua digitales desde los menús de Photoshop. Se puede integrar dos tipos de información : “ID de firma ” y “Cadena de firma” en una imagen simple. Por ejemplo, El ID de firma se puede usar para conseguir el registro de cada imagen de usuario, y la cadena de firma para conseguir información acerca de la imagen o su producción.



- ***Stegano-Bank:*** Este servicio on-line integra marcas de agua digitales con un cargo económico post-uso. Las marcas de agua integradas pueden ser detectadas usando un software dedicado llamado **SteganoCheck**.



6.1.4 Blue Spike Inc. (<http://www.bluespike.com>)

Figura 25: Logotipo de BlueSpike.

Esta compañía nacida en 1997, con oficinas en USA y Japón, tiene un equipo ejecutivo compuesto por un conjunto de investigadores que se unieron movidos por sus intereses comunes.

BlueSpike proporciona servicios de consultoría y proyectos software innovadores y seguridad aplicada, relacionados con la protección de los Derechos de Autor . Con la tecnología de watermarking propuesta por *BlueSpike*: “**Giovanni Watermarking System**” los contenidos digitales están protegidos electrónicamente . Giovanni proporciona a los creadores y distribuidores un control sobre la penetración de sus propiedades digitales y pueden permitir esquemas de distribución on-line que serían impensables sin complejas tecnologías de prohibición.

Este sitio Web está muy completo desde el punto de vista informativo, en cuanto a descripción, historia y aplicaciones del watermarking. Sin embargo, en los que se refiere al “Sistema Giovanni” no existe información más detallada sobre qué software o técnicas emplean para conseguir la protección y seguridad sobre los archivos de audio¹⁶.

¹⁶ Para más información , consultar página web: <http://www.bluespike.com/papers/convergence.pdf>



6.2 ENTIDADES SIN ÁNIMO DE LUCRO DEDICADAS AL WATERMARKING

Existen un elevado número de foros en Internet, donde investigadores y profesionales intercambian sus conocimientos sobre el mundo del watermarking digital sin ánimo de lucro . Como ha sido un tema candente que en los últimos años, se han creado cada vez más entidades dedicadas a la investigación o simplemente intercambio de conocimientos.

También existen **revistas divulgativas** con secciones dedicadas al watermarking, donde mes tras mes publican artículos con las opiniones de estudiosos o las últimas novedades.

De entre las entidades dedicadas al estudio o investigación del watermarking digital, sin ánimo de lucro , hemos seleccionado las que se muestran a continuación.

6.2.1 Digital Watermarking World (www.watermarkingworld.org)

“*Digital Watermarking World*” es un foro de información sin ánimo de lucro con el objetivo de proporcionar medios y servicios a los investigadores y científicos en el campo del watermarking digital.

Científicos distribuidos por todo el mundo están llevando a cabo investigaciones en el campo del watermarking digital. Para una investigación de alta calidad y desarrollo, la comunicación entre profesionales y el intercambio de información es un aspecto crucial¹⁷.

Digital Watermarking World proporciona los siguientes servicios:

- “**Watermarking Mailing List**”: La lista de correos fue creada en 1998 por Martin Kutter. Inicialmente la lista de correo empezó con 20 subscripciones . El número incrementó rápidamente hasta hoy en día , con más de 5000 inscritos.
- “**Watermarking Links**” : Es una colección extensa de enlaces a sitios relacionados con el watermarking (archivos, documentos, artículos, etc.).
- “**Watermarking Webring**”: Un mecanismo para enlazar a sitios Web relacionados con el watermarking.

¹⁷ Para la realización de este proyecto, Digital Watermarking World ha sido de gran ayuda. Estudiosos del tema de todo el mundo se intercambian mensajes en inglés sirviendo en muchos casos, de gran ayuda.



También nos encontramos en la página Web un enlace a :

- Preguntas frecuentes (FAQ).
- Publicaciones On-line.
- Resumen didáctico del Watermarking Digital. (Con ejemplos, aplicaciones , empresas dedicadas a ello).
- Foro de discusión on-line.
- Software relacionado con el watermarking.
- Software de referencia.

Para cualquier consulta , duda o pregunta existe un correo genérico, que llega a todos los usuarios inscritos en el foro. Y todas las respuestas que se emitan a correos particulares se publican también en la Web¹⁸.

6.2.2 Grupo de Investigación de tecnología musical (www.mtg.upf.edu)

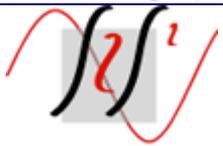
El Grupo de Investigación en Tecnología Musical (en adelante *MTG*) , integrado en el Departamento de Tecnologías de la Información de las Comunicaciones y el Instituto Universitario del Audiovisual (IUA) de la *Universidad Pompeu Fabra en Barcelona*, está **especializado en las tecnologías relacionadas con el procesado de audio y sus aplicaciones en el campo de la música y el multimedia**. Con más de 40 investigadores procedentes de diversas disciplinas, el *MTG* lleva a cabo proyectos de investigación y desarrollo en áreas tales como el procesado y síntesis de audio, identificación de audio, análisis, descripción y transformación de contenidos sonoros, procesado de voz cantada, sistemas interactivos y aplicaciones informáticas.

El *MTG* contribuye al avance de las tecnologías de interés para la música llevando a cabo una investigación competitiva a nivel internacional, y transfiriendo sus resultados a la sociedad. Su principal objetivo consiste en encontrar el **balance entre investigación básica y aplicada** y, al mismo tiempo, promover una investigación interdisciplinaria que

¹⁸ Este correo es watermarking-owner@watermarkingworld.org y se ha usado para consultar información en la realización de este proyecto.

incorpore conocimientos provenientes de áreas de conocimiento tanto científicas/tecnológicas como humanísticas/artísticas.

- Los proyectos del *MTG en curso* son:

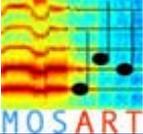
Logo	Nombre	Descripción
	PHAROS	<i>Platform for search of Audio-visual Resources across Online Spaces</i>
	SALERO	<i>Semantic Audiovisual Entertainment Reusable Objects</i>
	Variazioni	<i>Reuse and enrichment of existing musical digital assets in new applications and distribution channels</i>
	EmCAP	<i>Emergent music cognition in natural and artificial interactive systems</i>
	The Freesound Project	<i>Web community for free and open exchange of sounds</i>
	S2S ²	<i>State-of-the-art research in the sound domain</i>
	Reactable	<i>Electronic music instrument with a tangible user interface</i>
	CANTATA	<i>Content Aware Networked systems Towards Advanced and Tailored Assistance</i>
	Semusici	<i>Semantic search engine for multimedia and music</i>

	MODEM	<i>Music Open Distance Exchange Model</i>
	ConGAS	<i>Musical gesture analysis and control of digital sound and music</i>

Cuadro 5: Proyectos en curso del MGT.

Los proyectos ya **finalizados** de MGT son:

Logo	Nombre	Descripción
	Simac	<i>Semantic Interaction with Music Audio Contents</i>
	Daisy	<i>Singing voice synthesis</i>
	Promusic	<i>Musical expressive performance using inductive machine learning</i>
	Semantic Hi-Fi	<i>Browsing, listening, interacting, performing, sharing on future HIFI</i>
	Audioclas	<i>Automatic Classification of Sound Effects</i>
	CLAM	<i>C++ Library for Audio and Music</i>
	RAA	<i>Recognition and Analysis of Audio</i>

Logo	Nombre	Descripción
	Harmos	<i>Exploiting multimedia content in musical heritage</i>
	Aida	<i>Audio broadcast monitoring system for radio and TV</i>
	Cuidado	<i>Content-based Unified Interfaces and Descriptors for Audio & Music</i>
	Agnula	<i>A GNU/Linux Audio distribution</i>
	OpenDrama	<i>Development of an opera learning and entertainment on-line service</i>
	Mosart	<i>Music Orchestration Systems in Algorithmic Research and Technology</i>

Cuadro 6: Proyectos finalizados del MGT.

Como puede deducirse de todos al ver el cuadro 5 y 6, todos estos **proyectos innovan en cuanto a tecnología musical, siendo un precedente en nuestro país; es por ello que hemos querido nombrarlo uno a uno.**

Por otro lado, una constante en todos estos proyectos es el uso de técnicas de marcado o watermarking, como puede deducirse . La página del MTG sólo dice que hacen uso de técnicas de watermarking aunque no mencionan el software específico usado.

6.2.3 Revistas divulgativas: Stereophile (www.stereophile.com)

A través de los años, la revista *Stereophile* ha creado la más grande de las listas de información sobre audio disponibles hoy en día. Cada mes se añaden a la base de datos de la Web más y más artículos y estudios desde la revista *Stereophile*. Incluye información sobre la implantación de sistemas de audio, el entendimiento de la ciencia del audio

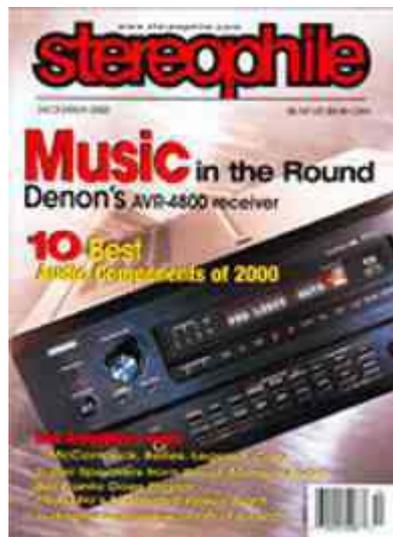


Figura 27 : Portada de la revista Stereophile.

El sitio www.stereophile.com está muy completo, incluyendo foros de discusión donde la gente puede intercambiar información sobre cualquier tema relacionado con las tecnologías musicales, o equipos de reproducción de música.

También hay una entrada en su menú principal, llamada “Music Articles”, en la que podemos encontrar un sin fin de artículos publicados en los últimos años¹⁹.

¹⁹ Algunos de los artículos se han tenido en cuenta para la elaboración de este proyecto.



6.3 ESTADO DEL ARTE DE LAS APLICACIONES RELACIONADAS CON EL COPYRIGHT

6.3.1 ¿Es delito copiar CD's o intercambiar música?

El pasado 1 de Octubre de 2004 entró en vigor la **Ley Orgánica 15/2003**, de 25 de noviembre, por la que se modifica el Código Penal (Ley Orgánica 10/1995 , de 23 de noviembre). Esta reforma ha sembrado cierta inquietud estos últimos años entre la comunidad internauta, alarmada ante los titulares de los medios de comunicación que se hacían eco de sus posibles consecuencias, entre los que se podía leer "¿Todos a la cárcel?" o "Miles de internautas españoles al borde la ley". En el debate surgido tras la entrada en vigor de la nueva legislación sólo queda claro que el texto admite demasiadas lecturas.

Entre otros asuntos, la reforma afecta a la lucha contra la “piratería”, ampliando la protección hasta ahora reservada a los programas de ordenador a otras expresiones artísticas (libros, música, películas, etc.), introduciendo la persecución de oficio contra estos delitos y aumentando las penas. Los **artículos que más polémica han generado hacen referencia a la descarga de contenidos protegidos sin permiso del propietario** de los Derechos y la posesión de herramientas para saltarse la protección anticopia de programas informáticos, delitos para los que se contemplan penas de hasta dos años de prisión. También se penaliza la manipulación de teléfonos móviles o de decodificadores.

6.3.1.a ¡Una Noticia Curiosa! : Bilbao , año 2004:

Hace ya tres años pudimos ver a los integrantes de la campaña “*compartir es bueno*” saltar a la calle para demostrar que **descargar música de Internet no es delito**. Para ello se fueron con sus portátiles a la puerta de la sede de la SGAE (Sociedad General de Autores) en Bilbao .Llevaban unos cuantos carteles en los que ponía “*Nos estamos bajando música de Internet AQUÍ*”, como puede verse en la Figura 28.



Figura 28: Miembros de “compartir es bueno” bajándose música en plena calle.

Antes **habían enviado un burofax a las oficinas de la policía** y otro a las oficinas de la SGAE avisando de lo que iban a hacer. La policía tiene la obligación de evitar un delito si conoce con antelación la realización de éste. Y allí no se detuvo a nadie, ni hubo ningún altercado. En resumidas cuentas, que **no se cometió ningún delito**.

Podríamos preguntarnos entonces: ¿Donde está el límite entre la legalidad y la ilegalidad entonces? : En el **ánimo de lucro**. Por éso el *top manta* sí es ilegal.



Figura 29 : Miembros del grupo “Compartir es bueno”.



6.3.2 Desafío SDMI

La *Iniciativa para la Música Digital Segura* (SDMI)²⁰, auspiciada por RIAA y que reúne a cerca de 200 compañías y organizaciones, entre ellas sellos discográficos (como los gigantes *EMI* o *Warner*), compañías de electrónica de consumo y de Tecnologías de la Información, proveedores de servicio de Internet y compañías de tecnologías de seguridad, tiene como misión la **creación de un estándar para la protección de música en MP3** y otros formatos. Se creó allá por el año 2000. En su Fase I, la SDMI acordó adoptar la tecnología de marcas de agua de *Verance Corporation*²¹ para lo que llaman criba (screening), es decir, para decidir si un reproductor MP3 compatible con SDMI permite reproducir o no una determinada canción.

En septiembre del año 2000, la SDMI lanzó a la comunidad internauta **el reto de atacar a su sistema de protección musical , ofreciendo un premio irrisorio de 10.000 dólares al que consiguiera eliminar la marca de agua de la canción digital propuesta.** Por su parte, la *Electronic Frontier Foundation* (*EFF*) hizo un llamamiento a la comunidad hacker para no participar en este desafío²² ya que, según sus propias palabras , se trató de “una triquiñuela” que utilizaba la industria discográfica para conseguir una auditoria de seguridad a precio de saldo de su sistema de protección de aplastar modelos de distribución de música alternativos no compatibles con SDMI.

Lo cierto es que, a pesar de llamamientos en contra de la participación, según se rumoreó, la protección ya fue rota, aunque la SDMI lo negó con vehemencia. ¿fueron las marcas de agua de la tecnología implantada por SDMI realmente eliminadas o no?.

Lo cierto es que en los años siguientes al reto, SDMI estaba en boca de todo el mundo, sin embargo hoy por hoy , no existen noticias relacionadas con esta fundación. De hecho, todas las noticias encontradas son anteriores a 2001, con lo que podemos **concluir, que en este caso, las técnicas de marcas de agua usadas no eran muy robustas y que por tanto sí consiguieron atacarse**²³.

²⁰ SDMI : Secure Digital Music Initiative.

²¹ Para más información ver : www.verance.com

²² La carta de llamamiento se puede ver en http://www.sdmi.org/pr/OL_Sept_6_2000.htm

²³ Fuente: “Requiem por SDMI” <http://www.iec.csic.es/CRIPTONOMICON/susurros/susurros26.html>



6.3.3 Sistemas DRM: Las siglas de la discordia

¿En qué consisten?

La **Gestión de derechos digitales** (abreviado en inglés **DRM**, de **Digital Rights Management**) es el conjunto de tecnologías orientadas a ejercer restricciones sobre los usuarios de un sistema, o a forzar los Derechos Digitales permitidos por comisión de los poseedores de Derechos de Autor e independientemente de la voluntad de uso del usuario del sistema. Generalmente estos dispositivos son instalados como condición previa a la distribución de software no libre, obras musicales, libros electrónicos o cualquier tipo de archivo sujeto a Derechos de Autor. En algunos casos, las restricciones aplicadas se extienden más allá de los archivos que debían proteger, agregando restricciones sobre el uso de otros documentos o aplicaciones presentes en el ordenador.

Dichos sistemas **han sido alabados y criticados a partes iguales**. Se ha convertido en un tema muy polémico que divide a los consumidores y a los creadores de Propiedad Intelectual digital. Por un lado permiten proteger los derechos de los autores sobre sus obras e impedir o limitar en gran medida la copia ilegal de contenidos pero, por otra parte, también limitan la capacidad de reproducir y realizar copias de seguridad para uso personal de contenidos legítimamente adquiridos, lo que coarta la libertad del usuario.

¿Dónde están?

Los DRM están siendo incluidos en todo tipo de dispositivos digitales, sin informar a quienes los compran respecto de sus consecuencias. Aunque han sido comunes las medidas de control técnico sobre la reproducción y el uso de software de aplicación desde los ochenta, el término DRM se refiere usualmente al creciente uso de medidas referidas al contenido/trabajo **artístico**.

En el mercado se ofrecen hoy muchos dispositivos equipados con circuitos electrónicos de *Trusted Computing*, entre ellos evidentemente ordenadores, pero también reproductores de DVD, reproductores de audio, teléfonos, televisores, radios, juguetes, contestadores automáticos, fotocopiadoras, impresoras, y muchos otros.

Según algunos Proyectos de Ley impulsados por parte de la industria, estará prohibido producir o comercializar cualquier dispositivo que tenga la capacidad de grabar o reproducir sonido, vídeo, texto o cualquier otra forma de expresión, a menos que esté equipado con hardware adecuado para la implementación de DRM.



Aún antes de que la infraestructura de hardware sea omnipresente, como desean sus proponentes, existen muchos sistemas de DRM basados en software que, si bien no son lo suficientemente fuertes como para restringir efectivamente la copia, sí son lo suficientemente molestos como para complicarle la vida a las personas que quieren, por ejemplo, escuchar sus propios CDS en su propio ordenador.

La mayoría de los programas privativos de reproducción de medios disponibles hoy incluyen formas bastante sofisticadas de DRM sin soporte en hardware.

Ejemplos de DRM

- *Adobe Lifecycle Policy Server*
- *Microsoft Rights Management Server*
- *CoreMedia DRM*
- *Real Media Helix*
- *FairPlay (Apple iTunes)*
- *OMA DRM 1.0 und 2.0*

Detractores del DRM

Los vendedores y editores de DRM acuñaron el término de Gestión de Derechos Digitales (*Digital Rights Management*) para referirse a los tipos de medidas técnicas expuestas. Los Derechos que el dueño del contenido ofrece no son necesariamente los mismos que los Derechos legales de un consumidor del contenido; por ello, los críticos del DRM sostienen que la frase "*digital rights management*" tiene un nombre equivocado por lo que crearon un *backrónimo*. Para ellos "*digital restrictions management*" o **gestión de restricciones digitales** es una caracterización más exacta de la funcionalidad de los sistemas DRM.

DRM es una extensión del Control de Acceso Obligatorio en donde una política central puesta por un administrador es reforzada por un sistema computacional. Los bien estudiados problemas teóricos del Control de Acceso Obligatorio se aplican igualmente a DRM. DRM es vulnerable a una clase adicional de ataques debido a su necesidad de correr en un hardware resistente a la manipulación (los sistemas DRM que no corren bajo un hardware resistente a manipulación no pueden ser teóricamente seguros ya que el contenido digital puede ser copiado en el hardware).



Noticias Recientes sobre DRM²⁴

- La preocupación por la inclusión de sistemas de control y comprobación de derechos de autor en los sistemas informáticos es palpable. A mediados de **Junio de 2006**, hubo una fuerte polémica por la presunta inclusión de un sistema DRM (Digital Rights Management) en los **últimos procesadores y chipsets fabricados por Intel**.

Diversos medios on-line aseguran que *Intel* ha incluido un sistema DRM en su última línea de procesadores, los *Pentium de la serie D*, y el *chipset* que lo acompaña, *el 945*. Esta iniciativa acercaría un paso más a la realidad el **proyecto Palladium de Microsoft**, en el cual el mismo hardware se encargaría de validar y permitir la ejecución del software, la lectura y escritura de ficheros y la reproducción de contenidos multimedia.

La magnitud del escándalo ha llevado a *Intel* a **desmentir oficialmente que sus nuevos procesadores y chipsets incluyan dicho sistema DRM**.

- Más recientemente, en **Febrero de 2007**, *Apple* ha estado en el ojo de la polémica después de la decisión de un tribunal en Noruega que **declaró que la tienda de música online “iTunes Store”, es ilegal**. Específicamente por el hecho de que la música comprada en *iTunes* sólo puede ser reproducida en el *iPod*, y que la única música comprada online que puede reproducir el *iPod* tiene que ser de *iTunes*. Por lo tanto, *Apple* estaría amarrando al cliente a sus productos. Al tribunal eso le pareció monopólico y poco beneficioso para los consumidores.

Las compañías discográficas obligan a la *Apple* a vender su música con DRM, pero si ellas no lo exigieran, *Apple* vendería con gusto música sin DRM para crear un mercado musical online abierto²⁵.

²⁴ <http://mangasverdes.es/2006/10/01/dia-mundial-contra-el-drm/>

²⁵ Fuente: www.fayerwayer.com/2007/02/jobs-sobre-drm-lo-queremos-eliminar-pero-no-podemos.

Día mundial contra el DRM→ 3 de Octubre de 2006

El **3 de octubre de 2006**, se celebró el *Día Mundial contra el DRM*. Hubo casi doscientas acciones en todo el planeta, que incluían protestas públicas, testimonios, tutoriales, descarga de películas libres de DRM, actos de solidaridad (como por ejemplo hacia los **usuarios franceses** , en cuyo país la Ley acaba de consagrar el DRM), distribución de pegatinas y posters , debate.

En España sólo hubo un encuentro en Madrid.



Figura 30 : Una de los logos día mundial contra el DRM.

Entre los DRM más ‘famosos’ se encuentran los aplicados por *Sony* , *iTunes* , *SpiralFrog* o el último de ellos, *Zune* , que borra tus canciones en tres días si han sido copiadas de un *Zune* a otro .

“Copyleft”

Éste nuevo término, surgido a raíz de la polémica que existe con el Copyright música y películas, etc, describe un grupo de Derechos aplicados a una diversidad de trabajos tales como programas informáticos, arte, cultura y ciencia, es decir, prácticamente casi cualquier reproducción creativa.

Sus partidarios la proponen como alternativa a las restricciones de derechos para hacer y redistribuir copias de una obra determinada de las normas planteadas en los Derecho de Autor o Propiedad Intelectual. Se pretende garantizar así una mayor libertad, cada persona receptora de una copia o una versión derivada de un trabajo pueda, a su vez usar, modificar y redistribuir tanto el propio trabajo como las versiones derivadas del mismo. Así, y en un entorno no legal, puede considerarse como **opuesto al *copyright*** o Derechos de Autor tradicionales.



6.3.4 Nueva Ley de Propiedad Intelectual del 8 de Julio de 2006 : La polémica del Canon digital

En un momento crispado y difícil en la vida política española, con los partidos mayoritarios enfrentados, la reforma de la Ley de Propiedad Intelectual se aprobó el **pasado año en Julio** con un amplio consenso. La apoyó la mayoría del Congreso. La industria de la tecnología está en contra, las entidades de gestión de derechos, como la SGAE, a favor. Pero, ¿en qué lugar quedan las reivindicaciones de los consumidores?²⁶.

Vigente hasta entonces la Ley de 1992, refundida en 1996, establecía el pago de un canon para los soportes que permitían la copia de obras artísticas, como las cintas de cassette o de vídeo. La nueva Ley pretende trasladar dicho canon a los soportes digitales, estableciendo que **no sólo los CD y DVD vírgenes, sino las tarjetas de memoria, reproductores MP3 e incluso teléfonos móviles** capaces de reproducir música, estarán sujetos al pago del canon.

Novedades de la LPI

Estos son los puntos más importantes en los que se modifica la Ley de Propiedad Intelectual:

- **Copia privada:** En la nueva ley se sigue reconociendo el derecho a la copia privada, pero se restringe. Ahora la copia privada de una obra debe realizarse siempre a partir de una copia obtenida legalmente, y tiene que ser una persona física quien lo haga, no un sistema informático. De este modo quedan excluidas definitivamente las redes P2P de este concepto.
- **Canon para soportes digitales:** El canon sirve para “compensar” a los autores por las copias privadas que se realicen de su obra. En la nueva ley el canon alcanza casi todos los soportes digitales, incluyendo CD y DVD grabables, reproductores MP3, tarjetas de memoria e incluso teléfonos móviles. Quedan de momento exentos los discos duros y las conexiones ADSL.
- **Puesta a disposición interactiva:** Los autores y creadores que difundan sus obras a través de Internet también tendrán una compensación por lo que se denomina "derecho de puesta a disposición interactiva".
- **Número de copias:** Aunque se trató la posibilidad de limitar el número de copias privadas a tres, en el texto definitivo no hay tal límite. Sin embargo, sí

²⁶ Para más información ver : <http://www.consumer.es/web/es/tecnologia/internet/2006/08/02/154014.php>



que hay límites al número de copias privadas en bibliotecas, museos y mundo de la enseñanza.

¿Por qué existe el canon?

Antes del canon, estaba la copia privada. El derecho a la copia privada es una limitación del derecho de copia de los autores sobre sus obras. Por ejemplo, va contra la ley imprimir clandestinamente un libro y vender las copias sin remunerar a su autor. Sin embargo, copiar en casa un CD musical comprado en una tienda, para poder llevar la copia en el reproductor del coche, es legal.

Se “entiende” que la copia privada va en perjuicio de los autores, ya que venden una copia menos y deben ser compensados por ello. La nueva LPI establece que los autores tienen un "derecho irrenunciable" a cobrar por la copia privada de sus obras.

¿Qué significa para los consumidores?

El Ministerio de Cultura y el de Industria tiene que publicar una lista con los soportes sujetos al pago del canon y el importe de cada uno de ellos.

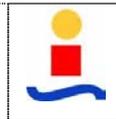
Dicho importe tendrá que ser previamente negociado entre las entidades gestoras de derechos de autor y el sector industrial, con acuerdos renovables cada dos años. Si no hay entendimiento entre ambas partes, serán los ministerios de Cultura e Industria los que impongan su criterio.

Aunque el canon se impondrá a los distribuidores de los soportes físicos digitales, **es inevitable que este coste se traslade al precio final que paga el consumidor.** En resumen, los usuarios pagarán más.

¿Es legal ahora descargar música de las redes P2P?

Cuando se utiliza una **red P2P** como *emule* o *Bittorrent*, se realizan dos procesos. Por un lado se están enviando a la Red los archivos de música o vídeo para que los otros usuarios puedan usarlos. Por otro, se descargan los archivos de otros usuarios de forma anónima.

La subida de archivos a las redes P2P pasa a ser 'comunicación pública', y como tal está sujeta al cobro de licencias por parte de las entidades de gestión.



"Si te descubren con copias obtenidas de una P2P, te pueden hacer pagar la licencia por haber descargado esas canciones", asegura el abogado *De la Cueva*. La cuestión es cómo se puede fijar el precio de la licencia, ya que no soporte físico, y sobre todo, de qué forma se va a controlar el acceso a las redes para descubrir a quienes descargan. Una tarea nada fácil y que interfiere con el derecho a la confidencialidad de las comunicaciones.²⁷

¿Cuanto se pagará por el canon?

Aunque no se puede saber con certeza, según los cálculos de la [AMI](#) (Asociación de Música e Internet) la nueva LPI puede suponer un incremento de 247 euros al año para una familia por su consumo de soportes digitales. Estos son algunos ejemplos del **recargo** estimado en cada producto:

- Regrabadora de DVD: **16,67 euros**.
- Impresora multifunción (uso como fotocopidora): **10 euros**.
- Cámara digital: **9 euros**.
- Reproductor DVD: **6.61 euros**.
- Reproductor MP3: **14 euros**.
- 200 CD vírgenes: **50 euros**.
- 100 DVD vírgenes: **140 euros**.

Cuadro 7: Precios de recargo de los distintos soportes de contenidos digitales debido a la implantación del “canon digital”.

²⁷ Opinión del abogado “De la Cueva” para :
<http://www.consumer.es/web/es/tecnologia/internet/2006/08/02/154014.php>

6.3.5 Otras Noticias Interesantes.

6.3.5.a Noticia Junio 2006: “Los nuevos grupos confían en Internet”

Más de un millón de artistas y grupos promocionan su música por el sistema de la descarga gratuita en Internet, según datos de la Asociación de Música en Internet (AMI). El fenómeno no es nuevo; lo nuevo es la cantidad, favorecida por la extensión de la banda ancha en los hogares.



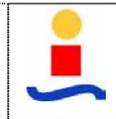
Los nuevos grupos que antes deambulaban de discográfica en discográfica enseñando sus maquetas, ahora las colocan en Internet para que alguien las escuche, ya sea un sello de discos, un promotor musical o simplemente el público que, si hay suerte, recomendará el descubrimiento a sus amigos y éstos a otros. No sería el primer caso.

Que se lo pregunten a los *Stormy Mondays*, que lanzaron su primer disco en la Red en 1998, y se han convertido en pioneros en usar este medio de difusión. Gracias a ello consiguieron ser *número uno* en diferentes *Web* y ser la única banda española en el festival de Woodstock de 1999, cuando también ocuparon portada en *Ciberp@is*.

Figura 31 : Grupo Bilbaíno “Motorsex”

“En un momento en que las grandes discográficas estaban intentando averiguar qué era Internet, nuestra apuesta por la distribución a través de la Red nos llevó a ofrecer gratuitamente un disco al completo bajo licencia copyleft²⁸”, explica el grupo. “Esto no

²⁸ Copyleft: describe un grupo de derechos aplicados a una diversidad de trabajos tales como programas informáticos, arte, cultura y ciencia, es decir, prácticamente casi cualquier reproducción creativa. Así que se puede considerar el término inverso al Copyright.



hizo que disminuyeran las ventas, sino todo lo contrario. Nos dimos cuenta de que ahí estaba el futuro y que teníamos por fin una radio abierta para difundir nuestras canciones”.

Stormy Mondays fueron precursores en España y en el mundo; pero el fenómeno reventó con las redes sociales y, concretamente con *MySpace*, donde la gente se encuentra para compartir aficiones, entre otras, la música. *MySpace* cuenta con unos **60 millones de miembros** y suma cinco millones más al mes. Bajo su dominio circulan diariamente 30 millones de canciones, pertenecientes a unos 500.000 grupos.

Dar el primer paso para publicar tu propia música es sencillo, basta con ir a **www.myspace.com** y darse de alta, como hacen cerca de 250.000 personas al día, completando un sencillo formulario de datos; o en el naciente y latino **thehood.com** o en otros muchos como **YouTube** o **Musicdownload.com**.

Una vez se tiene un nombre y un espacio, se pueden *colgar* fotos, vídeos, y desde luego música, así como crear un perfil de aficiones o visitar otros espacios personales. Este formato se ha revelado idóneo para la difusión de música alternativa ya que el mismo usuario es generador y consumidor de contenidos, y, sobre todo, para la **promoción de los grupos**.

La música se busca según el estilo preferido, la nacionalidad del artista o el número de descargas. Se puede mandar un mensaje, seguir sus novedades y votarlos, buscar grupos similares o ver sus vídeos.

En este panorama es fácil entender que cualquier grupo de barrio pueda *colgar* su música y alcanzar a un público al cual no podría haber llegado de ningún otro modo. Esto es lo que ha permitido que grupos que sólo se promocionan por Internet compitan con éxitos igual de populares que los apoyados por las distribuidoras en el circuito clásico.

Los británicos “**Artic Monkeys**” han sido el primer grupo en vender más de un millón de copias de su álbum y el tema *Crazy* de “**Gnarls Barkley**” ha sido número uno de las listas en el Reino Unido. Más cercano resulta “**El Koala**”, que en cuestión de pocas semanas consiguieron que su tema de rock rústico “*Opá viacé un corrá*” suene en toda España, igual que **Happyness** con su *Amo a Laura*, si bien este último caso no se trata realmente de un grupo, sino de un caso de *marketing* viral de la MTV, aunque puede dar idea de la fuerza de esta tendencia.

6.3.5.b Noticia Agosto 2006: “Universal Music hará competencia a Apple con música gratuita”

iTunes de *Apple* es el líder indiscutible en el mercado de música digital. Pero las grandes compañías discográficas se apresuran a competir con otros modelos de negocios. *Universal Music* ha creado un servicio llamado **SpiralFrog**, que pretende ser el nuevo competidor de iTunes. Comenzó a funcionar en diciembre de 2006, con un sistema diferente al de iTunes: en *SpiralFrog* podrás **bajar música de forma gratuita**. A cambio, tendrás que tragar **un poco de publicidad**, cuya creciente influencia en Internet está atrayendo también a *Warner*, *EMI*, y *Sony BMG*.

Vender canciones a un dólar como iTunes, o regalarlas envueltas en publicidad como Universal Music. He ahí el futuro de la industria musical, que sigue considerando “ilegal” el simple intercambio de música entre particulares. Según las cifras de la Federación Internacional de Productores de Música, **por cada 40 descargas “ilegales”, hay una “legal” o de pago**.

La página Web de Spiral Frog ya está lista, y el hecho de que dos grandes compañías dedicadas a la música digital cambien su modelo de negocio deja entrever cuál será el futuro de la música on line²⁹.



Figura 32 : Fragmento de la página Web de Spiral Frog, nuevo portal de distribución de música on-line de Universal Music:

www.spiralfrog.com

²⁹ Esta noticia se puede encontrar en <http://beatblog.wordpress.com/2006/08/29/universal-music-hara-competencia-a-apple-con-musica-gratuita/>.



6.3.5.c Noticia Febrero 2007 : “El culebrón Industrial de la Música, capítulo 323”

La reconversión del modelo de negocio de la industria musical, parece “un culebrón”. Si consideramos que el primer episodio coincide con el nacimiento de *Naspter* la primera semana de diciembre de 1999, actualmente estamos viendo el episodio 323³⁰. Aplicando un principio del teatro clásico de dividir una obra en tres actos, podíamos dividir las noticias de las últimas dos semanas de la siguiente manera:

Crisis

Crecen las descargas no autorizadas en la Red a pesar de las demandas judiciales
. Cinco días después: **Un estudio demuestra que compartir archivos no afecta a las ventas.**

Clímax

EMI negocia la venta de su catálogo musical en formato MP3 sin protección anticopia. EMI, que atraviesa una importante crisis, ha pedido a los portales de Internet que le remitan sus propuestas y que especifiquen en ellas cuánto dinero estaría dispuesto a pagar por el catálogo. Diez días después: **EMI estudia la venta de su división de música.**

Resolución

Noticias desde un mercado atípico: **Las ventas de descargas de música digital en Japón superaron las ventas de CD en 2006** Un 90% de las descargas se realizaron desde el móvil. Mientras que Alemania prepara medidas de protección al consumidor La iniciativa del Gobierno alemán **obligaría a las tiendas de música en la Red a eliminar las protecciones anticopia.**

³⁰ Para más información ver : http://www.caspa.tv/archivos/cat_musica.html



7. TÉCNICAS DEL MARCADO DIGITAL DE AUDIO

7.1 INTRODUCCIÓN

A pesar de que las actuales técnicas de marcado están lejos de ser perfectas, se han usado ampliamente en los últimos años, ya que son esquemas bastantes sofisticados, en términos de robustez e impercepción, que como ya sabemos, son dos requerimientos muy importantes que están en conflicto mutuo. Los algoritmos de marcado no son fáciles de desarrollar debido a varias razones. Una de ellas es que el oído humano es bastante más sensible que otros órganos sensoriales como los ojos. Los oídos humanos pueden detectar incluso una pequeña cantidad de ruido añadido especialmente cuando la potencia de la señal útil es muy baja.

Teóricamente los esquemas de marcado no ciegos son interesantes, pero no son útiles en la práctica ya que requieren una doble capacidad de almacenamiento y doble ancho de banda para la detección de la marca. Por otro lado los esquemas de marcado ciegos pueden detectar y extraer la marca sin usar el audio no original y por tanto requieren sólo la mitad de capacidad de almacenamiento comparado con los esquemas no ciegos.

Presentaremos en este proyecto cuatro esquemas de marcado digital de audio:

1. **Método de dos saltos (Two-Set method)**. Basado en la diferencia que existe entre dos conjuntos de muestras arbitrariamente tomados de la señal audio.
2. **Método de espectro expandido (Spread-spectrum)**. Basado en la similitud entre un audio marcado y una secuencia pseudoaleatoria.
3. **Método de Réplica** : Que usa una copia cerrada del audio original, es decir, un eco de la señal original.
4. **Automarcado (Self-marking)**. Este método consiste en incrustar la marca en la propia señal audio, modificando la propia señal. Hay dos variantes, una de ellas consiste en modificar la escala de tiempo, y otra en modificar las características sobresalientes o notables de la señal.



Los tres primeros esquemas de marcado (y su correspondiente esquema de detección) han sido programados en el programa *Matlab 7.0*³¹ .

Existen otros muchos esquemas, como la **Modulación basada en el tiempo**³² , que es teóricamente interesante , aunque es un mecanismo no ciego, con lo que en la práctica no sería muy útil ya que sería necesario disponer en el receptor de los datos audio originales.

También hay un conjunto de sistemas de marcado que codifican los datos audio comprimidos³³ no integrando la marca de agua en el audio primitivo , sino en el comprimido. Pero éstos sistemas no serán objeto de nuestro estudio ya que no está disponible un modelo psicoacústico en el dominio comprimido y por tanto no es posible ajustar la marca de agua para asegurar inaudibilidad.

La importancia de la sincronización:

Un aspecto muy importante para las técnicas de marcado es **la sincronización para detectar las marcas**, especialmente **cuando el archivo audio ha sufrido algún ataque**. La mayoría de los esquemas de marcado de audio son “basados en posición”, esto es, las marcas se integran en posiciones específicas y se detectan en estas mismas posiciones. Pero en este caso un ataque con “desplazamiento en la posición” haría que tales esquemas de detección fallasen. El principal propósito de los esquemas de sincronización es encontrar las posiciones desplazadas.

³¹ Ver sección 8 de este documento.

³² Para más información sobre este método ver [1] en Anexo I .

³³ Para más información sobre este método ver [2] en Anexo I .



7.2 MÉTODO DE DOS SALTOS (TWO- SET)

El algoritmo de **Patchwork** (mosaico) es una estimulante y nueva técnica que fue **propuesta inicialmente para el marcado de imágenes**. Se insertaban información en los datos en el dominio del tiempo. Sin embargo se necesitaban grandes esfuerzos para implementarlo completamente. Este algoritmo no tuvo éxito para las aplicaciones audio. No obstante proporciona una base sólida como herramienta para esconder información.

Otros autores³⁴ han intentado mejorar el funcionamiento del algoritmo original de mosaico, propuso algunas ideas para mejorar la efectividad de la marca. También aplicó el algoritmo a datos audio, especialmente en el dominio de la frecuencia.

El algoritmo que se abordará este proyecto se centra en mejorar los anteriores derivando nuevas formulaciones matemáticas que ayudan a mejorar la robustez. Sin embargo si queremos que sea robusto frente a varios ataques deberemos combinar múltiples algoritmos.

El objetivo en este punto es transmitir la idea esencial del **algoritmo Patchwork modificado** (en adelante M PA), que mejora al original considerablemente.

Se abordará en esta sección , aunque sólo teóricamente un nuevo algoritmo que es bastante robusto frente a fragmentación , es **otra variante del método de Pachwork basada en modificar la amplitud sobre las componentes de baja** .

7.2.1 Algoritmo de Patchwork original.

Este algoritmo incrusta una estadística especial dentro de una imagen . Los dos grandes pasos de este algoritmo son :

- (i) Se eligen dos parches aleatoriamente.
- (ii) Se añade una constante de valor pequeño d a las muestras de uno de los parches A y se resta el mismo valor constante d a las muestras del otro parche B .

³⁴ Para más información sobre este método ver [3] en Anexo I .



Matemáticamente:

$$a_i^* = a_i + d , \quad b_i^* = b_i - d$$

Donde a y b son las muestras de los conjuntos de mosaico A y B, respectivamente.

Así que las muestras originales tienen que ser ligeramente modificadas. El proceso de detección empieza con la resta de los valores medios de los dos parches $E [a_i^{**} - b_i^{**}]$. El valor esperado de la diferencia de las medias muestrales se usa para decidir si las muestras contienen la marca digital o no, donde a_i^{**} y b_i^{**} son los valores medios de las muestras individuales a_i^* y b_i^* , respectivamente.

Como se usan dos parches en vez de uno, se puede detectar la marca digital sin las imágenes originales, lo que hacen a este algoritmo ciego.

El algoritmo de *Patchwork* es bastante interesante pero también tiene algunos inconvenientes.

Nótese que :

$$E [a_i^{**} - b_i^{**}] = E [(a' + d) - (b' - d)] = E [a' - b'] + 2d.$$

Este algoritmo asume que $E [a_i^{**} - b_i^{**}] = 2d$ debido a la suposición previa de que muestras aleatorias aseguran que los valores esperados son tales que $E [a_i^{**} - b_i^{**}] = 0$.

Sin embargo la diferencia de las medias muestrales no siempre es 0 en la práctica. Aunque la distribución de las muestras marcadas se desplace a la derecha como se muestra en la Figura 33, la probabilidad de una detección errónea todavía existe, que sería el área menor que cero en la distribución marcada.

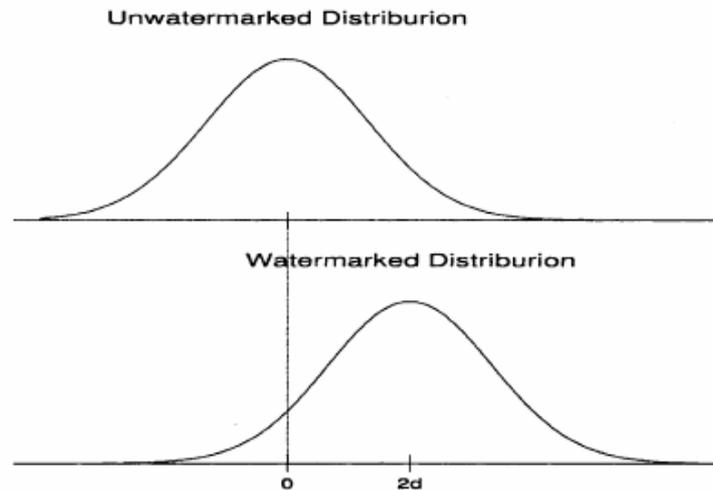


Figura 33: Distribución de las muestras marcas y no marcadas en el algoritmo de MDA

El funcionamiento del algoritmo de *Patchwork* depende de la distancia entre las medias muestrales y d , que afecta a la inaudibilidad. Además el algoritmo de *Patchwork* se diseñó originalmente para imágenes, que son bien distintas del audio en muchos aspectos. Así que era impracticable aplicar este algoritmo directamente a sistemas de marcado de audio.

El algoritmo original se ha aplicado al dominio espacial (o, equivalentemente en audio el dominio temporal). Sin embargo la integración de marcas en dominio temporal es vulnerable incluso ante pequeños ataques y modificaciones.

7.2.2 Algoritmo Patchwork Modificado³⁵

Este método supone una mejora sustancial en cuanto a robustez con respecto a la versión anterior del algoritmo de *Patchwork*, ya que la generación de números aleatorios puede mejorar la robustez sin pérdidas de calidad para la señal audio. Estas mejoras se pueden enumerar como sigue:

³⁵ Para más información sobre este método ver [4] en Anexo I.



- 1) Se calculan la media y la varianza de las muestras para detectar la marca. En el algoritmo original sólo se calculaban la media.
- 2) Para el tratamiento de imágenes se asumía que la distribución de las muestras era uniforme, para audio asumiremos que la distribución es normal.
- 3) La función de integración es multiplicativa y no aditiva:

$$a_i^* = a_i (1+d) \text{ y } b_i^* = b_i (1+d).$$

- 4) Para tratamiento de señales de audio se intentará decidir el valor de d adaptativamente, mientras que para imágenes era un valor fijo en cada experimento.

La función de integración ocasiona cambios considerables en la escala cuando d es grande, ya que esta función es multiplicativa. Así que se espera una seria degradación de la calidad. El valor esperado de las medias muestrales se muestra a continuación:

$$E[a'^* - b'^*] = E[a'(1+d) - b'(1-d)] = E[a' - b'] + dE[a' + b'].$$

Si $E[a' + b'] = 0$, entonces $E[a'^* - b'^*] = 0$ y, consecuentemente no contribuye a ensanchar el espacio entre los dos picos mostrados en Figura 31. Significa que los dos picos están situados demasiado cerca el uno del otro para detectar la marca digital. Para ensanchar este espacio el valor d debe ser grande. Desafortunadamente esto haría que la calidad del audio fuera peor. Así que se requiere que $E[a' + b'] \neq 0$ para tener un cierto éxito con nuestra aplicación. Sin embargo, puede que a veces estos requerimientos no se necesiten, por ejemplo en el dominio DCT. Otra diferencia entre el algoritmo de Patchwork para imágenes y para audio, es que el parámetro d se decide adaptativamente. Este concepto es muy importante ya que permite algoritmos de marcado que esconden la información de acuerdo con las características del audio. De esta forma la inaudibilidad y la robustez pueden ser mejoradas considerablemente.

Integración de la marca de agua

El algoritmo que se propone a continuación inserta marcas de agua en el **dominio de la frecuencia**. Aunque este algoritmo está basado en el dominio *DCT*, puede ser aplicado a cualquier dominio, bien sea *FFT* o *DWT*. Sea N el tamaño de bloque en

que se aplicará la *DCT* y en el que un código de bit será insertado. Para hacer que el procedimiento de toma de decisión sea efectivo el código de bit será insertado repetida y consecutivamente **R** veces. La integración de la misma información **R** veces y la detección basada en mayoría de ocurrencias corrige en gran medida la funcionalidad.

Los **pasos para la integración se resumen a continuación:**

1. Mapeamos la clave secreta y la marca digital a la semilla de un generador de números aleatorios. A continuación generamos un juego de índices $I = \{I_1, \dots, I_{2n}\}$ cuyos elementos son enteros seleccionados de forma pseudoaleatoria pertenecientes al intervalo $[K_1, K_2]$, donde $I \leq K_1 < K_2 \leq N$. Nótese que se necesitarán dos juegos de índices I^0 e I^1 para denotar un código de un bit, 0 y 1 respectivamente. También se pueden usar múltiples juegos de índices para designar múltiples bits de información de código en un sólo bloque. Por ejemplo podemos expresar dos bits de información de código con cuatro juegos de índices diferentes. La elección de K_1 y K_2 es un paso crucial en el proceso de marcado porque estos valores **controlan la robustez y la inaudibilidad de la marca de agua.**

2. Sea $F = \{F_1, \dots, F_N\}$ los coeficientes DCT cuyos subíndices denotan el rango de frecuencia desde las más bajas hasta las más altas frecuencias. Definimos $A = \{a_1, \dots, a_n\}$ como el subconjunto de F cuyos subíndices se corresponden con los primeros n elementos del juego I^0 o I^1 , (dependiendo del código de bit que insertemos en ése bloque) y con una definición similar $B = \{b_1, \dots, b_n\}$ con los últimos n elementos, esto es $a_i = F_{I_i}$ y $b_i = F_{I_{n+i}}$ para $i = 1, \dots, n$.

3. Calculamos las **medias muestrales y el error estándar** del estadístico:

$$\bar{a} = n^{-1} \sum_{i=1}^n a_i \quad \text{y} \quad \bar{b} = n^{-1} \sum_{i=1}^n b_i.$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (a_i - \bar{a})^2 + \sum_{i=1}^n (b_i - \bar{b})^2}{n(n-1)}}.$$

Figura 34: Medias muestrales y error estándar cuadrático medio

4. La función de integración que presentamos abajo introduce un cambio por desplazamiento local:

$$a_i^* = a_i + \text{sign}(\bar{a} - \bar{b})\sqrt{C}\frac{S}{2},$$

$$b_i^* = b_i - \text{sign}(\bar{a} - \bar{b})\sqrt{C}\frac{S}{2}$$

Donde C es una constante y *sign* es la función signo. Esta función hace a los valores grandes más grandes y a los pequeños más pequeños de tal manera que la distancia entre dos medias muestrales sea siempre mayor que $d = \sqrt{C} S$ como se muestra en la Figura 33.

5. Finalmente, reemplazamos los elementos seleccionados a_i y b_i por a_i^* y b_i^* , respectivamente, y luego aplicamos la *DCT* inversa.

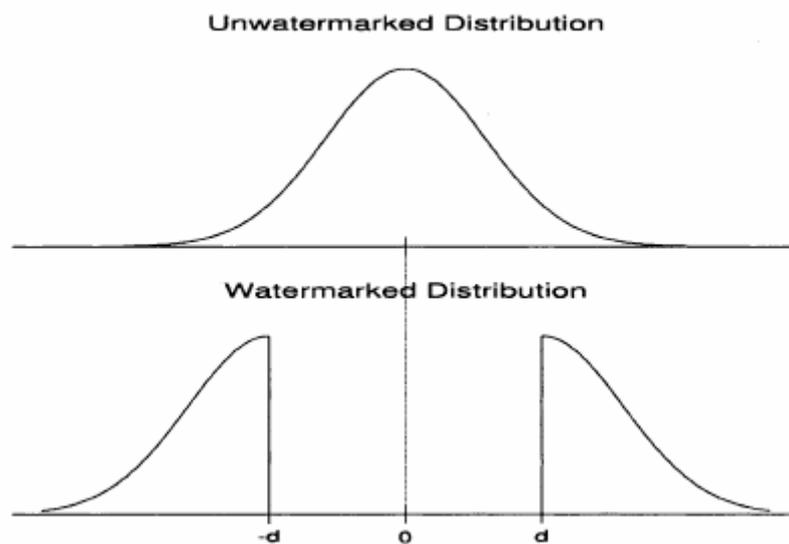


Figura 35: Distribución de las muestras.



Detección de la marca de agua

Como la función de integración propuesta antes introduce cambios relativos en la ubicación de los dos juegos, en un test de estadística que se usa para decidir si la marca digital se ha añadido o no debería concernir la distancia entre las medias de A y B . En esta sección presentaremos el algoritmo de detección e investigaremos las propiedades estadísticas del test estadístico.

El proceso de decodificación es el siguiente:

- I. Se mapea la clave secreta y la marca de agua a la semilla de un generador de número aleatorio y luego se generan los sets I^0 e I^1 que se aplicaron en el proceso de integración.
- II. Se obtienen los subconjuntos A_I y B_I de $F = \{ F_1, \dots, F_N \}$ y se calculan las medias muestrales y el error estándar. Se obtienen los subconjuntos $A_0 = \{ a_{01}, \dots, a_{0n} \}$ y $B_0 = \{ b_{01}, \dots, b_{0n} \}$ del juego de índices I^0 , y $A_1 = \{ a_{11}, \dots, a_{1n} \}$ y $B_1 = \{ b_{11}, \dots, b_{1n} \}$ del juego de índices I^1 , todos procedentes de $F = \{ F_1, \dots, F_N \}$ y se calculan las medias a_0 , b_0 , a_1 y b_1 , y los errores estándar S_0 y S_1 .
- III. Calculamos las estadísticas de test:
Y definimos T^2 como el mayor de los valores obtenidos de las estadísticas.
- IV. Comparamos T^2 con el umbral M y se decide que la marca de agua se ha insertado si $T^2 > M$. Sólo cuando $T^2 > M$, se asigna un 0 si $T_0^2 > T_1^2$ y un 1 en otro caso.

7.2.3 Modulación en amplitud : Componentes de baja frecuencia³⁶.

Este método utiliza las **componentes de baja frecuencia** para localizar e insertar las marcas de agua digital.

LFC (Low Frequency Components):

Una señal audio , en su formato original es una mezcla de componentes de baja y alta frecuencia que son ondas sinusoidales en amplitudes irregulares. También sabemos que cuando una señal audio se pasa por un filtro de baja frecuencia , todas las altas frecuencias se reducen o eliminan y sólo permanecen intactas las bajas frecuencias. Este resultado puede observarse en la siguiente Figura 36:

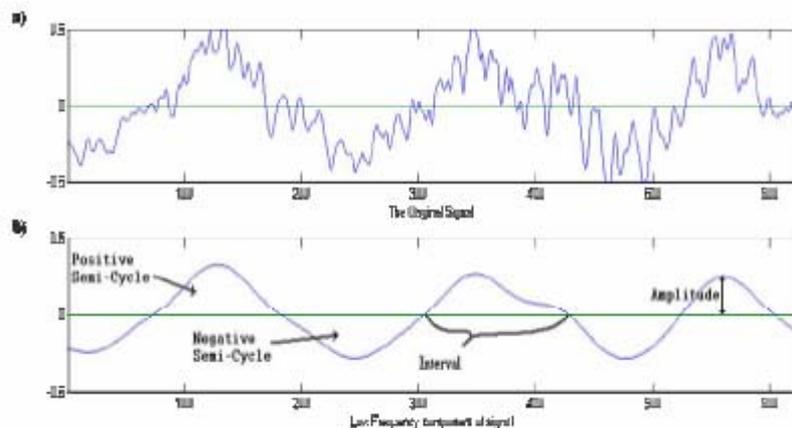


Figura 36: a) Señal audio. b) Componentes de baja frecuencia de la señal

Semiciclos:

Un semiciclo es una porción de la señal positiva o negativa. La longitud de un semiciclo (medido en número de muestras) se llama “Intervalo de semiciclo”.

Un semiciclo se dice que es modificable si su amplitud media se puede modificar sin distorsión perceptible para la señal original. Las amplitudes medias e intervalos deben estar entre ciertos rangos.

³⁶ Para más información ver referencia [5] en Anexo I.

Cuartetos:

Un cuarteto es un grupo de 4 semiciclos consecutivos modificables . El primero y tercero deben ser positivos y el segundo y cuarto negativos.

Proceso de integración de la marca

Como se muestra en la Figura 37, la señal original se hace pasar temporalmente por un filtro Paso Baja para extraer las componentes de baja frecuencia. Después buscamos los semiciclos modificables para determinar así los cuartetos.

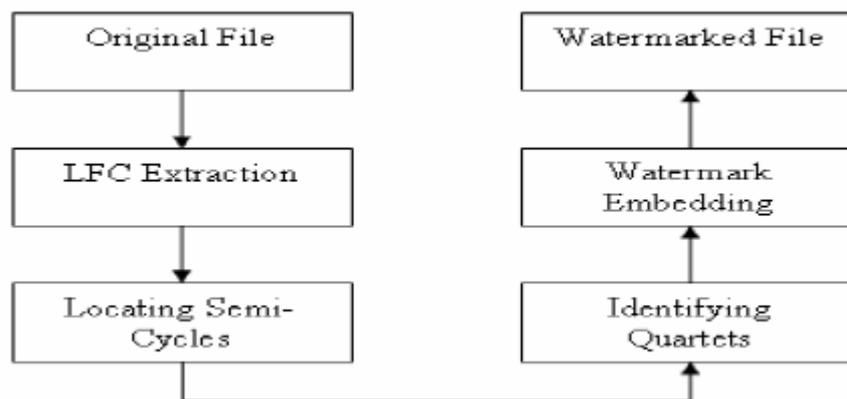


Figura 37: Proceso de integración de la marca para el método de LFC.

Este paso es necesario porque el codificador no sabe a priori las localizaciones de los cuartetos. Cada cuarteto se usará para integrar en el un único bit de la marca digital. Una vez que sepamos las localizaciones de todos los cuartetos en las LFCs, se marcan las localizaciones correspondientes a éstos cuartetos en la señal original.

Cada bit de la marca digital será codificados con 4 bits “físicos” : el primer bit físico será idéntico al bit de la marca que estamos codificando y los otros 3 bits codifican la posición de la marca dentro del byte. Cada cuarteto representa entonces, un bit de la marca. Y cada semiciclo modificable tiene un significado en la integración. Usamos el primer semiciclo para representar el primer bit físico, que es, el valor de el bit de la marca, y los tres restantes semiciclos codifican la localización dentro del byte.

Por ejemplo supongamos que vamos a integrar el quinto bit de una marca de 8 bits que es un “1”:



Figura 38: Una marca digital de 8 bits.

Los cuatro semiciclos modificables serán modificados con 1,1,0 y 1: (1 por el valor del bit actual, y 101 por la localización dentro del byte). Este proceso se repetiría en toda la marca.

Como el número de cuartetos en una pieza típica de música es mayor que el número de bits de la marca, la marca será integrada muchas veces en la señal. Así incrementaremos la robustez frente a fragmentación.

Modificación del semiciclo :

Sean:

A_{max} : Máxima amplitud media permitida para un semiciclo.

A_{min} : Mínima amplitud media permitida.

A_{mid} : El valor medio entre A_{min} y A_{max} .

I_{max} : Máximo intervalo permitido para un semiciclo modificable.

I_{min} : Mínimo intervalo permitido.

Entonces:

Si un semiciclo tiene que ser modificado con un “1”, su amplitud media se modifica con :

$$A_1 = [A_{mid} + A_{max}] / 2 .$$

Y si tiene que ser modificado con un “0” se modifica en :

$$A_0 = [A_{mid} + A_{min}] / 2.$$

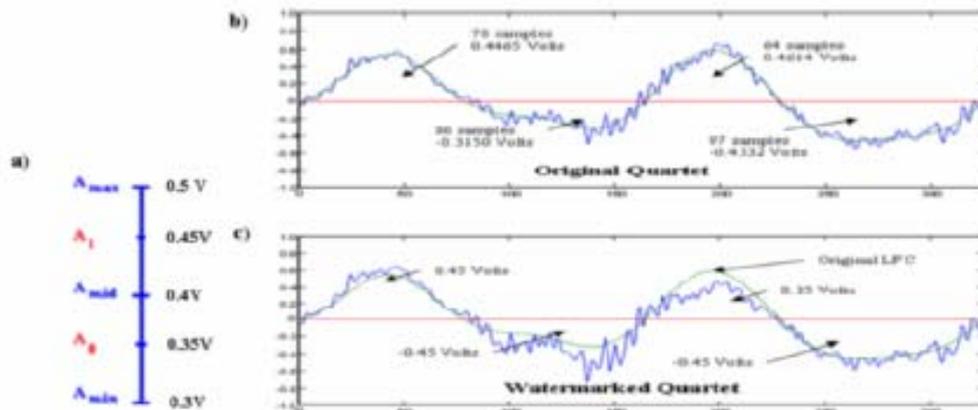


Figura 39: a) Parámetros de amplitud media. b) Cuarteto original. c) Cuarteto marcado

Proceso de extracción de la marca

El proceso de extracción de la marca es similar al proceso de integración. La señal audio se pasa por un filtro Paso de Baja para extraer sus LFCs. Nótese que no importa lo que le ocurra a la señal marcada, ya que se conservará su calidad porque preserva las componentes de baja frecuencia.

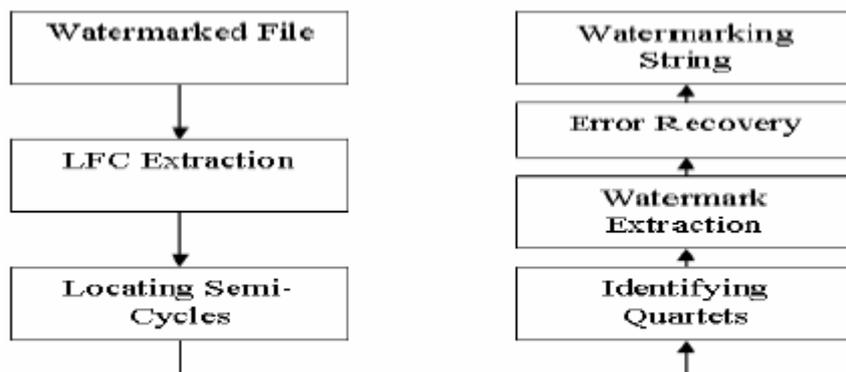


Figura 40 :Proceso de extracción de la marca por el método de LFC.

El decodificador intenta localizar todos los semiciclos modificables, para determinar así los cuartetos.

Como se muestra en la Figura 39, el decodificador encontraría cuatro semiciclos consecutivos que satisfacen los parámetros A_{mid} , A_{max} , I_{mid} e I_{max} (condición indispensable para considerarlos cómo válidos). El decodificador inserta entonces los valores del cuarteto en dos tablas pre-inicializadas. La primera tabla representa los valores de bits y la segunda representa los valores de localización dentro de bit.

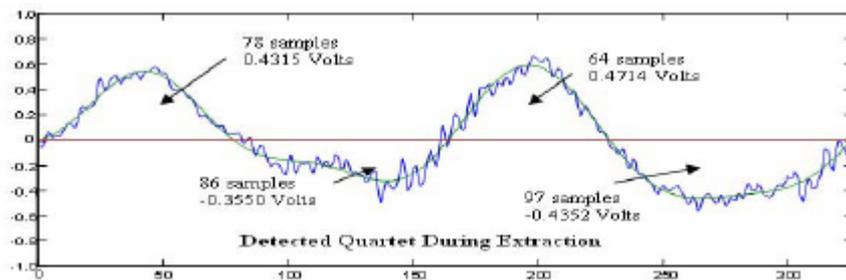


Figura 41: Detección de un cuarteto simple por el método de LFC.

Los valores se determinarán de acuerdo con las siguientes dos condiciones:

- Si la amplitud media del semiciclo es mayor que A_{mid} (0.4V en nuestro ejemplo); entonces el valor extraído es un “1”.
- Si la amplitud media del semiciclo es menor que A_{mid} , entonces se extrae un “0”.

Esta técnica resulta **bastante robusta**. Una ventaja particular de esta técnica es que el decodificador no necesita una copia de la señal original. Sólo necesita los parámetros de promediado de Amplitud del semiciclo. Otra ventaja de este método es la posibilidad computacional de extraer la marca mientras se reproduce la canción, ya que es posible obtener los LFCs del archivo audio usando un filtro paso baja. Así que esta técnica podría resultar útil en la identificación del Copyright en canciones para emisiones de radio.



7.3 MÉTODO DE RÉPLICA

Los sistemas de Echo-hiding (Ocultación por eco) utilizan la propia señal original como marca de agua. La modulación por réplica también integra parte de la señal original en el dominio de la frecuencia como marca de agua. Así el detector puede generar una réplica del audio marcado y calcular las correlaciones. La ventaja más significativa de este método es su **alta inmunidad frente a ataques de sincronización**.

7.3.1 Echo- hiding o marcado por eco³⁷.

Los sistemas de marcado basados en la ocultación por eco integran datos dentro de la señal audio original introduciendo un eco en dominio del tiempo :

$$x(n) = s(n) + \alpha s(n - d).$$

Ecuación 1

Hemos mostrado por simplicidad un eco simple (Figura 42) , sin embargo se pueden añadir múltiples ecos . Los mensajes binarios son integrados como ecos de la señal original con uno o dos retrasos, es decir muestras retrasadas d_0 y muestras retrasadas d_1 .

Para detectar estos retrasos se usa *Autocepstrum* o detección *Cepstrum*. Un análisis Cepstrum duplica los impulsos cepstrum cada d muestras. La magnitud de los impulsos que representan los ecos es más pequeña que la magnitud de la señal original. La solución a este problema es tomar la autocorrelación del Cepstrum³⁸.

³⁷ Para más información ver referencia [7] en Anexo I.

³⁸ Para más información ver referencia [6] en Anexo I..

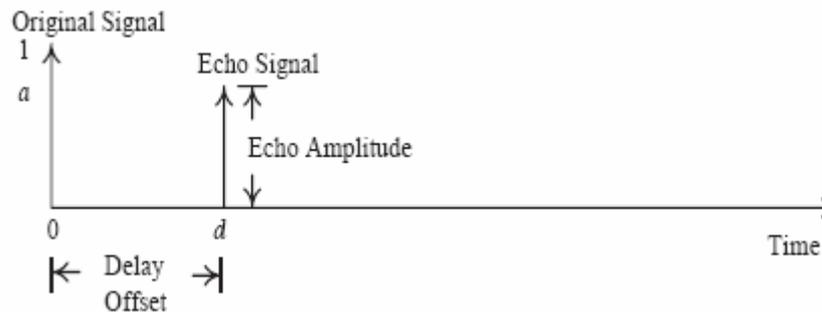


Figura 42 : Kernel para el marcado por eco.

La inserción de un doble eco puede reducir la distorsión de la señal percibida y mejorar la robustez:

$$x(n) = s(n) + \alpha s(n - d) - \alpha s(n - d - \Delta).$$

Ecuación 2

La ocultación de la marca en el eco normalmente es imperceptible para el oído humano e **incluso puede mejorar la riqueza del sonido**. Los métodos de sincronización adoptan frecuentemente este método para una sincronización grosera. La **desventaja de esta técnica su alta complejidad debido durante la detección**, debido al uso de *análisis Cepstrum* o autocepstrum. Por otro lado, cualquiera podría detectar un eco en la señal sin previo conocimiento. En otras palabras, proporciona la clave para ataques malintencionados. Ésta es otra de las desventajas de los sistemas de Echo-hiding. **Extender el eco en el dominio del tiempo podría reducir la posibilidad de ataques**³⁹. Otra forma de evadir el ataque ciego es con una modulación de auto-correlación que obtiene la señal de marcado $w(n)$ de la señal eco $x(n)$ en Ecuación 2.

³⁹ Para más información ver referencia [8] en Anexo I.



7.3.2 Modulación de réplica

La modulación de réplica es un nuevo método de marcado que integra una señal de réplica , es decir, una **versión modificada del audio original**. Existen tres métodos de modulación por réplica:

- Por desplazamiento en frecuencia.
- Por desplazamiento en fase.
- Por desplazamiento en amplitud.

El método de **desplazamiento en frecuencia** transforma $s(n)$ al dominio de la frecuencia, copia una fracción de las componentes de baja frecuencia en ciertos rangos (por ejemplo , de 1 kHz a 4kHz), los modula (moviendo por ejemplo 20 Hz , con un factor de escala apropiado), los inserta de nuevo en las componentes originales (para cubrir los rangos de 1020 Hz a 4020 Hz) y antitransforma al dominio del tiempo para generar la señal de marca $w(n)$.

Como los componentes de frecuencias son desplazados y añadidos en el dominio de la frecuencia, llamamos “ *Eco en la frecuencia* ” para contrastarlo con “ *Eco en el tiempo* ” , el caso donde la réplica se obtiene con un desplazamiento en el tiempo de la señal (o una porción de ella). Esta señal modulada $w(n)$ es la réplica. La réplica puede usarse como una portadora de la misma manera que se hace con la secuencia PN en la técnica de espectro expandido⁴⁰.

Así que la señal marcada tiene la siguiente forma:

$$x(n) = s(n) + \alpha w(n)$$

Así como las componentes son invariantes frente a modificaciones, la réplica en frecuencia puede generarse a partir de la señal marcada. La marca $\tilde{w}(n)$ puede generarse a partir de la señal marcada $x(n)$ con un procesamiento acorde con el proceso de integración. De ahí , la correlación entre $x(n)$ y $w(n)$ para obtener la marca se calcula como sigue:

⁴⁰ Ver apartado 7.4 de esta misma sección.

$$c = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N s(i)\tilde{w}(i) + \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \alpha w(i)\tilde{w}(i).$$

Ecuación 3.

Como usamos una banda de frecuencia para el límite inferior mucho más grande que el desplazamiento en frecuencia, y la correlación se hace sobre un número entero de periodo de desplazamiento, tenemos una correlación muy pequeña entre $s(n)$ y $\tilde{w}(n)$ en la ecuación anterior.

Por otro lado, el espectro del producto $w(n)\tilde{w}(n)$ tiene una fuerte componente DC y, de ahí, c contiene un término de valor medio de $w(n)\tilde{w}(n)$, esto es, contiene la señal auxiliar escalada en el último término de la ecuación anterior.

Nótese que el desplazamiento en frecuencia es justo la manera de generar la réplica. Una **combinación de desplazamiento en frecuencia, en fase y en amplitud hace a la modulación de réplica más difícil de atacar intencionadamente**, porque habría que obtener la clave y hacer la correlación entre $s(n)$ y $\tilde{w}(n)$. La principal ventaja en comparación con la *secuencia PN* es que ésta sincronización no es necesaria durante la detección, lo que hace a la modulación de réplica **immune frente ataques**. En técnicas que usan la *secuencia PN*, cuando se realiza un ataque malintencionado (como, por ejemplo cortar una pequeña porción del audio y empalmar al resto de la señal) la sincronización es obligatoria.

Por el contrario en la modulación de réplica es libre frente a sincronización ya que la réplica y la original dan el mismo valor de correlación antes y después de cortar y empalmar. Por supuesto, ataques en la escala de tiempo *sí afectan* a los bits y a los paquetes de sincronización.

Un *Escalado en el Pitch* es una variante de la modulación de réplica, que hace posible que la longitud del audio continúe invariable, aunque como consecuencia los armónicos son también expandidos o contraídos.



7.4 MÉTODO DEL ESPECTRO EXPANDIDO (SPREAD- SPECTRUM)

7.4.1 Introducción

Es un ejemplo de método de correlación que integra una secuencia directa pseudoaleatoria y detecta la marca digital calculando la correlación entre la secuencia pseudoaleatoria y la señal de audio. El esquema de espectro expandido es el más popular y ha sido ampliamente usado⁴¹.

En general todos los sistemas de Espectro Expandido fueron originalmente desarrollados para comunicaciones militares. Las comunicaciones con técnicas de Espectro Expandido se han hecho más populares debido a que tienen muy buenas características de ruido, esto es, estas comunicaciones son **difíciles de interceptar**. Sin embargo también tienen serias desventajas, como por ejemplo que para reducir el ruido audible requiere **alto tiempo de consumo**.

Todos los sistemas basados en la técnica del espectro expandido siguen los siguientes criterios:

- El ancho de banda de la secuencia de datos transmitida ,es decir, del mensaje oculto e mucho mayor que el mínimo ancho de banda requerido para la transmisión.
- La secuencia de datos es extendida a un código pseudoaleatorio , que es independiente de la secuencia de datos original. Este mismo código debe ser usado en el receptor para contraer la señal recibida y poder recuperar así el mensaje original escondido.

A continuación se expone la **idea básica** para un sistema de espectro expandido para dar a conocer los principios fundamentales de esta popular técnica.

Más adelante se expone una técnica más concreta y precisa que esta técnica para construir un integrador y detector de marca, basándose también en características de tiempo y frecuencia.

⁴¹ Para más información ver referencias [9], [10], [11], [12] y [13] en Anexo I.

7.4.2 Idea básica⁴²

El método del *Espectro Expandido* consiste en **extender una secuencia pseudoaleatoria a lo largo de una señal audio**. El ancho de banda del ruido puede ser extendido en el dominio del tiempo o en el dominio transformado (con cualquier transformación, ya sea DCT, DFT y DWT).

La marca binaria $v = \{0,1\}$ o su equivalente bipolar $b = \{-1,1\}$ se modula con una secuencia pseudoaleatoria $r(n)$ generada por medio de una **clave secreta** (que será neutra “clave de marcado”). A continuación la marca modulada $w(n) = b r(n)$ es escalada según la energía requerida de la señal de audio.

El **factor de escalado** α controla la “compensación” entre la robustez y la inaudibilidad de la marca. La marca modulada es $w(n) = r(n)$ si $v = 1$ ó bien $w(n) = -r(n)$ si $v = 0$. Luego la señal modulada se añade a la original para producir el “audio marcado” tal que :

$$x(n) = s(n) + \alpha w(n)$$

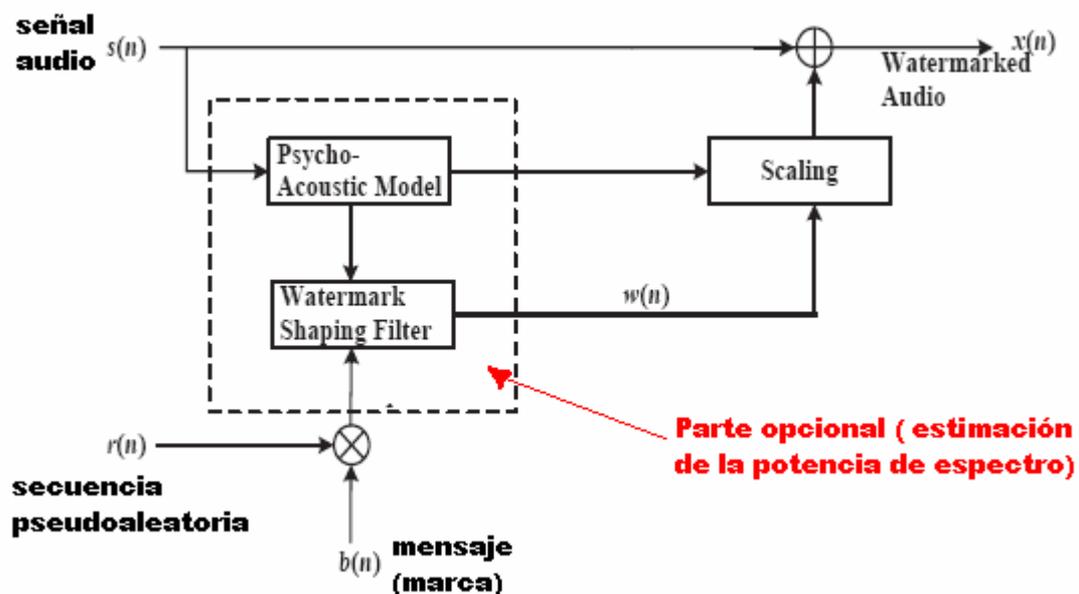


Figura 43 : Típico esquema de marcado por el método Spread Spectrum

⁴² Idea básica tomada de referencia [14]

El esquema de detección usa correlación lineal, ya que la secuencia pseudoaleatoria $r(n)$ se conoce y puede ser regenerada por medio de la clave (la misma que se usó para marcar) . Las marcas se detectan usando correlación entre $x(n)$ y $r(n)$.

$$c = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x(i)r(i)$$

Ecuación 4

Esta ecuación nos lleva a la suma de correlación de dos componentes:

$$c = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N s(i)r(i) + \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \alpha br^2(i)$$

Ecuación 5

Se asume a que el primer término es casi 0 si se tienen bajas amplitudes. Si $r(n)$ y $r(n)$ son independientes, el primer término desaparece. Aunque éste no suele ser el caso.

De ahí , que el audio marcado se procese como se muestran en la Figura 44 para tener esta suposición válida.

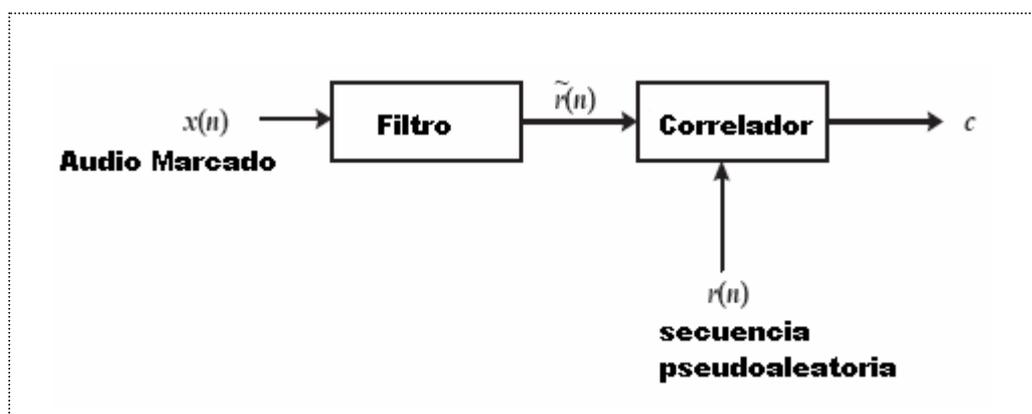


Figura 44: Un típico bloque de procesamiento para el detector de un esquema de marcado Spread-Spectrum

Además los métodos de procesamiento incluyen filtrado HP, códigos de predicción lineal y filtros blanqueadores.

Tales procesamientos hacen que el 2º término de la Ecuación 5 tenga una amplitud mucho mayor que el 1º y pueda ser despreciado. **Si el primer término tuviera una magnitud comparable con el segundo la detección podría resultar errónea.**

Basándonos en la hipótesis de test se define el valor de c ;

$$m = 1 \quad \text{si} \quad c > \tau$$

$$\text{ó} \quad m = 0 \quad \text{si} \quad c \leq \tau ,$$

donde τ es un umbral predefinido a la salida del detector.

Un valor típico para τ es 0. Nótese que este umbral tiene un efecto muy diferente en la probabilidad de detección de falso positivo o falso negativo⁴³.

7.4.3 Nueva técnica de marcado de Espectro expandido basada en características tiempo-frecuencia⁴⁴.

Debido a que el esquema de marcado por Espectro Expandido ha sido ampliamente estudiado existen muchas variaciones propuestas que funcionan a la perfección. Se presenta a continuación el esquema tanto de marcado como de detección que se ha implementado Matlab 7.0. **Lo explicaremos aquí de manera más teórica y en la siguiente sección de este documento se abordarán los temas referentes al código Matlab usado para éste mismo método.**

⁴³ Falso positivo es un tipo de error en el que el detector determina que existe marca cuando no la hay. Por el contrario un Falso Negativo es cuando el detector falla al no detectar una marca que estaba presente.

⁴⁴ Para más información ver referencia [15] en Anexo I.

En esta técnica no sólo se extiende el mensaje original en una secuencia pseudoaleatoria (en adelante PN-secuencia), sino que también usamos modulación BPSK con la *Frecuencia Media Instantánea* de la señal como señal portadora variable.

La señal modulada y marcada se puede definir como sigue:

$$w(n) = a(n) m_i(n) pn'_i(n) \cos (2\pi f_0 (n))$$

Ecuación 6.

Aquí $m_i(n)$ se refiere a la marca digital o mensaje a transmitir, $pn'_i(n)$ la versión extendida y filtrada paso baja de la *en-secuencia* y $f_0 (n)$ es la frecuencia portadora variable en el tiempo (la IMF de la señal audio, en adelante). La *en-secuencia* generada es una secuencia bipolar que toma valores 1 y -1 con igual probabilidad. Por otro lado, la potencia de la señal portadora se determina con el factor de escalado $a(n)$ y será ajustada de acuerdo con las propiedades de enmascaramiento de la señal audio ⁴⁵.

En la siguiente Figura se muestra el diagrama de bloques usado para la generación de la marca.

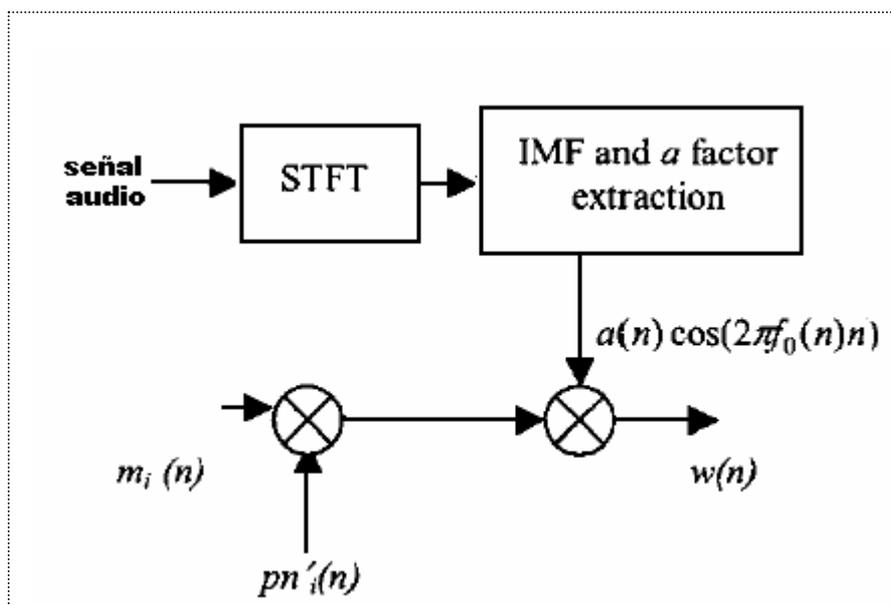


Figura 45: Generación de la marca usando IMF .

⁴⁵La forma de $a(n)$, debida a las propiedades de enmascaramiento se explican en el artículo de referencia [16] de Anexo I.



Frecuencia Media Instantánea:

Para comprender la necesidad de la frecuencia media instantánea (en adelante IMF), debemos primero darnos cuenta de las limitaciones de la transformada de Fourier. La Transformada de Fourier Estándar proporciona información acerca de una señal en dominio de la frecuencia o bien en dominio del tiempo, pero no en ambas. Esto hace que la DFT no sea útil para señales estacionarias, donde el contenido de la frecuencia con la señal es variante con el tiempo. En este caso la transformada corta de Fourier (STFT) puede ser usada para interpretar la señal tanto en tiempo como en frecuencia calculando la DFT de la señal para cada intervalo o ventana de tiempo.

La IMF obtenida desde la STFT puede ser usada para mostrar la frecuencia local en una ventana de tiempo determinada.

Podríamos expresar la IMF como la derivada de la fase con respecto al tiempo. Sin embargo, este cálculo podría dar negativo si la frecuencia instantánea es negativa. Basándonos en el trabajo de “Gabor” sobre “frecuencia instantánea”, Ville Devised the Wigner-Distribution (WVD), la IMF de una señal no estacionaria fue calculada como :

$$f_i(n) = \frac{\sum_{f=0}^{f_m} f \text{TFD}(n, f)}{\sum_{f=0}^{f_m} \text{TFD}(n, f)}$$

Ecuación 7

La IMF de una señal es calculada **sobre cada ventana** de tiempo de la STFT y TFD se refiere a la energía de la señal dada en tiempo y frecuencia.

Algoritmo de marcado:

La pn-secuencia discutida en esta sección $p_{ni}(n)$ debe ser generada en la parte del receptor de la misma manera en que se generó en el integrador de marca. Además mientras más larga sea la longitud de esta secuencia, más grande será el valor de la autocorrelación en cero (es decir, la energía de la señal) .

Después de generar la PN-secuencia con la misma clave de marcado, se hace filtrado paso baja de acuerdo con las características de frecuencia de la señal :

Una vez que la marca es escalada con el factor $a(n)$ y modulada con la IMF, se le añadiría la señal audio original en el dominio del tiempo, como se muestra en la Figura 47.

$$z(n) = s(n) + w(n),$$

donde $s(n)$ representa la señal audio original.

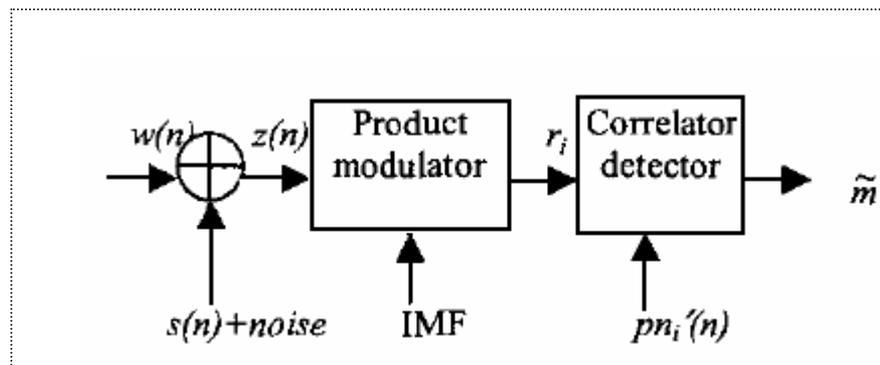


Figura 47 : Detector de marca digital

Para recuperar la marca de agua, y de ahí el mensaje escondido el receptor necesita conocer la IMF y la PN secuencia.

En el escenario de decodificación nos encontramos los dos pasos siguientes:

- I. La señal de música marcada y la señal con frecuencia portadora variable generada localmente se añaden a un “Modulador de Producto”.
- II. La contracción del espectro ocurre correlando el resultado obtenido en Paso1 con la PN-secuencia. El mensaje resultante en este punto sería:

$$\tilde{m} = \frac{\langle r_i, pn'_i \rangle}{\|pn'_i\|}$$

Ecuación 9

Finalmente se usaría un umbral de detección para recuperar los bits del mensaje.



7.5 MÉTODO DE AUTOMARCADO (SELF-MARKING)

Este método incrusta una señal especial dentro de la señal audio, **cambiando así la forma de la señal en el dominio del tiempo o de la frecuencia**. Según algunos autores , pertenecen a esta categoría todos los métodos que modifiquen la señal en su escala temporal o frecuencial , como el “Método de modificación de la escala de tiempo”⁴⁷ , y otros muchos esquemas basados en características notables.

7.5.1 Método basado en la modificación de la escala de tiempo

Modificar la escala de tiempo supone un ataque desafiante que puede ser usado para marcar las señales de audio. Al modificar la escala de tiempo, nos referimos tanto a “comprimir” como a “expandir” la escala.

La idea básica consiste en que **se cambia la escala de tiempo entre dos extremos sucesivos** (par de máximos y par de mínimos consecutivos) de la señal de audio. Esta idea podemos verla en la Figura 48.

⁴⁷ Para más información ver [17] y [18] en Anexo I.

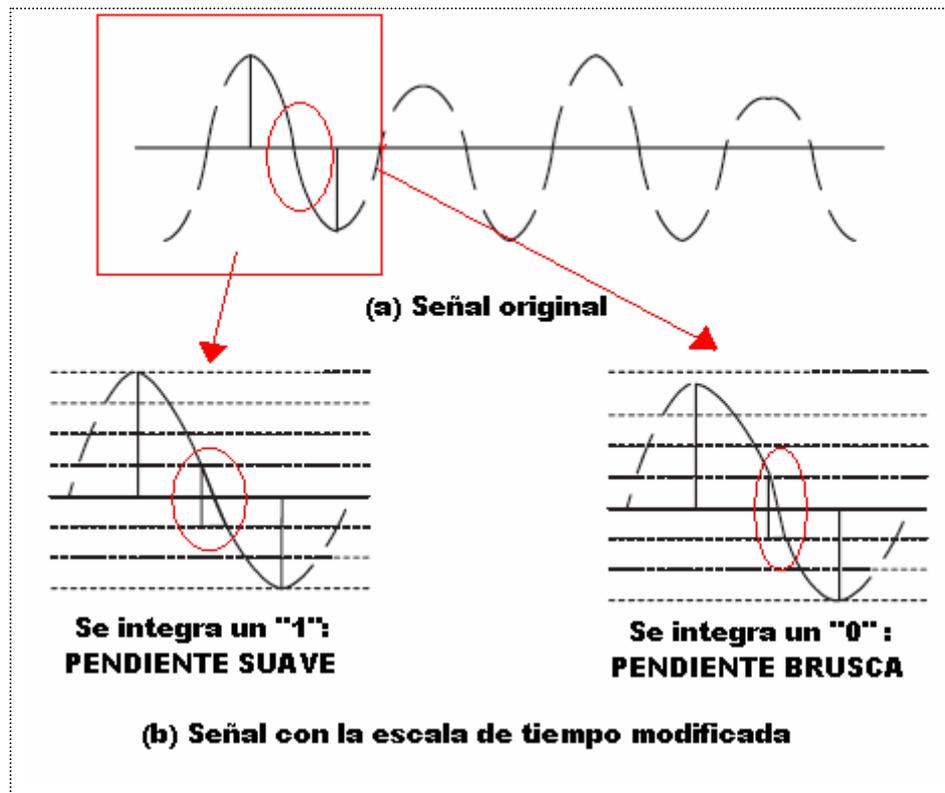


Figura 48: Concepto de modificación en la escala de tiempo de un esquema de marcado digital : Los mensajes , tanto “1” como “0” pueden integrarse cambiando las pendientes entre dos extremos sucesivos.

El intervalo de la señal que está entre los dos extremos se posiciona en N segmentos de igual amplitud. Podemos cambiar la pendiente de la señal en ciertos intervalos de amplitud, de acuerdo con los bits que queremos incrustar. Por ejemplo, si existe un cambio de pendiente entre dos máximos , significará que hemos insertado entre los dos máximos un “0” o un “1” , dependiendo si la pendiente se ha hecho más brusca o más suave que la original, respectivamente⁴⁸.

⁴⁸Para más información ver referencia a artículos [17] y [18] en Anexo I.



7.5.2 Basado en características notables

Las características notables de una señal son muy llamativas para los integradores de marca, y es ahí donde se introducen los bits correspondientes a las marcas de agua. Sin embargo estas características son igualmente llamativas para los “intrusos” o “atacantes” que intentan detectar la marca. Estas características notables pueden ser tanto naturales, como artificiales.

Este tipo de características son muy importantes para la sincronización o para un sistema de marcado muy robusto, por ejemplo para aquéllos sistemas que se ven atacados en la escala de tiempo.

Algunos ejemplos de marcado en función de características notables son:

- I. Aplicación del marcado por integración lateral y detección polinomial.
- II. Marcado con Análisis Cepstrum basado en características de energía.



8. ALGORITMOS EN MATLAB 7.0

En esta sección se mostrarán los algoritmos que se han programado en *Matlab 7.0*. Estos algoritmos siguen los esquemas mostrados en la sección anterior de Técnicas de Marcado Digital.

Presentaremos en este proyecto tres Sistemas de marcado digital de audio:

1. **Método de dos saltos (Two- Set method)**. Basado en la diferencia que existe entre dos conjuntos de muestras arbitrariamente tomados de la señal audio. De entre los esquemas explicados en la sección anterior se ha programado el Algoritmo de Patchwork Modificado o MPA.
2. **Método de espectro expandido (Spread-spectrum)**. Basado en la similitud entre un audio marcado y una secuencia pseudoaleatoria. De entre las variantes explicadas en la sección anterior no se ha programado la técnica básica (la original) sino la técnica que se basaba en las características de tiempo-frecuencia, por tener mejores propiedades.
3. **Método de Réplica** : Que usa una copia cerrada del audio original , es decir, un eco de la señal original. De este método se han programado la técnica básica de Marcado por Eco, por tener muy buenas características.

Para cada una de estas técnicas se han programado los algoritmos necesarios para el marcado y detección de una marca de agua digital, consistente en una ristra de bits.

Una vez que se han simulado estas tres técnicas en *Matlab 7.0* , se han sometido a una batería de pruebas para determinar su nivel de robustez, inaudibilidad y resistencia frente a ataques. En función de los resultados de estas pruebas podremos comparar los tres métodos seleccionados y extraer las correspondientes conclusiones.

Se han probado cada uno de estos algoritmos con un fragmento musical : “**Para Elisa**” de **Bethoven**, de duración **5 seg** , con una tasa de muestreo de **44.1 kHz**.

Las **pruebas realizadas para comprobar la inaudibilidad** de la marca consisten en la percepción subjetiva de un oyente . Cuando se modifica una señal de audio, introduciendo una marca, las posibles distorsiones que se producen están sujetas a la subjetividad del oído que lo escuche. Es por ello que para evaluar la calidad de la señal tras el marcado se introduce una métrica propuesta por la ITU en la recomendación **ITU-R BT 500** que es subjetiva y viene recogida en el Cuadro 7.



Valoración MOS	Daño	Observaciones	Calidad
5	Imperceptible	No se percibe	Excelente
4	Perceptible, pero no molesto	Sólo se percibe después de un examen detallado.	Buena
3	Poco molesto	Se percibe cuando se escucha pero no molesta.	Normal
2	Molesto	Se percibe, se puede reconocer la música pero no molesta.	Pobre
1	Muy molesto	Se percibe y no se puede distinguir la música	Mala

Cuadro 7: Escala recomendada por la ITU para la evaluación de la calidad de marcado.

Con respecto a las pruebas de inaudibilidad hemos de mencionar que los resultados de las pruebas sobre los métodos que se verán posteriormente se basan en la experiencia de **un sólo oyente**. También hemos de aclarar que hemos elegido un fragmento musical clásico, porque aunque inicialmente se hicieron las pruebas para varios tipos de música (clásica, electrónica y pop) se dedujeron de las primeras pruebas que el caso más crítico era el de música clásica, ya que suele tener más periodos de silencio en los cuáles se la marca se percibe bastante mejor que en un fragmento de cualquier otro tipo de música. Es decir, los casos más críticos los hemos encontrado con la música clásica, y en particular el fragmento escogido ; los primeros 5 segundos de “Para Elisa “ de Bethoven es bastante adecuado porque esta pieza musical empieza bastante tranquila.

Por otro lado, las **pruebas realizadas para estudiar la robustez** de los algoritmos consisten someter el audio marcado a ruido de transmisión de varianza 0.001 (tipo AWGN). Este es uno de los posibles “ataques” que se definía en la sección 2 de este documento cuando se habló de los tipos de procesamiento intermedio. Hemos de notar que también se analizará el comportamiento frente a un ataque por “fragmentación”.

A continuación explicaremos uno a uno los algoritmos de marcado y detección para cada una de las técnicas. Posteriormente someteremos estos algoritmos a las pruebas anteriormente mencionadas para así hacer una comparación entre ellos. Por último sacaremos las conclusiones pertinentes de la bondad de cada método frente a los requerimientos de robustez, inaudibilidad y resistencia a ataques.



8.1 ALGORITMO DE MARCADO Y DETECCIÓN EN MATLAB 7.0 PARA EL MÉTODO DOS SALTOS

8.1.1 Marcado

Se toma una canción (*ParaElisa.wav*) de corta duración y se lee con “wavread” generándose así un vector unidimensional cuyos elementos serán muestras (a frecuencia de muestreo F_s) de la canción original .

Mapeamos la marca digital que se quiere transmitir a la semilla de un generador de números aleatorios, o sea , lo que realmente **se usa para marcar es la semilla y no los bits de la marca**. Esta es la originalidad de éste método. Ésta semilla le servirá a ambos extremos, transmisor y receptor generar el conjunto de índices enteros (usados para calcular las estadísticas):

```
%% Generamos el juego de indices con la semilla correspondiente
I = randint(1, (2*n), [k1,k2], semilla) ;
```

Para obtener la marca digital a partir de la semilla no hay más que generarla:

```
marca= randint(1,n_bits,[0,1],semilla)
```

El algoritmo de marcado hace lo siguiente:

1. Dividimos el fichero audio en **bloques de N muestras**. A cada uno de ellos se le hace lo siguiente:

A. Se hace **la DCT del bloque**. Será el vector $F = \{ F_1, \dots, F_N \}$.

```
F = dct(bloque); % Vector de coeficientes DCT F={F1,...,FN}
```

B. Se crean **los subconjuntos A y B** cuyos elementos serán coeficientes DCT en el orden en que indiquen los primeros n elementos y los últimos , respectivamente, del juego de índices I. O sea, $a_i = F_{i_i}$ y $b_i = F_{m+i}$ para $i = 1, \dots, n$.



```
A= F( 1,I(1:n)); %Subconjuntos A y B generados a partir de I
B= F( 1,I(n+1:(2*n)));
```

C. Cálculo de los parámetros estadísticos a partir de los subconjuntos A y B . Se calcula la media de cada subconjunto y el error de desviación estándar.

D. Con los estadísticos anteriores se genera el parámetro de desviación d :

```
d= sign( A_media -B_media ) * sqrt(C) * (S/2);
```

E. Se crean 2 nuevos subconjuntos A_1 y B_1 a partir de los anteriores:

```
A1 = A + d ;
B1 = B - d ;
```

F. Se reemplazan los conjuntos A_1 y B_1 por los antiguos y se hace la IDCT del bloque, obteniendo así el bloque marcado:

```
%Construimos el vector de "coefs dct" modificado ,las muestras que
%no se hayan modificado se quedan igual que el original
F1=F;
F1(1,I(1:n) )= A1;
F1(1, I(n+1 : 2*n) )= B1;
F1(1,n+1: N-n )= F(n+1: N-n) ;

bloque_marcado = idct(F1);
```

Se repite el proceso anterior **R veces consecutivas**. Dejando el resto de muestras de la canción iguales a la original, para que tengan la misma longitud.

8.1.2 Detección

A la función de detección le llegará el fichero audio marcado, junto con los parámetros de marcado .



El proceso de detección es el siguiente:

1. Se **divide el audio marcado en bloques de tamaño N**. A cada bloque se le aplica lo siguiente:

A. Se hace la **DCT del bloque**. Será el vector $F = \{F_1, \dots, F_N\}$.

B. **Para cada una de las semillas posibles :**

○ Se crean el juego de índices I , y los subconjuntos A y B .

```
for i=1:n_semillas
```

```
    %generamos el juego de indices
```

```
    I(i,:) = randint(1, (2*n), [k1,k2], i );
```

```
    % Obtenemos los dos subconjuntos A y B para cada juego de indices:
```

```
    A(i,:) = F( 1,I(i, 1:n ) );
```

```
    B(i,:) = F( 1,I(i, n+1: 2*n ) );
```

○ Se **calculan los estadísticos** : a_media , b_media , S y T^2 a partir de cada subconjunto (para todas las semillas).

C. La **semilla detectada** será aquella para la que el parámetro T^2 sea **máximo**.

2. Se repite este proceso **R veces**, obteniéndose una semilla cada vez. Debería ser la misma las R veces si existe 100% de probabilidad de éxito. En caso contrario se hace un recuento de las semillas obtenidas y se escoge como *semilla_detectada* la que más se repita.

3. Por último generamos la marca asociada a la semilla, para obtener así el mensaje oculto.

8.1.3 Parámetros de marcado

Gracias a la adecuada elección de los parámetros de nuestro algoritmo podemos mejorar aspectos como la robustez o la impercepción de la marca .

Los parámetros de marcados son:

- Tamaño de bloque N .
- Rango en el que se marca cada bloque: $[K1, K2]$
- Número de veces que se repite el marcado R .

Según el tamaño de la canción se escogerá un tamaño de bloque relativamente pequeño. La **elección de K_1 y K_2 es un paso crucial** en el proceso de marcado porque estos valores controlan la robustez y la inaudibilidad de la marca de agua. Por otro lado el parámetro R controla la robustez de la marca, ya que mientras mayor sea mayor es la probabilidad de detectar la marca correctamente.

A continuación se mostrarán los resultados de las pruebas realizadas sobre un fragmento de música clásica de corta duración (5 seg).

8.1.4 Pruebas de inaudibilidad

Hemos realizado las pruebas de audibilidad variando todos los parámetros de marcado.

El oyente ha seguido la tabla de la ITU mostrada en la introducción de esta sección para catalogar la calidad del sonido , para que , dentro de la subjetividad de la percepción humana, podamos comprar unos métodos con otros en lo que inaudibilidad se refiere.

- Cuando la marca es integrada 5 veces consecutivas en el fichero ; esto es , el parámetro $R = 5$, se obtiene el siguiente cuadro.

N	[K1,K2]	Evaluación	Calidad	Comentarios
100	[1,50]	2	Pobre	Se percibe la marca, se puede reconocer la música pero molesta.
	[25,75]	2	Pobre	Se percibe la marca, se reconoce la música pero molesta.
	[50,100]	2	Pobre	Igual que los anteriores, pero un poco mejor.
	[1,50]	2	Pobre	Se percibe la marca, se reconoce la música



N	[K1,K2]	Evaluación	Calidad	Comentarios
50				pero molesta.
	[15,40]	3	Normal	Se percibe la marca pero no molesta.
	[25,50]	4	Buena	Sólo se percibe la marca después de un examen detallado.
10	[1,5]	4	Buena	Sólo se percibe después si escuchas atentamente.
	[3,7]	5	Excelente	No se percibe la marca.
	[5,10]	5	Excelente	No se percibe la marca.

Cuadro 8: Pruebas de inaudibilidad para el método Two-Set o de Dos Saltos (Con el parámetro R = 5).

- Para R = 20 ; es decir, cuando la marca se integra 20 veces en el audio se obtienen los siguientes resultados :

N	[K1,K2]	Evaluación	Calidad	Comentarios
100	[1,50]	1	Mala	Se percibe mucho la marca, siendo muy molesto.
	[25,75]	1	Mala	Se percibe mucho la marca, siendo muy molesto
	[50,100]	1	Mala	Se percibe mucho la marca, siendo molesto. Pero un poco mejor que lo anterior.
50	[1,50]	1	Mala	Se percibe mucho la marca siendo molesto.
	[15,40]	2	Pobre	Se percibe la marca , molesta.
	[25,50]	2	Pobre	Se percibe la marca , molesta .
10	[1,5]	3	Normal	Se percibe cuando se escucha pero no molesta.
	[3,7]	4	Buena	Sólo se percibe después si escuchas atentamente
	[5,10]	4	Buena	Sólo se percibe después si escuchas atentamente

Cuadro 9 : Pruebas de inaudibilidad para el método Two-Set o de Dos Saltos (Con el parámetro R =20).

Se observa que para $R = 20$, es decir repitiendo el código 20 veces, en todos los casos la calidad empeora un poco, aunque es lógico pensar que la robustez de la marca aumenta si el código se introduce más veces.

Para mostrar de una manera más intuitiva la dependencia del parámetro R con la audibilidad de la marca se muestra una gráfica en la que se ha variado el parámetro R de 1 a 50, y se ha visto en cada caso la medida de la calidad.

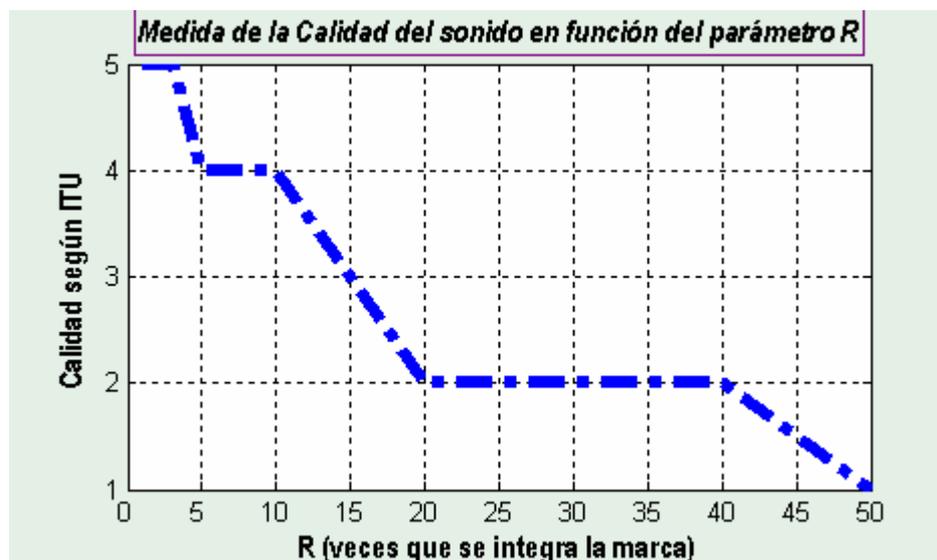


Figura 49 : Gráfica que ilustra la dependencia de la calidad del sonido con respecto al parámetro de diseño R .

Para realizar la gráfica anterior se han tomado el resto de parámetros de diseño en sus valores intermedios (con los que se conseguían resultados aceptables):

$$N = 20$$

$$[k1, k2] = [10, 20];$$

CONCLUSIONES para las pruebas de inaudibilidad:

Como conclusiones sobre la influencia de los parámetros N , R y $[k1, k2]$ podemos decir lo siguiente:



- **Influencia de N**: Mientras más pequeño sea N mejor es la calidad del sonido. Se obtiene resultados bastante aceptables en el rango $N \leq (\text{tam_canción} / 2000)$ en cualquier rango de frecuencias $[k1, k2]$. O lo que es lo mismo:

$$N \leq \text{tam_canción} \times 5 \times 10^{-4} .$$

- **Influencia del rango $[k1, k2]$** : Tiene que estar en las *zonas altas del bloque de tamaño N* para que sea menos audible la marca. Esto tiene mucho sentido ya que los rangos altos del bloque N se corresponderían con los coeficientes DCT a altas frecuencias, y el oído humano es menos sensible a las altas frecuencias.
- **Influencia de R** : Mientras más pequeño sea R , mejor es la calidad del sonido, pero sin embargo, un valor pequeño de R empeora la probabilidad de éxito al detectar la marca. Se observa **que para éste parámetro la robustez e inaudibilidad están reñidas.**

R es el parámetro de diseño en el que hay que tomar una solución de compromiso, por ellos mostramos en las dos gráficas siguientes la dependencia de este parámetro con la calidad del sonido y con la probabilidad de detección :

En la Figura 49 se ve claramente que cuanto menor sea R , mejor calidad de sonido tenemos, es decir la marca se hace más inaudible cuando R disminuye. Por el contrario en la Figura 50 vemos la Probabilidad de Detección de la marca aumenta si aumentamos R , cosa que parece lógica porque si , por ejemplo R vale 50 , significa que hemos integrado la marca 50 veces a lo largo del audio y existe una probabilidad mayor de detectarla en el lado receptor.

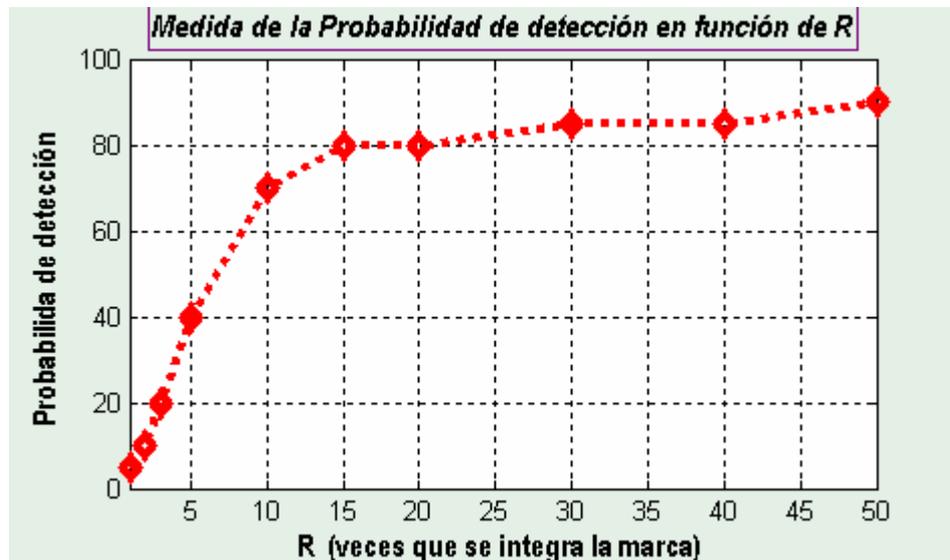


Figura 50: Gráfica que ilustra la dependencia de la Probabilidad de detección con respecto al parámetro de diseño R.

Hemos de mencionar también que para **señales audio de baja energía** la marca de agua tiende a ser imperceptible incluso aunque se modifiquen los coeficientes de baja frecuencia (es decir, aunque se tome el rango más bajo dentro del bloque DCT). Como las componentes de baja frecuencia son perceptualmente significantes, no se producen muchas pérdidas de datos en estas regiones y la fiabilidad de la marca de agua puede mejorar.

8.1.5 Pruebas de resistencia y robustez

Como hemos dicho anteriormente el único parámetro de diseño que entra en conflicto para tener simultáneamente buena calidad de sonido marcado y alta probabilidad de detección, es el parámetro R. A la hora de diseñar algoritmos que requieran alta robustez tendrá que tomarse una *solución de compromiso*.

Esta problemática con el parámetro R se acentúa aún más si existe cualquier tipo de procesamiento intermedio que modifique aún más el audio marcado. De entre todos los ataques que puede sufrir una señal en el canal de transmisión, y que ya hemos mencionado con anterioridad hemos optado por **introducir ruido aditivo al canal** ⁴⁹.

Como es de esperar ,los ataques ya sean intencionados o no, disminuirán la probabilidad de detección correcta en el lado receptor. En el caso de del Algoritmo Patchwork modificado que nos ocupa , hemos encontrado que **no posee demasiada resistencia**, ya que al introducir un ruido Auditivo Gaussiano en el canal , y con $R= 50$ (mejor caso) la probabilidad de detección correcta disminuye un 30%, siendo la probabilidad de detección con este ataque de 55% en el mejor de los casos.

Los resultados obtenidos de las pruebas de detección hechas en presencia de ruido Gaussiano Aditivo se muestran a continuación.

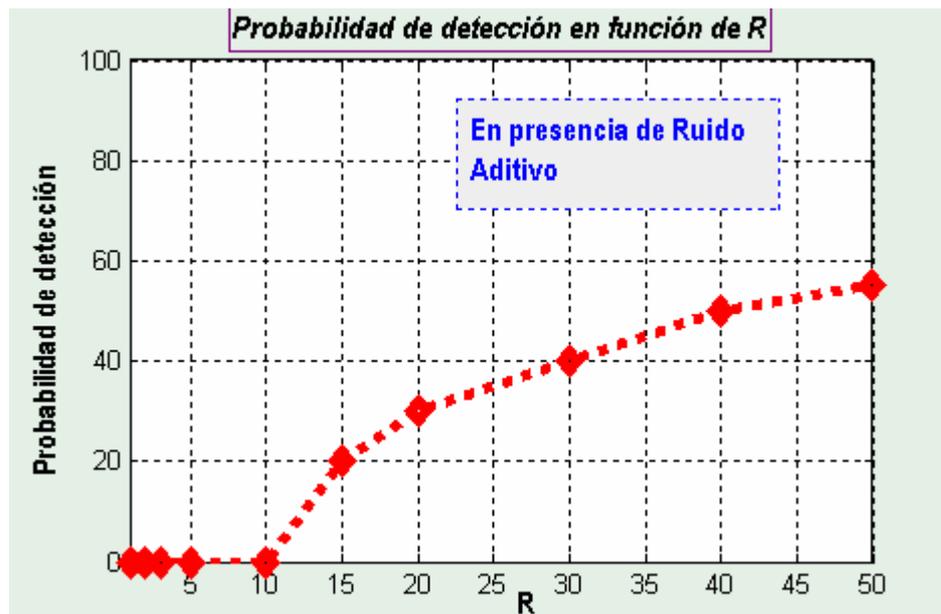


Figura 51: Probabilidad de detección en función de R y en presencia de Ruido Aditivo.

Así, que concluimos que este algoritmo presenta muy buenos comportamientos frente a inaudibilidad de la marca , sin embargo se comporta peor cuando existe un procesamiento intermedio.

⁴⁹ Se han introducido un Ruido Aditivo Gaussiano (AWGN) de varianza 0.001

8.2 ALGORITMO DE MARCADO EN MATLAB 7.0 PARA EL MÉTODO DE RÉPLICA.

8.2.1 Introducción

En este algoritmo se va a introducir la marca en el **dominio del tiempo** mediante la introducción de **un eco en la señal de audio**.

Para ello se **explotan las características del sistema auditivo humano**, cuando el retraso entre la señal original y el eco se sitúa por debajo de cierto valor límite, las dos señales se acoplan y llega un determinado punto en el que el oído no puede distinguir entre las dos señales. Se produce un enmascaramiento en el dominio del tiempo, en el cual la señal de eco queda enmascarada por la señal original. Pues bien el sistema de marcado propuesto **introducirá ciertos retrasos entre ambas señales dependiendo del bit que queramos introducir**.

El transmisor utilizará dos tiempos de retraso, uno para representar un uno y el otro para representar un cero (Figura 52). Ambos tiempos de retraso deben de situarse por debajo del límite a partir del cual el oído humano empieza a percibir la señal de eco. Las señales de retraso están formadas por dos deltas: una que mantiene la señal original en la posición cero y otra que produce el eco en la posición indicada por el retraso y con una amplitud que disminuye en un valor dado por el factor de escalado.

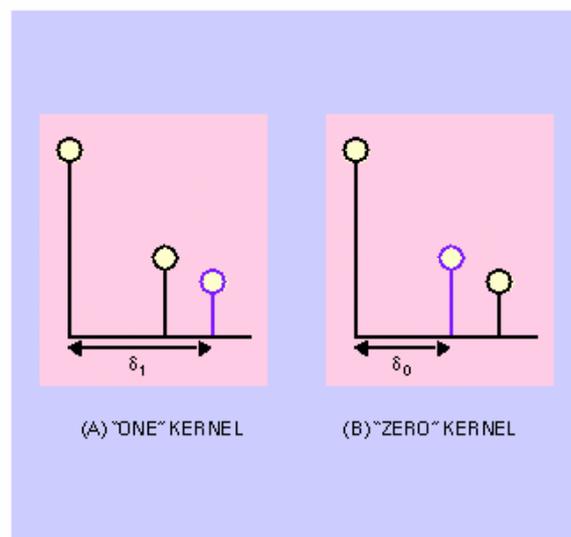


Figura 52: Tiempos de retraso para los “0” y “1”



Además de la elección de un tiempo adecuado de retraso , también se puede asegurar que la marca introducida no es perceptible disminuyendo la amplitud del eco mediante un factor de escalado, que llamaremos “ α ”.

8.2.2 Marcado

Se toma la pieza de música de corta duración y se lee con “wavread” generándose así un vector unidimensional cuyos elementos serán muestras (a frecuencia de muestreo F_s) de la canción original .

El proceso de marcado es el siguiente:

1. Se divide la señal original en tantos segmentos como bits tenga la marca. Esto es, si la marca tiene N_s bits, existirán N_s segmentos cuyo tamaño dependerá de la longitud de la canción. Cada segmento se considerará una señal independiente y se marcará con 1 bit.

```
Ns =length(marca); %num de segmentos en que se va a dividir la señal
L= floor (length(audio)/Ns); %longitud de cada segmento de la señal
```

2. Se crean las **dos funciones de retraso**, una representa al “cero” y la otra al “uno”. Se convoluciona la señal original con cada una de estas funciones, creando la señal “*cero_eco*” (con retraso d) y “*uno_eco*” (con retraso $d + \Delta$) .

```
% para cada segmento se crean las funciones cero_eco y uno_eco
for k=1:Ns
    cero_eco(k,:) = filter(kernelzero,1, aux1(k,:));
    uno_eco(k,:) = filter(kerneluno,1, aux1(k,:));
end
```

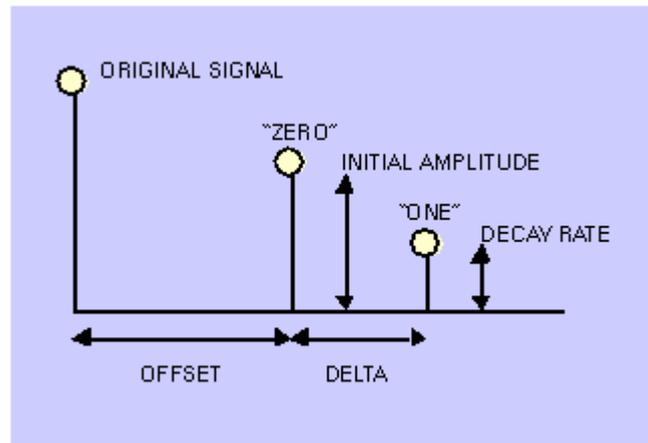


Figura 53: Posición de la señal original y los posibles ecos.

- Se crean dos señales, “mezclador_cero” y “mezclador_uno” compuestas por segmentos de la misma longitud que los de la señal original. El mezclador_uno estará compuestas por 1’s si la porción correspondiente (segmento) de señal a marcar debe guardar un 1, o por 0’s si el bit de la marca para ese segmento es un 0. Estas dos señales son complementarias, es decir, la suma de ellas siempre será uno (Figura 54).

```

% Creamos los mezcladores para el '0' y para el '1'
for k=1:Ns
    if marca(k)==0
        for i=1:L
            mezclador_cero(k,i)=1;
            mezclador_uno(k,i)=0;
        end
    else
        for i=1:L
            mezclador_cero(k,i)=0;
            mezclador_uno(k,i)=1;
        end
    end
end
end

```

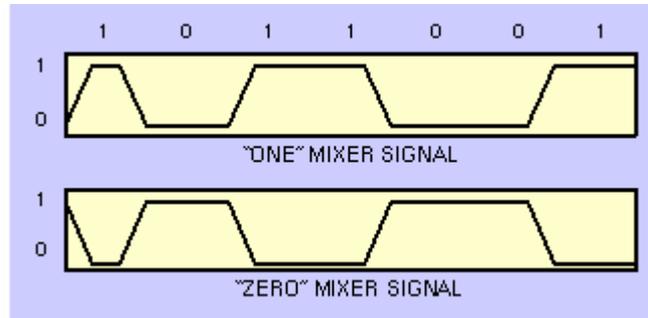


Figura 54: Complementariedad de las funciones de mezcla para el uno y el cero.

- Por último se multiplica la señal “cero_eco” con el “mezclador_cero”, y la señal “uno_eco” con el “mezclador_uno”. Se suman las dos señales resultantes obteniéndose la señal marcada.

```
audio_cero = cero_eco.* mezclador_cero;
audio_uno = uno_eco .* mezclador_uno;
```

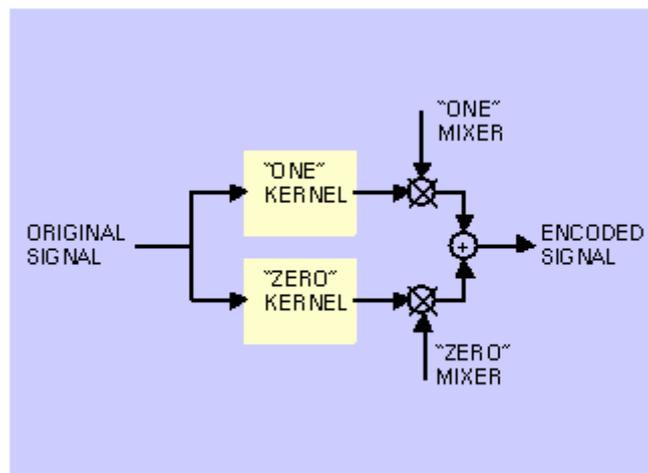


Figura 55: Proceso completo de marcado por Echo-hiding.

8.2.3 Detección

Para la detección es **necesario determinar cual es la distancia** , en número de muestras, que existe entre la señal original y la señal de eco. Esta distancia es la que determina si el bit detectado es ‘1’ o ‘0’.

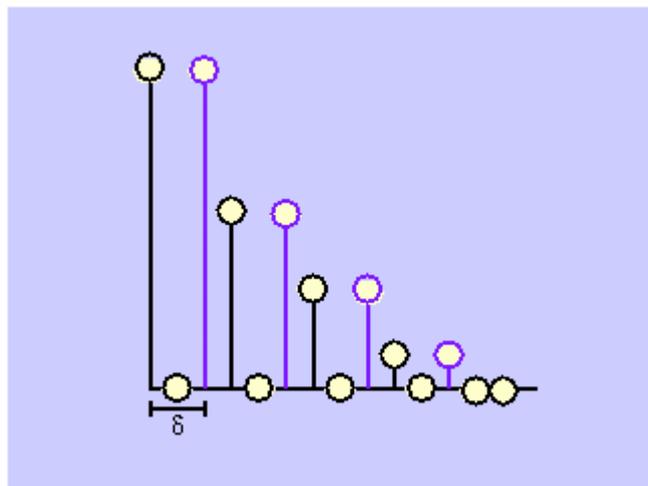


Figura 56: Detección de la distancia entre las muestras , para el proceso de detección.

Para ello se hace uso de la **herramienta Cepstrum**. Como resultado de aplicar un análisis Cepstrum la distancia entre la señal y el eco mayor. El Cepstrum presentará un pico en aquella posición donde se encuentra situado el eco. En la Figura 57 podemos ver un esquema aproximado del Cepstrum de una señal.

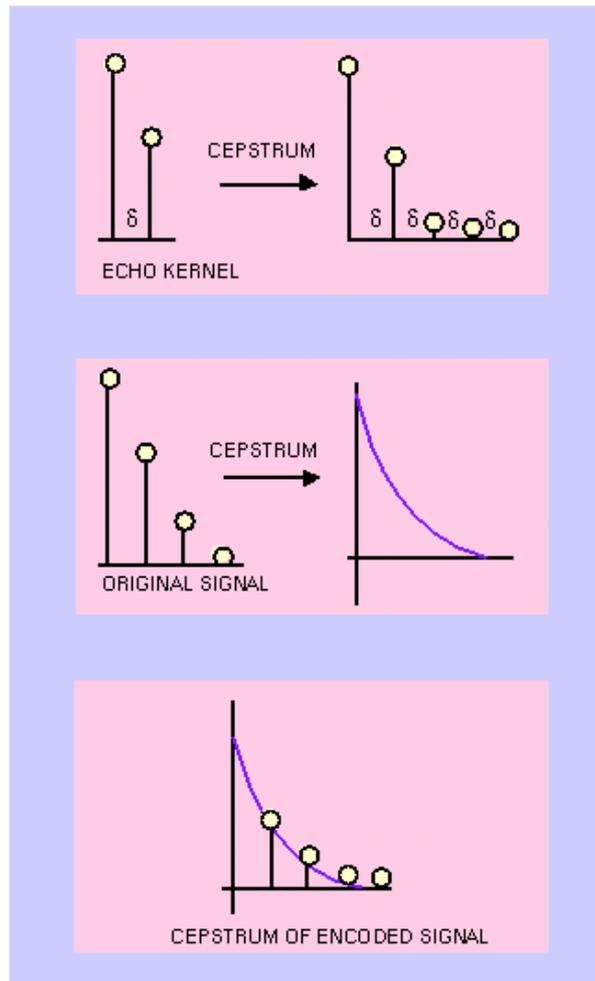


Figura 57: Uso de Cepstrum para la detección por Echo-hiding

La *regla de decisión* para un ‘0’ o un ‘1’ consistirá en **evaluar el cepstrum en las dos posiciones de retraso posible** y allí donde la magnitud sea mayor se decidirá uno u otro.

El procedimiento de detección se puede resumir de la siguiente manera:

1. Se **divide la señal en N_s segmentos**.
2. Para cada segmento, se **calcula el Cepstrum** y se evalúa en las pisiones d y $d+\Delta$.



```
%Se evalua el cepstrum en las posiciones d y d+delta  
a = abs(cepstrum(retraso)); %  
b = abs(cepstrum(retraso+delta));
```

3. Se estima el bit introducido en cada segmento, como aquél en el que la magnitud del cepstrum sea **mayor**.

```
if a > b  
    marca_detectada(k)=0;  
else  
    marca_detectada(k)=1;  
end
```

4. Se construye la marca detectada uniendo todos los bits estimados.

8.2.4 Parámetros de marcado

Los parámetros de marcado son :

- El factor de escala α , que disminuye la magnitud de la señal de eco.
- El retraso para el eco que presenta un bit ‘0’ : d .
- El retraso para el eco que presenta un bit ‘1’ : $d+\Delta$.

Estos parámetros deberán elegirse adecuadamente para que el eco se haga imperceptible y para que sea robusto frente ataques.

Tanto para la elección del “d” como de “ Δ ” hay que tener en cuenta hasta qué punto el oído es capaz de enmascarar el eco de una señal. Estudios demuestran que para la mayoría de los sonidos la máxima diferencia entre la señal original y el eco debe ser de 1 mseg , que para una frecuencia de muestreo de 44100 Hz, se corresponde con unas 40 muestras.

8.2.5 Pruebas de inaudibilidad

A continuación se mostrarán los resultados de las pruebas realizadas sobre una canción de corta duración.

Se ha realizado una batería de pruebas para este fichero audio en el que se ha variado el número de bits de la marca ($N_s = 8, 16$ y 32) y se han visto la influencia de los parámetros de marcada para cada caso.

A continuación se muestran las tablas que indican la dependencia **de los parámetros**:

- Para $N_s = 8$ (marca de 8 bits) .

α	d	d+ Δ	Evaluación	Calidad	Comentarios
0.8	20	40	4	Buena	Se percibe un ligero eco en la señal, si la escuchas muy detalladamente.
	40	80	3	Normal	Se percibe eco en la señal, pero se puede reconocer la voz fácilmente.
	80	160	2	Pobre	Se percibe eco, se puede reconocer la música, pero molesta
0.6	20	40	5	Excelente	No se percibe nada de eco.
	40	80	4	Buena	Se percibe un ligero eco en la señal, si la escuchas muy detalladamente.
	80	160	3	Normal	Se percibe eco en la señal, pero se puede reconocer la voz fácilmente.
0.4	20	40	5	Excelente	No se percibe nada de eco.
	40	80	5	Excelente	No se percibe nada de eco.
	80	160	4	Buena	Se percibe un ligero eco en la señal, si la escuchas muy detalladamente

Cuadro 10: Pruebas de inaudibilidad para el método de Echo Hiding (Con parámetro $N_s = 8^{50}$).

⁵⁰ Para $N_s = 16$ se obtienen los mismos resultados.

- Para $N_s=32$ (marca de 32 bits) .

α	d	d+ Δ	Evaluación	Calidad	Comentarios
0.8	20	40	3	Normal	Se percibe eco en la señal , pero se puede reconocer la voz fácilmente.
	40	80	3	Normal	Se percibe eco en la señal , pero se puede reconocer la voz fácilmente.
	80	160	2	Pobre	Se percibe eco, se puede reconocer la música, pero molesta
0.6	20	40	4	Buena	Se percibe un ligero eco en la señal, si la escuchas muy detalladamente
	40	80	3	Buena	Se percibe un ligero eco en la señal, si la escuchas muy detalladamente.
	80	160	3	Normal	Se percibe eco en la señal , pero se puede reconocer la voz fácilmente.
0.4	20	40	5	Excelente	No se percibe nada de eco.
	40	80	5	Excelente	No se percibe nada de eco.
	80	160	4	Buena	Se percibe un ligero eco en la señal, si la escuchas muy detalladamente

Cuadro 11: Pruebas de inaudibilidad para el método de Echo Hiding (Con parámetro $N_s = 32$).

Se observan unos resultados muy parecidos a los obtenidos con $N_s = 8$ y 16. Empeoran un poco cuando $\alpha > 0.6$.

CONCLUSIONES para las pruebas de inaudibilidad:

Como primera conclusión podemos anotar que sea cual sea el número de bits de la marca de agua, se obtiene unos resultados muy similares, no siendo por tanto, un problema para la robustez o percepción el hecho de que la marca tenga un número de bits elevado.



Con respecto a la influencia de los parámetros de marcado podemos decir lo siguiente:

- **Influencia de α** : Debido a que este parámetro es la magnitud de los bits de eco, (factor de escala) conviene que sea pequeño. Se observa que para $\alpha \leq 0.4$ ya se obtiene unos resultados bastante aceptables en cuanto a percepción de la marca.
- **Influencia del retraso para los ceros d** : Se obtienen resultados aceptables para $d \leq 40$ muestras, y resultados excelentes cuando $d \leq 20$ muestras.
- **Influencia del retraso para los unos $d+\Delta$** : No influye tanto como d en la audibilidad de la marca, escogiendo un valor de Δ menor o igual al de d se obtienen resultados excelentes en todos los casos.

En este caso , no existe ningún parámetro cuya elección deba ser solución de compromiso.

En general mientras más pequeño sea la amplitud de las muestras de eco , α , mayor calidad habrá en el audio marcado. Por otro lado , conviene que las muestras de eco no estén demasiado alejadas de las originales para que el eco no sea perceptible en la canción. Por otro lado cuando las muestras replicadas están muy cerca de las originales incluso se escucha una mejora en el sonido.

El efecto que tiene **aumentar α** es que **el audio marcado se escucha más “robótico”** (es decir se distorsiona el sonido), y **cuando aumenta d , y $d+ \Delta$ se escucha el eco en la canción**, es decir se escucha una réplica de la canción original desplazada un instante en el tiempo.

8.2.6 Pruebas de resistencia y robustez

Para probar la resistencia de este algoritmo, de todos los posibles procesamientos y ataques mencionados en este proyecto hemos optado por introducir Ruido Aditivo y Gaussiano en el canal para ver cómo varía la *Probabilidad de detección* en la parte del receptor.

Como hemos mencionado en el punto anterior cuando hablábamos de la influencia de los parámetros en la inaudibilidad de la marca, en el caso de la robustez ocurre algo

parecido, es decir, los parámetros de diseño afectan por igual a la robustez de la marca. Así que para ver con más detalle qué parámetro influye más en presencia de interferencias hemos realizado toda una batería de pruebas en las que **se han variado los parámetros de diseño, α , d y Δ midiéndose la probabilidad de detección correcta en la parte del detector de marca.**

CONCLUSIONES para las pruebas de robustez:

○ Influencia de α en la probabilidad de detección:

Tras la batería de pruebas, cuyos resultados se muestran en el Figura 58 , se ha comprobado que la influencia del parámetro α es justo la contraria a la influencia en audibilidad. En las pruebas de audibilidad, cuando la amplitud de las muestras α iba subiendo el sonido se escuchaba más distorsionado o robótico, es decir empeoraba la calidad de inaudibilidad. Sin embargo hemos comprobado que si par valores de $\alpha > 0.28$ la probabilidad de detección es 100%, incluso para valores altos la probabilidad de detección no varía. Esto es debido, a que , en el receptor cuanto más alto sea el valor de las muestras réplica o de eco, mejor se detectan como tales y más robusta serán estas muestras (con amplitud elevada) frente a ataques, por ejemplo frente a un fuerte ruido aditivo .

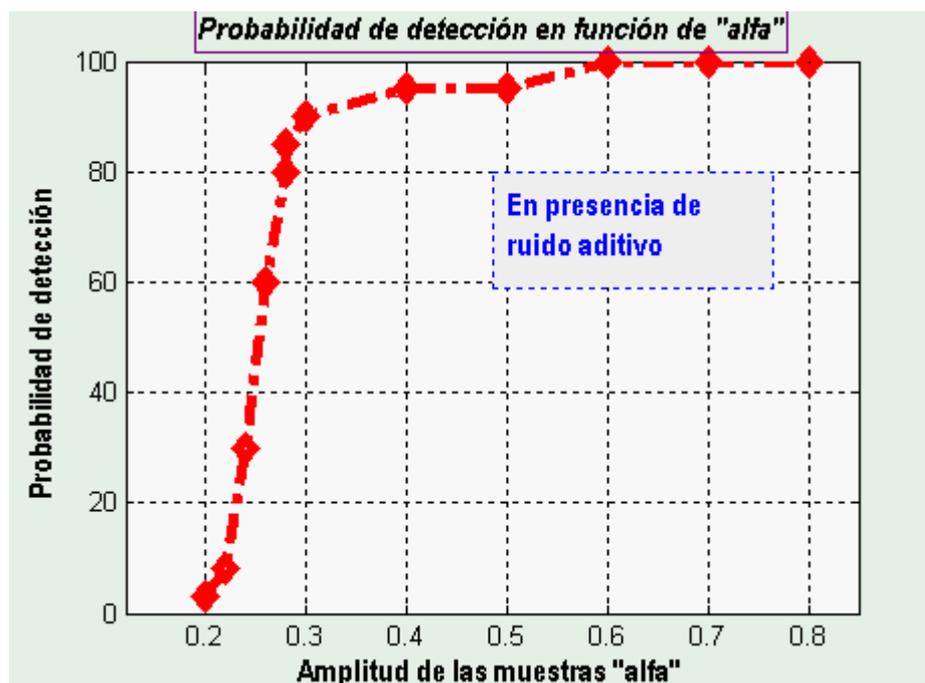


Figura 58: Probabilidad de detección en función de α

Resumiendo:

- Para obtener robustez el rango óptimo para el parámetro α es : $\alpha \geq 0.28$
- Para obtener inaudibilidad el rango óptimo es : $\alpha \leq 0.4$

Con lo que para que este método posea simultáneamente calidad de sonido (inaudibilidad de la marca) y alta probabilidad de detección:

$$0.28 \leq \alpha \leq 0.4$$

○ **Influencia de d y $d+\Delta$ en la probabilidad de detección:**

Tras la batería de pruebas, cuyos resultados se muestran en la Figura 59, podemos observar que el rango óptimo para d es $20 \leq d \leq 60$ muestras. Este rango coincide con el rango óptimo obtenido en las pruebas de inaudibilidad.

Hemos hecho las mismas pruebas para dos casos distintos, cuando los “0” de eco y los “1” de eco están igual de separados (grafo azul en Figura 59) , y cuando el retraso de los ”0” es el doble del de los “1”(grafo verde en Figura 59).

Como también ocurría en los resultados de las pruebas de inaudibilidad, la influencia de Δ en este caso no es muy llamativa, aunque se han observado mejores resultados cuando $d = \Delta$.

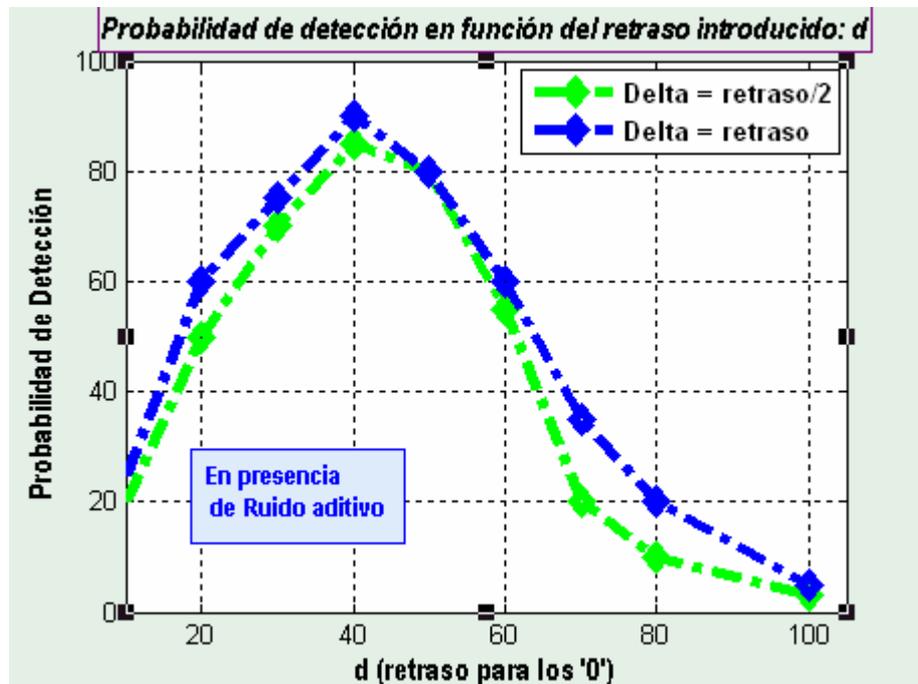


Figura 59: Probabilidad de detección en función de d.

Resumiendo: Rango óptimo para d y $d + \Delta$ desde el punto de vista de robustez :

$$20 \leq d \leq 60 \text{ muestras}$$

Sin embargo desde el punto de vista de la inaudibilidad , $d \leq 40$ **muestras**, con lo que podemos decir que para que existan buenas características de robustez e inaudibilidad de manera simultánea se necesita un rango para d y $d + \Delta$:

$$20 \leq d \leq 60 \text{ muestras y } d = \Delta$$

Como comentario final hemos de hacer mención también a la tasa de marcado. Hemos de decir que en este caso el tiempo de procesamiento es algo mayor que el del método de Dos Saltos o MPA, ya que en el detector hay que calcular la herramienta Cepstrum para detectar cada bit de la marca. Con lo que la **tasa de marcado es alta** .



8.3 ALGORITMO DE MARCADO Y DETECCIÓN EN MATLAB 7.0 PARA EL MÉTODO DE ESPECTRO-EXPANDIDO.

8.3.1 Introducción

El algoritmo que se ha programado está basado en la técnica del Espectro Expandido pero usa una serie de características de tiempo-frecuencia para mejorar la robustez⁵¹.

Se expandirá la marca (datos útiles a transmitir) a lo largo de una secuencia pseudoaleatoria directa (Direct Spread-Spectrum System o DSSS).

La primera ventaja de los sistemas de comunicación de espectro expandido es la habilidad para rechazar interferencias, es decir, ataques intencionados de otros usuarios intentando acceder al canal de transmisión. O bien interferencias “intencionadas” de transmisores hostiles intentando acceder al canal de transmisión.

En la definición de los sistemas de espectro expandido debe atenderse a dos características :

- La técnica del espectro expandido es un medio de transmisión en el que el **dato de interés ocupa un ancho de banda mucho mayor que el mínimo del ancho de banda necesario para enviar el dato.**
- La extensión del espectro se consigue antes de la transmisión **usando un código que es independiente** de la secuencia de datos. Se deberá usar el mismo código para expandir la señal recibida en el receptor (operando el receptor y el transmisor en sincronismo).

Aunque las técnicas de modulación estándar como *modulación en frecuencia* o *modulación por pulsos codificados* satisfacen el primer punto, no son técnicas de espectro expandido porque no satisfacen el segundo punto. La modulación por espectro expandido fue desarrollada originalmente para aplicaciones militares donde la resistencia frente a interferencias era causa mayor. Sin embargo hay aplicaciones civiles que también se pueden beneficiar de las características únicas de esta modulación. Por ejemplo se puede usar para proporcionar “rechazo multicamino” en un entorno radio móvil en banda base.

Otra posible aplicación sería la “comunicación multiacceso” donde un número de usuarios independientes tienen que compartir un canal común sin una sincronización externa.

⁵¹ Para más información ver referencia [15] en Anexo I.

El algoritmo que se ha programado en esta sección está basado en la técnica del espectro expandido pero usa una serie de características de tiempo-frecuencia para mejorar la robustez.

8.3.2 Marcado

En la técnica de espectro expandido que se ha programado, no sólo **se extiende la señal original a lo largo de la secuencia pseudoaleatoria** (pn-secuencia) sino que también **se realiza una modulación BPSK** con la *Frecuencia Media Instantánea (IMF)* de la señal original como portadora variable en el tiempo.

El esquema de marcado que se ha usado es el siguiente:

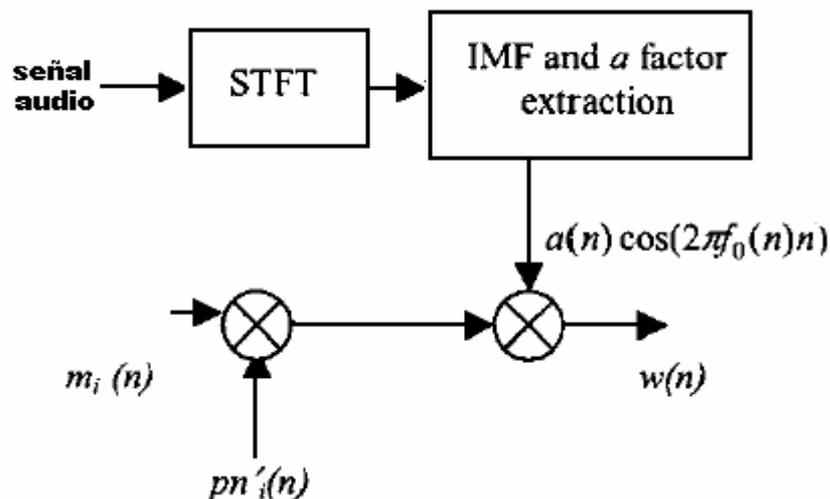


Figura 60 : Generación de la marca usando IMF .

Se toma el fragmento de canción de corta duración y se lee con “wavread” generándose así un vector unidimensional cuyos elementos serán muestras (a frecuencia de muestreo F_s) de la canción original.



Lo primero que hemos hecho en este algoritmo es **calcular la IMF de la señal original**, para lo que hemos creado una función Matlab que la calcula:

```
%% CÁLCULO DE LA FRECUENCIA MEDIA INSTANTÁNEA
fi= freq_media_inst(audio);
```

Esta función va calculando para cada instante discreto la *Transformada Corta de Fourier Dependiente del Tiempo (STFT)* de la señal (que en Matlab se obtiene con la función de librería “*specgram*”), y la va dividiendo por la energía de la señal en un instante dado . Tal y como indicaba la Ecuación 7 en la sección anterior donde esta técnica se explicaba desde el punto de vista teórico.

$$f_i(n) = \frac{\sum_{f=0}^{f_m} f \text{TFD}(n, f)}{\sum_{f=0}^{f_m} \text{TFD}(n, f)}$$

Ecuación 11: Cálculo de la IMF

A continuación llamamos a la función de marcado:

```
**** FUNCIÓN DE MARCADO PARA EL MÉTODO DE ESPECTRO EXPANDIDO ****
function [audio_marcado]= marcado( marca, audio,fi,semilla_pn,fs)
```

que como vemos, devuelve al audio ya marcado y cuyos parámetros de entrada son la marca (datos útiles a extender), el audio original, la IMF calculada con anterioridad, la semilla para generar la pn-secuencia y la frecuencia de muestreo.

A partir de ahora la función de marcado es muy fácil ya que sólo consisten en generar una marca tal, que sea el producto de una serie de factores, como puede verse también en el esquema de marcado.

$$w(n) = a(n) m_i(n) p_{n_i}'(n) \cos(2\pi f_0(n))$$

Ecuación 12

El proceso de marcado requiere **dos pasos**, en el primero consiste en un modulador de producto o un multiplicador con la secuencia de datos y la pn-secuencia filtrada como entradas, y en el segundo paso se hace una modulación PSK binaria.

- **PASO 1:**

1. Generamos la secuencia pseudoaleatoria y la filtramos paso baja, tal y como dice el método:

```
% generamos secuencia bipolar
pn = 2*randint(1,Nm,[0,1],semilla_pn) - 1;

% y la filtramos paso baja
pn_lp = pn_filtrada(Nm,fs);
```

2. Hacemos que cada bit de la marca ocupe una longitud Nm , que es la longitud de la secuencia pseudoaleatoria, para ello construimos un “patrón” que serán los bits de marca repetidos un número de veces igual a la longitud de la pn-secuencia.



```
‡ Extendemos la marca para que cada bit tenga la misma longitud
‡ que la de la secuencia pseudoaleatoria
```

```
for k=1:length(marca)
    if marca(1,k)==0
        sig= zeros(1,Nm);
    else
        sig=ones(1,Nm);
    end
    pattern =[pattern ;sig];
end
```

donde , por ejemplo, si la marca es $marca = [1,0,1,0]$ y la longitud de la pn-secuencia es $Nm = 8$, entonces pattern sería:

$$pattern = [1,1,1,1,1,1,1,0,0,0,0,0,0,0,0,1,1,1,1,1,1,0,0,0,0,0,0,0];$$

3. Por último, multiplicamos el “patrón” obtenido a partir de la marca por la pn-secuencia filtrada paso baja:

```
‡ Multiplicamos el patrón por la secuencia para que cad bit
‡ de marca tenga la misma forma que la pn-secuencia filtrada
‡ paso baja

for i=1:length(marca) ‡ Recorre las filas
    for k=1:Nm ‡dentro de cada fila
        hopped_sig (i,k)= pn_lp(k) * pattern(i,k);
    end
end
```

donde ahora, $hopped_sig(i,k)$ es una matriz que contiene la **marca extendida a lo largo de la pn-secuencia** .

Siguiendo con el ejemplo anterior, $hopped_sig$ sería:

$$pn_lp = [1,-1,-1,1,1,-1,-1,1] \quad ; \text{ secuencia bipolar de 8 bits de Periodo } T_c$$
$$pattern = [1,1,1,1,1,1,1,0,0,0,0,0,0,0,0,1,1,1,1,1,1,0,0,0,0,0,0,0]; \text{ Periodo } T$$

donde :



$a(n)$ se ha generado en Matlab como un filtro BP centrado en 1 kHz.

La fase de la secuencia portadora , (para la modulación BPSK) se ha escogido como se puede observar en la siguiente tabla de verdad :

		Polaridad de la secuencia de datos “pattern”	
		+	-
Polaridad de la pn-secuencia	+	0	π
	-	π	0

Cuadro 12: Tabla de verdad para la modulación de fase

En Matlab se ha hecho como sigue:

```

*****
% PASO 2:
% MODULACION BPSK CON FRECUENCIA IGUAL A LA FRECUENCIA INSTANTÁNEA
% Y AMPLITUD ESCALADA CON EL FACTOR a(n) CALCULADO SEGÚN EL HAS

fase=[];
for k=1:length(marca)    %% MODULACIÓN BPSK
    for i=1:Nm
        if hopped_sig(k,i)== 1
            fase = [fase , 0];
        else
            fase=[fase, pi];
        end
        marca_expandida=[marca_expandida, hopped_sig(k,i)];
        %% esta sería la marca extendida en la secuencia aleatoria
    end
end
end

```

Para terminar con integrador sólo queda construir la siguiente secuencia (que será las muestras de la marca ya extendidas y moduladas) :

$$c(n) = a(n) \cos (2\pi f_0 (n) + fase)$$

y multiplicarla por la marca extendida que conseguimos en el paso 1 para conseguir la marca extendida y modulada:

$$w(n) = a(n) m_i(n) pn_i'(n) \cos (2\pi f_0 (n) + fase)$$

Lo que se haría en Matlab de la siguiente manera:

```
for i=1:tam
    c(i) = cos( 2*pi*IMF(i)*i+ fase(i) );    % Modulacion BPSK
    watermark(i)= amplitud(i)*c(i)*marca_expandida(i);
    audio_marcado(i)= watermark(i)+ audio(i);
end

audio_marcado( tam+1:length(audio))= audio( tam +1:length(audio));
```

generando así el audio marcado como la suma de la marca extendida y modulada anterior con el audio original. Como la marca añadida tiene forma de un ruido de banda ancha

8.3.3 Detección

El proceso de detección consiste en dos pasos , como se muestra en el siguiente esquema:

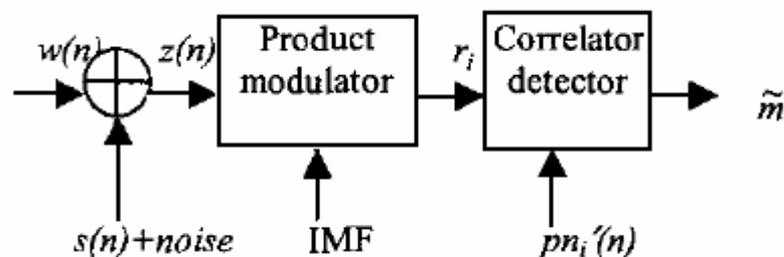


Figura 62: Detector de marca digital

Al receptor llega la señal $z(n)$, que será la suma de la señal marcada más el ruido o interferencia correspondiente que se haya sumado al canal de transmisión.

La multiplicación de la señal $r(i)$ por la secuencia pseudoaleatoria generada localmente $pn_i'(n)$ hace que el código de expansión afecte a la señal exactamente de la misma forma en que fue afectada en el proceso de integración de la marca. Recordemos que la secuencia pseudoaleatoria es bipolar y por tanto si una misma secuencia que sólo ha sufrido ruido aditivo en canal es multiplicada dos veces por la misma pn-secuencia :

$$z(n) = s(n) + w(n)$$

así que:

$$pn(n) * z(n) = pn(n) s(n) + pn^2(n) m'(n)$$

Donde $m'(n)$ es la marca modulada BPSK y $pn^2(n) = 1$ para todo n , y $pn(n)$ $s(n)$ es una “señal espúrea” de banda ancha.

A la salida del multiplicador lo que tendremos será una suma de una señal de banda más otra de banda estrecha (que es la que contiene el dato o marca $m'(n)$).

Ahora observamos que la componente de dato es de banda estrecha mientras que la señal espúrea es de banda ancha. De ahí, podríamos aplicar a la salida del multiplicador un filtro paso baja con un ancho de banda lo suficientemente grande para recuperar la señal original $m'(n)$. De esta forma cualquier interferencia que se sumara al canal de transmisión vería reducida su efecto.

El receptor necesita conocer la pn-secuencia y la IMF de la señal original, es por eso que la función detector tendrá los siguientes parámetros de entrada y salida:

```
*** FUNCIÓN DETECCIÓN PARA EL MÉTODO DE ESPECTRO EXPANDIDO ***
function marca_estimada = detector(audio_marcado,fi, semilla_pn,Nm,fs)
```

Los parámetros que necesita el detector son la semilla para volver a generar la pn-secuencia (la misma que se usó en el transmisor), la IMF de la señal, el tamaño de la semilla y la frecuencia de muestreo. La función detector devuelve la marca de agua estimada por el algoritmo.



Los pasos a seguir son los siguientes:

- **PASO 1:**

La señal de entrada al detector y la portadora cuya frecuencia es la IMF de la señal se aplican a un producto de modulación (Esta operación también se hizo en el integrador de marca.

```
%% PASO 1: PRODUCTO DE MODULACIÓN
```

```
for i=1:tam  
    c(i) = cos( 2*pi*IMF(i)*i);%generamos la secuencia portadora  
    r(i) = signal(i)*c(i);      %Producto de modulación  
end
```

Donde $r(i)$ será la señal que entre al segundo bloque del detector.

- **PASO 2:**

La expansión del espectro ocurre correlando los resultados esperados en el paso 1 con la pn-secuencia. El mensaje estimado se calculará como:

$$\tilde{m} = \frac{\langle r_i, pn'_i \rangle}{\|pn'_i\|}$$

Ecuación 13.

En Matlab, primero hay que volver a generar la pn-secuencia, filtrarla paso baja y posteriormente se hacen los cálculos indicados en la anterior ecuación.

1. Primero generamos la misma secuencia pseudoaleatoria que se usó en el integrador de marca, haciendo uso del parámetro *semilla_pn* y N_m . La filtramos paso baja, que es como se ha venido usando en este método.

```
% Generamos la secuencia pseudoaleatoria  
pn = 2*randint(1,Nm,[0,1],semilla_pn) - 1;  
% y la filtramos  
pn_lp = pn_filtrada(Nm,fs);
```



2. Calculamos la correlación entre la señal $r(i)$ obtenido en el paso 1 del detector y la dividimos por la norma de la pn-secuencia filtrada:

```
%% PASO 2 : DETECTOR DE CORRELACIÓN
%Calculamos el módulo de la pn-secuencia

norma_pn =sqrt( sum(pn_lp.^2)) % la mnorma de pni'
% Calculamos la marca estimada la correlación
marca_estimada=(1/norma_pn) * xcorr( r,pn_lp);
```

El vector *marca_estimada*, contendrá pues el vector de marca que supuestamente se transmitió.

8.3.4 Parámetros de marcado

En este método , como hemos podido observar **no existen parámetros de marcado como tales**. Es decir, no existen parámetros cuya variación influyan directamente en los resultados obtenidos en las pruebas de robustez o inaudibilidad del método.

Sin embargo podemos escoger el ancho de banda que ocupará el ruido o señal espúrea que contiene el dato (marca de agua) escogiendo el periodo (T_b) y longitud (N_m) de la pn-secuencia, aunque adelantamos que la variación de estos parámetros no influye ni en la inaudibilidad ni en la robustez del método.

8.3.5 Pruebas de inaudibilidad

A continuación se mostrarán los resultados de las pruebas realizadas sobre una canción de corta duración.

Como hemos mencionado anteriormente este método no dispone de parámetros de marcado como tales, que puedan escogerse de tal forma que los resultados en las pruebas



sean mejores o peores. Lo que sí puede escogerse es el número de muestras de la señal pseudoaleatoria $N = T_c/T_b = N_m$. También se puede elegir introducir la marca varias veces (parámetro R) , ello aumentará considerablemente la robustez del método.

A continuación se muestran las tablas que indican la dependencia **de los parámetros**:

- Para **$N_m = 8$** (pn-secuencia de 8 bits) . $N_m = 8$. Es decir, el ancho de banda de la marca modulada y extendidas será 8 veces el mínimo ancho necesario para enviar el dato.

R	Evaluación	Calidad	Comentarios
5	4	Buena	Se percibe ligeramente la marca si hacemos un análisis exhaustivo
10	4	Buena	Se percibe ligeramente la marca si hacemos un análisis exhaustivo
20	4	Buena	Se percibe ligeramente la marca si hacemos un análisis exhaustivo

Cuadro 11: Pruebas de audibilidad para el método de Espectro Expandido (Con parámetro $N_m= 8$).

- Para **$N_m = 32$** (pn-secuencia de 32 bits) . $N_m = 32$,es decir, el ancho de banda de la marca modulada y extendidas será 32 veces el mínimo ancho necesario para enviar el dato. Se observa el mismo comportamiento del algoritmo en cuanto a inaudibilidad se refiere.

CONCLUSIONES para las pruebas de inaudibilidad:

Esta técnica ofrece notables mejoras respecto a otros algoritmos, en cuanto a inaudibilidad se refiere . Hemos visto que, cualquiera que sea la secuencia pseudoaleatoria usada para extender los datos, no se encuentran diferencias significativas entre el audio marcado y no marcado. Así que, podríamos decir que en cuanto a inaudibilidad de la marca este método es bastante mejor que otros debido a que es **computacionalmente menos complejo** que los que hacen marcado en el dominio de la frecuencia, como el de dos saltos.



Hemos de notar también, que si bien la característica de la inaudibilidad de la marca en todos los casos es una gran ventaja de este método, esto se consigue gracias a la adaptación del filtro de transmisor al modelo psicoacústico y eso requiere un consumo elevado de procesamiento. Así que este método podría ser adecuado si se requiere inaudibilidad absoluta de la marca y no es importante el tiempo de consumo.

8.3.6 Pruebas de resistencia y robustez

Para probar la resistencia de este algoritmo, de todos los posibles procesamientos y ataques mencionados en este proyecto hemos optado por introducir ruido Aditivo y Gaussiano en el canal para ver cómo varía la Probabilidad de detección en la parte del receptor

Ya dijimos que este método no tiene parámetros de marcado cuyas variaciones produzcan mejores o peores comportamientos en cuanto a la robustez o inaudibilidad se refiere.

El parámetro R, o número de veces que la marca es integrada a lo largo de la canción se ha viriado desde 1 hasta 50. Como era de esperar la probabilidad de detección correcta aumenta cuando R aumenta, sin embargo este parámetro no es relevante ya que en todos los casos la Probabilidad de detección es superior al 90%.

Las buenas características de robustez **que presenta este método se debe al uso de la IMF** como frecuencia variable portadora del coseno usado para hacer la modulación PSK binaria. De nuevo, ocurre lo mismo que para la audibilidad, aunque el uso de la IMF proporciona una buena resistencia, también complica mucho el algoritmo y requiere **tiempo de procesamiento elevado**. Así, que puede ocurrir que no sea adecuado en algunas aplicaciones si éstas requieren simplicidad de algoritmo o tiempo de procesado pequeño.

10. CONCLUSIONES FINALES

10.1 Conclusiones sobre los métodos de marcado

El diseño de técnicas de marcado digital de audio tiene como objetivo fundamental conseguir algoritmos que cumplan los tres requisitos básicos deseables para las marcas de agua.

Estos requisitos son:

- ❖ **Impercepción o inaudibilidad** de la marca una vez integrada en el audio, es decir, el audio original y el audio marcado deben sonar igual para un oyente intermedio que desconozca la existencia de las marcas de agua.

Esta propiedad, llamada *transparencia perceptiva* es posible gracias a las imperfecciones del Sistema Auditivo Humano, que es incapaz de discriminar dos fuentes de sonido simultáneas cuando éstas están lo suficientemente cercanas en frecuencia o en el tiempo (enmascaramiento frecuencial o temporal) y una de ellas es más potente que otra.

Esta propiedad es deseable para cualquiera de las aplicaciones de las marcas de agua en audio digital.

- ❖ **Robustez o resistencia** frente a **operaciones permitidas**. Es el grado de vulnerabilidad que tiene la marca de agua ante cualquier tipo de procesamiento estándar , como cambios de soporte (Conversión A/D, D/A), cambios de formato (compresión con o sin pérdidas), codificación o ruido de transmisión.
- ❖ **Robustez o resistencia** frente a **operaciones no permitidas** o ataques intencionados. Esto es , ataques que intenten eliminar la marca de agua, que intenten hacer que ésta no se pueda descodificar o que intenten modificar alguna parte del audio.

Suele ser **deseable que la marca sea resistente** para aplicaciones relacionadas con la defensa de la Propiedad Intelectual en las que sólo sea posible la extracción de la marca de agua mediante daño a los datos. Sin embargo, y como se ha visto a lo largo de este proyecto existen aplicaciones en las que la **marca debe ser frágil**, es decir , altamente sensible ante cualquier



modificación del medio. Este tipo de marcas de agua frágiles se usan en aplicaciones en las que determinar si ha existido alteración en los datos es un punto crucial . Se usan marcas de agua frágiles en grabaciones audio que sirven de prueba ante tribunales. Cualquier ligera modificación posterior a la grabación debe modificar también la marca de agua integrada en ella, de este modo la marca de agua puede proporcionar información de la localización de la alteración dentro de la grabación.

En cuanto a las *técnicas de marcado digital*, hemos hecho una primera clasificación principal con cuatro esquemas de marcado ,aunque también hemos comentado que existen una serie de variantes de cada técnica, todas ellas interesantes ya que aportan alguna mejora respecto de su precedente.

Recordemos también las distintas técnicas que se han estudiado a lo largo de este documento y su comportamiento frente a inaudibilidad y robustez que obtuvimos tras realizar una serie de pruebas sobre los algoritmos programados en *Matlab 7.0*.

1. **Técnica de Dos Saltos**, que se basaba en la diferencia existente entre dos conjuntos de muestras del audio tomadas arbitrariamente. Es un método en el dominio de la frecuencia, concretamente usa la transformada Discreta del Coseno o DCT. Se ha programado una variante del método clásico y que hemos estudiado con el nombre “ Algoritmo modificado Patchwork” .

Los tres parámetros de marcado que tenía este método eran el tamaño del bloque DCT que se tomaba (N) , el rango usado para calcular los estadísticos dentro del bloque DCT ($[k1,k2]$) y el número de veces que se integraba la marca (R). Escogiendo un tamaño de bloque relativamente pequeño, y centrándonos en sus zonas altas para el cálculo de los estadísticos conseguíamos buenos resultados de inaudibilidad, siendo la marca bastante audible si nos centrábamos en zonas bajas o medias del bloque DCT. Sin embargo la robustez e impercepción de la marca estaban reñidas a la hora de escoger el parámetro R . En este caso no era posible obtener simultáneamente muy buenas características de robustez e inaudibilidad, teniendo que tomar una solución de compromiso según la aplicación.

Lo más significativo que aporta este método con respecto a su precedente es :

- 1) El factor de integración d es calculado adaptativamente basado en la media muestral y en la varianza. Los algoritmos de Patchwork adaptativos son muy importantes por dos aspectos. Pueden mantener la inaudibilidad de la marca mientras proporcionan resultados “aceptables” de robustez. Además , este



algoritmo es más robusto frente a ataques específicos como intento de copia ya que el valor de d se computa basándonos en la señal audio original.

2) Se usa la señal *sign* en la función de integración. Esto mejora la tasa de detección y consecuentemente reduce los errores por falso positivos o falso negativo.

3) El tamaño óptimo de los bloques está alrededor de 20-40 muestras en el dominio transformado. Incluso con estos pequeños bloques se alcanzan niveles de robustez aceptables. Si el tamaño del bloque disminuye , las propiedades de inaudibilidad mejoran.

Estos tres factores hacen al algoritmo MPA robusto mejorando a las anteriores versiones de este método. Más allá de eso , posee unas buenas características de audibilidad. Sin embargo, el MPA por sí mismo no es el mejor método ya que **no hace uso de los modelos psicoacústicos** y podría ser refinado en este sentido.

2. **Método de Réplica o Echo-hiding**, que usaba para integrar la marca una copia cerrada del audio original y la sumaba posteriormente al audio desplazada en el tiempo unas muestras. Aprovecha la propiedad de enmascaramiento temporal del oído humano.

Se ha programado la técnica de marcado por eco clásica, ya que tiene un comportamiento aceptable en cuanto a robustez e inaudibilidad.

Podíamos escoger los parámetros de marcado de tal forma **que obtuviéramos buenas características tanto en inaudibilidad como en resistencia frente a ataques.**

Este método ,aunque bastante interesante , necesita unos rangos muy afinados de sus parámetros de marcado para funcionar bien. Por otra parte vimos que este método es un poco frágil ,disminuyendo la probabilidad de detección correcta en cuanto existía un ataque. Además , por ser uno de los primero métodos en desarrollarse para las señales audio tampoco admite compresión MP3.

3. **Técnica del Espectro Expandido**, donde la marca se extiende a lo largo de una secuencia pseudoaleatoria y posteriormente se suma a la señal original en el dominio del tiempo.

Se ha programado en Matlab 7.0 una variante del esquema clásico ya que mejoraba considerablemente la robustez. Esta variante del método original está

basada en características de tiempo-frecuencia para mejorar la robustez y usa propiedades del Sistema Auditivo Humano para mejorar la inaudibilidad.

Como se ha podido extraer de la batería de pruebas realizadas sobre los resultados de los algoritmos, esta técnica ofrece importantes mejoras con respecto a otros métodos existentes, ya que se **consigue inaudibilidad de la marca** en todos los casos, no teniendo parámetros de marcado cuya variación empeore los resultados. Además esta técnica requiere menos tiempo de procesamiento comparada con técnicas en el dominio de la frecuencia, aunque es más compleja técnicamente porque usa modelos psicoacústicos que mejoran la inaudibilidad .

Por otro lado en este esquema de marcado se realizaba una modulación PSK binaria pero con una frecuencia portadora variable, y que además dependía de la señal audio ya que era la Frecuencia Instantánea Media del audio original. El uso de la IMF de la señal **maximiza la robustez frente a distintos ataques** de procesamiento de la señal.

¿Qué método de marcado usaremos en cada aplicación?

Concluimos que la elección de un método u otro dependerá, en cada caso de la aplicación a la que vayan destinados los algoritmos. Para ser coherentes, vamos a recordar cada una de las aplicaciones vistas y propondremos uno o varios métodos, de los que se han programado para cada una de ellas.

➤ Para aplicaciones *relacionadas con el Copyright*:

Sobretudo, las marcas de agua deben ser muy **resistente a ataques**. Además cuando se trate de canciones o archivos de voz deberían ser inaudibles. Como en el caso de aplicaciones relacionadas con los Derechos de Autor los temas musicales se marcarían antes de salir al mercado, no se tienen exigencias en cuanto a tasas de marcado, ya que no son aplicaciones en tiempo real. O sea, se necesitaría **resistencia e inaudibilidad alta y tasa de marcado indiferente**.

Con todo esto se concluye que el **Método del Espectro Expandido** resulta muy interesante para este tipo de aplicaciones. También podría admitirse el

método de Réplica aunque no se comporta tan bien frente a ataques como el primero.

- Para servicios de valor añadido :

Para este tipo de aplicaciones la resistencia de las marcas o su robustez no era un tema crucial ya que , si recordamos, el tipo de información que portaban las marcas digitales en este caso podía ser , información sobre el tiempo, estudio de grabación , cantante , precios, publicidad etc. Lo que sí se requería en estos casos era alta tasa de marcado, ya que esta información solía integrarse en tiempo real. Resumiendo, es prioritario **una alta tasa de marcado**, siendo aceptables **inaudibilidad y resistencia media o normal**.

Con todo esto se concluye cualquiera de los métodos vistos en este documento serviría para este tipo de aplicaciones. Aunque, el método de Marcado por eco sería poco conveniente ya que tenía un tiempo de procesamiento alto.

- Para aplicaciones relacionadas con la *verificación de la integridad*:

En este tipo de aplicaciones se necesitaban marcas de agua frágiles ya que si el audio marcado era atacado, la marca debía cambiar también, así se detectaban los posibles ataques. Recordemos que este método se usaba para verificar pruebas ante tribunales o verificación de voces sintéticas. En este caso los requerimientos de **tasa de marcado** son también **indiferentes** , siendo necesario **inaudibilidad media o normal y muy poca robustez**.

De los tres métodos que se han visto en este documento el menos robusto es el de **Dos Saltos**. Recordemos que tras las pruebas de ataques la probabilidad de detección bajó al 55%, con lo que éste sería el método más adecuado en este caso.



10.2 Conclusiones sobre el futuro de las técnicas de marcado en función de las aplicaciones actuales.

Tras el estudio que se ha realizado en las secciones 6 y 7 de este documento donde se comentaron las aplicaciones relacionadas con los sistemas de marcado y donde se habló del estado del arte actual de esta tecnología se pueden extraer las siguientes conclusiones.

Si bien es verdad que cada vez son más las aplicaciones en las que se están usando técnicas de marcado (detección de voces sintéticas, pruebas de integridad ante tribunales, servicios de valor añadido .etc.) no deja de ser cierto que la más conocida y extendida aplicación del audio watermarking es la de Defensa de los Derechos de Autor. También es la más polémica.

Con medidas como *marcar CD's comerciales*, se está impidiendo no sólo la copia indiscriminada para compartición en sistemas P2P, que hasta cierto punto podría ser comprensible desde el punto de vista de los autores, sino que estarían impidiendo también a un comprador de un CD original hacer una copia para el coche

Por otro lado, la creencia de que el *canon digital* es una medida abusiva es cada vez mayor. Por poner un ejemplo si quieres grabar fotos digitales en un CD para vaciar tu disco duro o por seguridad estarías pagando a la Sociedad General de Autores por ello. La tendencia en los últimos meses es de rechazo masivo por parte de los consumidores y muchos artistas, por lo menos en España ya están empezando a manifestar rechazo o al menos a poner en entredicho los verdaderos objetivos de la implantación de esta medida.

Con respecto al futuro de los controvertidos *Sistemas DRM* que detectan estas marcas e impiden la copia en todo tipo de soportes digitales, grabadoras de CD's, impresoras, fotocopadoras, etc parece ser que finalmente las grandes compañías están empezando a retractarse de su apoyo hacia ellos, como ha ocurrido recientemente con Apple. Con lo que, aunque en algunos países ya ha cuajado esta Ley, en los que no lo ha hecho ya parece difícil que se implante. De momento ya existe el Día Mundial contra el DRM y no creo que el consumidor medio se quede de brazos cruzados si esta Ley se llegara a generalizar.

De todos modos el desenlace de toda esta trama no está lejos. Las medidas tomadas por las grandes discográficas para solucionar el problema de la piratería musical y la compartición de archivos masiva no está siendo precisamente la de endurecer los medios, sino, todo lo contrario **buscar caminos alternativos**: vender las canciones a 1€ en Internet como hace *Sony* o compensar con publicidad como va a hacer *Universal Music* con *Spiral Frog*, son las soluciones que se están adoptando. Por otro lado en Europa está triunfando una medida que no penaliza a los usuarios “deshonestos” sino que apoya a los “honestos”, un ejemplo lo podíamos ver en el “Potatoe System” donde el usuario inicial



que compra la canción por Internet saca beneficios si la revende, siendo al final el precio que paga por ella minúsculo.

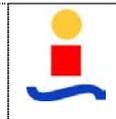
Al final lo más importante es el apoyo del consumidor de música que en este caso es el ciudadano medio. Nada tiene que ver la “piratería” profesional, como ocurre en el fenómeno “*Top Manta*” en el que se monta todo un negocio que se lucra de la copia indiscriminada de cientos de CD’s o películas. En este caso, en mi opinión , la culpa recaería en el consumidor de películas y música procedente de este tipo de redes, aunque por desgracia, suele ser común que los que salen peor parados son los que están vendiendo en las calles, que en la mayoría de los casos ni siquiera sabrían cómo grabar un CD .

Con la revolución de Internet de banda ancha, el abaratamiento de los sistemas informáticos y el boom digital había que investigar otros medios para proteger la información y el watermarking era uno de ellos. Estamos en una etapa en la que no se habla tanto de marcas de agua como hace varios años cuando se lanzaron montones de artículos técnicos (hacia el año 2000), y estaba en boca de mucha gente.

Esta tendencia de las grandes discográficas y empresas dedicadas al sector deja entrever que el uso de marcas de agua en audio para aplicaciones tales como rastreo de copias ilícitas o monitorizar la distribución tiene los días contados.

Concluyendo , tras el amplio estudio realizado sobre el Estado del Arte del uso de marcas de agua en audio digital , podría ser probable que en unos años y debido al amplio rechazo el uso de marcas de agua por parte de la mayoría de usuarios de contenidos digitales sea un tema del pasado, una etapa por la que se tenía que pasar tras la revolución digital. Sobretudo porque aún no se ha demostrado que sean 100% infranqueables, como pasó con la iniciativa SDMI. Con lo que en muchas ocasiones podría suponer un riesgo hacer el esfuerzo temporal y económico de marcar los contenidos si no son del todo fiables. Aunque, y por el contrario, el uso de marcas de agua para otras aplicaciones como la de verificación de la integridad o biometría no ha hecho más que empezar.





ANEXO I. FUENTES DE INFORMACIÓN Y REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Artículos mencionados y usados⁵³ para este proyecto:

- [1] Foote. J., and Adcock, J. (2002), "Time base modulation: A new approach to watermarking audio and images," *e-print*.
- [2] Nahrstedt, K., and Qiao, L. (1998), "Non-invertible watermarking methods for MPEG video and audio," *ACM Multimedia and Security Workshop*, Bristol, U.K., pp. 93-98.
- [3] M. Arnold , "Audio watermarking : Features, applications and algorithms," *in IEEE Int. conf. Multimedia and Expo 2000, vol. 2, 2000, pp.1013-1016*
- [4] Yeo, I.-K., and Kim, H.J. (2003), "Modofied patchwork algorithm: A novel audio watermarking scheme," *IEEE Transactions on Speech and Audio Processing*, vol. 11, no. 4, (2003) , pp. 381-386
- [5] Alaryani, H. (2005) "A novel audio watermarking technique based on low frecuency components," *in Proceedings of the Seventh IEEE International symposium on Multimedia*, 0-7695-2498-3/05. 2005 IEEE.
- [6] Gruhl. D., Lu, A, and Bender, W. (1996), "Echo Hiding," *Pre-Proceedings: Information Hiding*, Cambridge, UK, pp. 295-316.
- [7] Bender, W., Gruhl, D., Morimoto, N., and Lu, A. (1996), "Techniques for data hiding," *IBM Systems Journal*, vol. 35, pp. 313-336.
- [8] Ko, B.-S., Nishimura, R, and Suzuki, Y. (2002), "Time-spread echo method for digital audio watermarking using pn sequences," *IEEE International Conference on Acoustic, Speech, and Signal Processing*, vol. 2, pp. 2001-2004.
- [9] Boney, L., Tewfik, A. H., and Hamdy, K. N. (1996), "Digital watermarks for audio signal," *International Conference on Multimedia Computing and Systems*, Hiroshima, Japan, pp. 473-480.

⁵³ Los artículos que este proyecto ha usado en profundidad tienen su referencia en "negrita".



- [10] Cox, I.J., Kilian, J., Leighton, F.T., and Shamoon, T. (1996), "Secure Spread Spectrum Watermarking for Multimedia," *IEEE Trans. Image Processing*, vol. 6, pp. 1673-1687.
- [11] Cvejic, N., Keskinarkaus, A., and Seppänen, T. (2001), "Audio watermarking using m-sequences and temporal masking," *IEEE Workshops on Applications of Signal Processing to Audio and Acoustics*, New Paltz, New York, pp. 227-230.
- [12] Kim, H.J., and Choi, Y.H. (2003), "A novel echo hiding algorithm," *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, (to appear).
- [13] Seok, J., Hong, J., and Kim, J. (2002), "A novel audio watermarking algorithm for copyright protection of digital audio," *ETRI Journal*, vol. 24, pp. 181-189.
- [14] Hyoung Joong Kim, "Audio Watermarking Techniques", Pacific Rim Workshop on Digital Steganography 2003, Kyushu Institute of Technology, Kitakyushu, Japan, July 3-4, 2003.
- [15] Shahrzad Esmaili, Sridhar Krishnan, Kaamran Raahemifar, (2003), "A novel Spread Spectrum Audio Watermarking Scheme based on time-frequency characteristics", CCECE 2003- CCGEI 2003, Montreal, May/mai 2003 0-7803-7781-8/03\$17.00, 2003 IEEE
- [16] T. Painter and A. Spanias, "Perceptual Coding of digital audio," *Proc. IEEE*, vol 88, no 4, pp 451-515, April 2000
- [17] Mansour, M. F., and Tewfik, A. H. (2001), "Audio watermarking by time-scale modification," *International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, vol. 3, pp. 1353-1356.
- [18] Mansour, M. F., and Tewfik, A. H. (2001), "Timescale invariant audio data embedding," *International Conference on Multimedia and Expo*.
- [19] Scott A. Craver, Min Wu and Bede Liu, (2001) "What can we reasonably expect from watermarks? ,21-24 October 2001, New Paltz, New York (Princeton University).
- [20] Gomes, L. Cano, P. Gómez, E. Bonnet, M. Batlle, E. 2003. 'Audio Watermarking and Fingerprinting: For Which Applications?' *Journal of New Music Research* Vol.32 .1



Fuentes de información :

- Empresas dedicadas al watermarking digital:

<http://www.labc.usb.ve/EC4514/AUDIO/PSICOACUSTICA>
http://labc.usb.ve/EC4514/AUDIO/Sistema%20Auditivo/LA_COCLEA.html
<http://www.alphatecltd.com/watermarking/audiomark/audiomark.html>
<http://www.musictrace.de/products/contentmark.en.htm>
<http://www.bluespike.com/>
<http://www.iis.fraunhofer.de/fhg/iis/EN/>
<http://www.iua.upf.edu/new.php3?lng=cas>
<http://mtg.upf.edu/index.php?path=contact/single/action>
<http://www.potatosystem.com/info/en/imprint.html>

- Entidades sin ánimo de lucro dedicadas al watermarkig:

<http://www.watermarkingworld.org/>
<http://www.stereophile.com/>
<http://www.watermarkfactory.com/products.htm>

- Aplicaciones relacionadas con el Copyright:

<http://www.consumer.es/accesible/es/tecnologia/software/2004/10/28/111057.php>
http://www.caspa.tv/archivos/cat_musica.html
http://www.elpais.com/articulo/portada/nuevos/grupos/confian/Internet/promocion/carrera/musical/elpportec/20060706elpcibpor_1/Tes
<http://gabinetedeinformatica.net/wp15/2005/03/30/msica-internet-ofrece-vas-para-salir-de-la-crisis-2/>
http://www.elpais.com/articulo/internet/Sony/ofrece/dinero/discos/cerrar/litigios/polemica/proteccion/anticopia/elpeputec/20060103elpepunct_1/Tes
<http://beatblog.wordpress.com/2006/08/29/universal-music-hara-competencia-a-apple-con-musica-gratuita/>
<http://www.spiralfrog.com/membership/default.aspx?fails=3>
<http://www.gonnasoft.com/Security-Privacy/Encryption-Tools/MP3Guard-MP3-Protection-10314.html>
<http://www.iec.csic.es/CRIPTONOMICON/susurros/susurros26.html>
<http://compartiresbueno.net/>





ANEXO II. ALGORITMOS MATLAB 7.0

ALGORITMOS PARA EL MÉTODO DE DOS SALTOS

```
*****
*                                     *
*          ALGORITMO DE DOS SALTOS o TWO-SET          *
*                                     *
*****

%% Simulación en Matlab de un "Sistema de Comunicación completo"
%% (Transmisor, canal y Receptor). En el lado transmisor se integra la
%% marca de agua en el archivo audio por el método de DOS SALTOS. Este
%% archivo marcado sufre un procesamiento intermedio consistente en la
%% adición de una fuerte interferencia (canal de transmisión ). Y por
%% último en el lado receptor se recibe la marca ruidosa y se detecta la
%% marca integrada en él.

*****

%% DEFINICIÓN DE VARIABLES

semilla = 3;           % Semilla o llave para generar la marca (Rx y Tx)
varianza = 0.001;     % Varianza del ruido AWGN que se añade a la señal.
n_bits = 8;           % Número de bits de la marca
n_semilla_max = 2^(n_bits);

% PARÁMETROS DE MARCADO O DISEÑO

N = 20;               % Tamaño de bloque DCT tomado para marcar el audio.
k1 = 10;              % [k1,k2] rango de coeficientes DCT que se usan para marcar
k2 = 20;
R = 50;               % Número de veces que se repite la marca dentro del audio.
```



```
*****
*                                LADO TRANSMISOR                                *
```

```
[y,fs,bits] = wavread('ParaElisa'); % Leemos la canción (debe ser .wav)
audio = y'; % La mapeamos en la variable 'audio'
```

```
marca = randint(1,n_bits,[0,1],semilla); % Generamos la marca de agua
```

```
% Marcamos el fichero de música con la marca generada antes
audio_marcado = marcado(audio, semilla, N,R, k1, k2);
y1 = audio_marcado'; % Se mapea el audio marcado en variable 'y1'
```

```
wavplay(y,fs,'sync') % Se reproduce de manera síncrona, primero el audio
wavplay(y1 ,fs) % original y luego el marcado -> No deben apreciarse
% diferencias considerables si los parámetros de
% marcado están bien escogidos.
```

```
*****
*                                CANAL DE TRANSMISIÓN                                *
```

```
% Se toma la señal marcada y se procesa con un "ataque " que consiste en la
% adición de una fuerte interferencia en forma de ruido aditivo.
```

```
audio_ruidoso = ruido_gaussiano(audio_marcado, varianza);
```

```
subplot(2,1,1) % Dibujamos el audio que sale del transmisor
plot(audio_marcado) % y el que va a entrar en el detector de marca.
subplot(2,1,2)
plot(audio_ruidoso)
```

```
*****
*                                LADO RECEPTOR                                *
```

```
semilla_detectada= detector(audio_ruidoso, N,R, k1, k2);
```

```
marca_detectada = randint(1,n_bits,[0,1],semilla);
```

```
*** NOTAS :
```

```
*** Este método se diferencia de los demás en que lo que realmente
*** se transmite es la "semilla" de marca y no la marca propiamente dicha.
*** En el Detector se estima la Semilla transmitida y se genera la marca a
*** posteriori de la misma forma en que se generó en el lado transmisor.
```

```
|
```



```
*****  
*                               FUNCIÓN : marcado.m                               *  
*****
```

```
function audio_marcado = marcado(y, semilla, N,R, k1, k2)
```

```
% Función que que mapea la semilla (clave Tx) dentro de cada bloque de  
% tamaño N del audio pasado como primer parámetro. Para ello necesita el  
% tamaño de bloque N, el rango que se usa para calcular las estadísticas  
% que ayudarán a esconder la marca [k1,k2] y el número de veces que inte-  
% gra la marca en el audio R. Devuelve un vector unidimensional que será  
% el audio marcado.
```

```
% DEFINICIÓN DE PARÁMETROS
```

```
M = R*N;           % Número de bits que vamos a usar para marcar  
aux1 = zeros(R,N); % Variable auxiliar  
aux2= y(1:M);      % Cogemos sólo los bits del audio que vamos a marcar  
aux3 = zeros(R,N); % Variable auxiliar  
j=0;
```

```
% Se construye una matriz cuyas filas de tamaño N serán los bloques marcar  
% y por tanto, tendrá R filas; en cada una de ellas se integra la marca  
% una vez.
```

```
for k=1:R  
    for i=1:N  
        j=j+1;  
        aux1(k,i)=aux2(j);  
    end  
end
```



```
%% Ahora recorremos la matriz y para cada una de las R filas marcamos con
%% la semilla dada -> Para ello hacemos uso de otra función que marca 1
%% sólo bloque de tamaño N.
```

```
for k=1:R
    aux3(k,:) = marcado_bloqueN(aux1(k,:),semilla,k1,k2) ;
end
```

```
%% Pasamos la matriz aux3 q ya contiene los elementos marcados a vector
%% unidimensional
```

```
j=1;
for k=1:R
    for i=1:N
        audio_marcado(j)=aux3(k,i);
        j=j+1;
    end
end
```

```
%% Se devuelve el audio ya marcado, las muestras que no vayan marcadas se
%% dejan igual.
```

```
audio_marcado= [audio_marcado, y( M+1: length(y) )];
```

```
*****|
```



```
*****
%
%           FUNCIÓN : marcado_bloqueN.m
%
*****

function bloque_marcado = marcado_bloqueN( bloque,semilla,k1,k2)

% Función que marca en un sólo bloque de tamaño N de la canción en el
% dominio de la frecuencia, haciendo uso de la DCT El bloque en cuestión
% es pasado como parámetro de entrada, junto con el rango que tiene que
% usar para marcar [k1,k2] y la semilla a mapear. Devuelve el bloque ya
% marcado.

% DEFINICIÓN DE VARIABLES

N = length(bloque); % Tamaño de bloque a marcar
n = floor(N/2); %

C = randint(1,1); % Constante que sirve para definir "d", que es la
%  $d = \sqrt{C S}$ , donde S es el error estándar cuadrático
% medio calculado estadísticamente a partir de las
% muestras del bloque.

%% Generamos el "juego de índices" con la semilla correspondiente
I = randint(1, (2*n), [k1,k2],semilla);

F = dct(bloque); % Vector de coeficientes DCT F={F1,...,FN}

A= F( 1,I(1:n)); % Subconjuntos A y B generados a partir del juego
B= F( 1,I(n+1:(2*n))); % de índices I
```



```
%% CÁLCULO DE LOS PARÁMETROS ESTADÍSTICOS :

A_media = (1/n)*sum(A);    % Las medias
B_media = (1/n)*sum(B);

a = A - A_media;
b = B - B_media;

% El error estándar cuadrático medio
S=sqrt( (1/ n*(n-1) )*(sum (a.^2) + sum( b.^2) ) );

% Calculamos la constante "d" a partir de los parametros estadisticos,
% esta cte se suma y se resta a A y B respectivamente, para aumentar la
% distancia entre A y B:

d = sign( A_media -B_media )* sqrt(C)* (S/2);

%% Reemplazamos A y B por A1 y B1 (para ello se suma y resta a A y B la
%% cte "d" calculada anteriormente

A1 = A + d ;
B1 = B - d ;

% Construimos el vector de "coefs dct" modificado ,las muestras que no se
% hayan modificado se quedan igual que el original

F1=F;
F1(1,I(1:n) )= A1;
F1(1, I(n+1 : 2*n) )= B1;
F1(1,n+1: N-n )= F(n+1: N-n) ;

%% NOTAS :Ponemos lo anterior para solucionar el problema,de que cuando
%% k2<N, el vector F1 es de K2 eltos, cuando debería tener N. Le añadimos
%% al final los elementos originales del vector F cuando esto ocurra. Asi
%% conseguimos que siempre el vectro ws (sonido marcado) sea de la misma
%% dimension que el sonido sin marcas(s)

% Por último,hacemos la Transformada DCT inversa para pasar al dominio
% temporal el bloque N ya marcado.
bloque_marcado = idct(F1);
*****
```



```
*****
%
%                               FUNCIÓN : detector.m
%
*****

function semilla_detectada = detector(audio_marcado, N,R, k1, k2)

% DEFINICIÓN DE PARÁMETROS

M = R*N;           % Número de bits totales que vamos a usar para detectar
n = N/4;           % Se tomarán para calcular los estadísticos la cuarta parte
                  % superior e inferior.
n_semillas= 8;    % Número de semillas máxima que vamos a tener.

aux1 = zeros(R,N); % Variable auxiliar para manejar mejor los bloques
aux2= audio_marcado(1:M);

%% Creamos matriz auxiliar donde cada fila representa un bloque DCT
%% donde podría haber una marca insertada
s=0;
for k=1:R
    for i=1:N
        s=s+1;
        aux1(k,i)=aux2(s);
    end
end

% A cada bloque de tamaño N del audio le detectaremos la semilla mediante
% la función detector_bloqueN
for k=1:R
    semillas(k)= detector_bloqueN(aux1(k,:),n_semillas,k1,k2) ;
end
```



```
% A cada bloque de tamaño N del audio le detectaremos la semilla mediante
% la función detector_bloqueN
for k=1:R
    semillas(k)= detector_bloqueN(aux1(k,:),n_semillas,k1,k2) ;
end

%El vector de semillas tendra la semilla detectada en cada repeticion, se
%ha insertado la marca R veces, para aumentar al probabilidad de exito.

% Elegimos como semilla que más se repita dentro del vector semillas:
cont= zeros(1,n_semillas);    %contador auxiliar
for k=1:R
    for i=1:n_semillas
        if semillas(k)== i
            cont(i)= cont(i)+1;
        end
    end
end
end

% Elegimos como semilla la que más veces halla aparecido de las R
% comprobaciones ( El parámetro R proporciona rubustez en este sentido).
[maxfil,maxcol]= max(cont);
semilla_detectada=maxcol;

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%                               FUNCIÓN : ruido_gaussiano.m
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

function [audioruidoso]=ruido_gaussiano(audio, varianza)

%% Función que añade ruido gaussiano que se le pase como primer parámetro y
%% con la varianza que se le pase como segundo, devolviendo el
%% audio_ruidoso

N= length(audio);
randn('seed',1);
ruido = sqrt(varianza)*randn(1,N) ;
audioruidoso= audio + ruido;

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```



```
*****
*                               FUNCIÓN : detector_bloqueN.m                               *
*****
function semilla_detectada = detector_bloqueN(bloque,n_semillas,k1,k2)

% Función detecta la marca en un sólo bloque de tamaño N de la canción en
% el dominio de la frecuencia, haciendo uso de la DCT El bloque en cuestión
% es pasado como parámetro de entrada, junto con el rango que tiene que
% usar para marcar [k1,k2] y el número de semillas posibles con las que
% que probartendrá. Devuelve la semilla detectada.

% DEFINICIÓN DE VARIABLES

N = length(bloque); % Se define N como tamaño de bloque
n = floor(N/2);    % Tamaño de los conjuntos A y B

M=0;              % Umbral de decision para el detector

% Se comienza pasando el bloque de N muestras al dominio DCT

F = dct(bloque) ; % Coeficientes DCT de la señal marcada
```



```
% PARA CADA SEMILLA posible :
for i=1:n_semillas

    %generamos el juego de indices
    I(i,:)= randint(1,(2*n), [k1,k2], i );

    % Obtenemos los dos subconjuntos A y B para cada juego de indices:
    A(i,:) = F( 1,I(i, 1:n ));
    B(i,:) = F( 1,I(i, n+1: 2*n ));

    %% CALCULO DE LOS PARAMETROS ESTADISTICOS
    %% Media para cada subconjunto A y B
    a_media= (1/n)*sum( A(i,:) );
    b_media= (1/n)*sum( B(i,:) );
    %% calculo de la desviacion tipica
    a(i,:) = A(i,:) - a_media;
    b(i,:) = B(i,:) - b_media;
    S(i)= sqrt((1/ n*(n-1) )*(sum (a(i).^2) + sum( b(i).^2))) );
    %% Construimos los umbrales de decision T^2:
    T_cuadrado(i)= (1/S(i)^2)*(a_media- b_media )^2;

end

% Hemos construido un vector S, cuyos elementos contiene la desviacion
% tipica con cada una de las semillas, tiene tantos elementos como semillas
% posibles. Ahora se decide el elemento maximo.

% Elegimos como T^2, con el mayor de los obtenidos con los estadisticos
[fil,col]= max(T_cuadrado);
semilla_detectada =col;

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```



ALGORITMOS PARA EL MÉTODO DE ESPECTRO EXPANDIDO

```
*****
%                               ALGORITMO DE ESPECTRO EXPANDIDO                               %
*****

%% Simulación en Matlab de un "Sistema de Comunicación completo"
%% (Transmisor, canal y Receptor). En el lado transmisor se integra la
%% marca de agua en el archivo audio por el método de ESPECTRO EXPANDIDO.
%% Este archivo marcado sufre un procesamiento intermedio consistente en
%% la adición de una fuerte interferencia (canal de transmisión ). Y por
%% último en el lado receptor se recibe la marca ruidosa y se detecta la
%% marca integrada en él.

*****
clear all

% DEFINICIÓN DE VARIABLES
Nm = 16;
semilla_pn = 20;           %Clave para la secuencia pseudoaleatoria(Tx y Rx)
semilla_marca = 30;       %Clave para generar la marca (Tx y Rx)

varianza= 0.001;         % Varianza para el ruido aditivo del canal
```



```
*****
%                               LADO TRANSMISOR                               %
*****

[y,fs,bits] = wavread('ParaElisa.wav');%Leemos la canción (debe ser .wav)
audio = y';                               % La mapeamos en la variable 'audio'

marca = randint(1,n_bits,[0,1],semilla_marca);%Generamos la marca de agua

fi = freq_media_inst(audio);   % Función que calcula la Frecuencia
                               % media instantánea

% Marcamos el fichero de música con la marca generada antes
audio_marcado = marcado( marca, audio,fi,semilla_pn,fs );
y1= audio_marcado';          % Se mapea el audio marcado en variable 'y1'

wavplay(y,fs,'sync') % Se reproduce de manera sincrónica, primero el audio
wavplay(y1 ,fs)      % original y luego el marcado -> No deben apreciarse
                    % diferencias considerables si los parámetros de
                    % marcado están bien escogidos.

*****
%                               CANAL DE TRANSMISIÓN                               %
*****

%Se toma la señal marcada y se procesa con un "ataque " que consiste en la
%adición de una fuerte interferencia en forma de ruido aditivo.

audio_ruidoso = ruido_gaussiano(audio_marcado, varianza);

subplot(2,1,1)          % Dibujamos el audio que sale del transmisor
plot(audio_marcado)    % y el que va a entrar en el detector de marca.
subplot(2,1,2)
plot(audio_ruidoso)

*****
%                               LADO RECEPTOR                               %
*****

% En el detector de marca entra el audio ruidoso y éste debe pasar a la
% salida la marca de agua que ha detectado

marca_estimada= detector( audio_ruidoso,fi, semilla_pn,Nm,fs);

*****
```



```
*****
%
%           FUNCIÓN : freq_media_inst.m
%
*****

function fi = freq_media_inst(y)

% Función que calcula la frecuencia media instantánea de una señal que se
% le pasa como parámetro. La IMF se calculará la suma, para cada frecuencia
% de la STFT en función del parámetro discreto partido por la energía de la
% señal en cada frecuencia y en función del tiempo( módulo de la FFT al
% cuadrado)

% Primero se calcula la Short Time Fourier Transform del vector columna
stft_y = specgram(y); % La función 'specgram' calcula la STFT,devolviendo
% una matriz nfilxncol donde cada columna será la
% Transformada de Fourier para cada frecuencia;
% [f0,f1,...fncol], y cada fila representa la
% Transformada de Fourier para cada ventana de
% tiempo.

fft_y = fft(y); % Calculamos fft del vector dado, que nos servirá
% para el denominador de la ecuación

%% Cálculo de la frecuencia instantánea media:

[nfil,ncol]= size(stft_y); % Calculamos las dimensiones de la matriz stft

fi_num = sum(stft_y ,2); % vector 1xnfil cuyas elementos son la suma de
% todas las columnas de la matriz stft_y, es
% decir, sumamos para toda las frecuencias.

% Por último recorreremos con un bucle todas las filas de la matriz,
% para que sume a lo largo del tiempo discreto dividiendo por el módulo al
% cuadrado de la fft para cada n (tiempo discreto).
for i = 1: nfil
    fi(i,1)= fi_num(i) / abs(fft_y(i))^2;
end

%El vector fi contiene la Frecuencia media instantánea del vector y, que se
%devolverá como parámetro de salida

*****
```



```
*****
*                               FUNCIÓN : pn_filtrada.m                               *
*****

function pn_filtrada = pn_filtrada(nmax,Fs)

% Funcion que filtra paso baja la secuencia pseudoaleatoria que se le pasa
% como parámetro.

% ESPECIFICACIONES PARA EL FILTRO LP

Rp= 1;           % Rizado banda de pas
Rs=20;          % Rizado banda de rechazo
fsim= 50000;    % Frecuencia de simulacion

Wp=2*2400/fsim; % Especificaciones digitales a partir de las analogicas
Ws=2*3000/fsim; % la banda de paso esta entre 0 y 4kHz

seed= 30;       % semilla para la secuencia pseudoaleatoria
f= 0 : 1:7400;  % definimos la variable de frecuencia

pn = 2*randint(1,nmax,[0,1],seed) - 1; % generamos secuencia bipolar

%% Diseñamos un filtro paso de baja LP tipo Butterworth
[N, Wn]= buttord (Wp,Ws,Rp,Rs);
[b,a]= butter (N,Wn,'low');

H = freqz(b,a,f,fsim); % Pasamos el filtro a frecuencia
PN =freqz(pn,1,f,fsim); % Pasamos la secuencia pn al dom. de la freq

PN_filtrada= PN.*H ; % Filtramos la secuencia pseudoaleatoria
                  % Multiplicandolas en frecuencia
%% antitransformamos al dom del tiempo discreto
pn_filtrada =invfreqz(abs(PN_filtrada),f,nmax-1,1);
%dibujamos la secuencia y su version filtrada
subplot (3,1,1)
plot (f,abs(H))
subplot (3,1,2)
plot (f, abs(PN_filtrada),'r',f,abs(PN),'g')
subplot (3,1,3)
plot(pn_filtrada)

*****
```




```
*****
*                                     *
*          FUNCIÓN : detector.m          *
*                                     *
*****

function marca_estimada = detector( audio_marcado,fi, semilla_pn,Nm,fs )

% Función detecta la marca que se integró en un audio a partir del audio
% mardaco y ruidoso, la IMF, la semilla para la pn-secuencia. Devuelve la
% marca estimada.

% Generamos la secuencia pseudoaleatoria
pn = 2*randint(1,Nm , [0,1],semilla_pn)-1; % generamos secuencia bipolar
pn_lp = pn_filtrada(Nm,fs); % La filtramos paso baja

IMF= abs(fi)'; % IMF a partir de fi
tam= length(IMF);

signal=audio_marcado(1:tam); % Recortamos la señal

%% PASO 1: PRODUCTO DE MODULACIÓN

for i=1:tam
    c(i) = cos( 2*pi*IMF(i)*i ); % Generamos la secuencia portadora
    r(i) = signal(i)*c(i); % Producto de modulación
end

%% PASO 2 : DETECTOR DE CORRELACIÓN

%Calculamos el módulo de la pn-secuencia
norma_pn =sqrt( sum(pn_lp.^2)) % la mnorma de pni'

% Por último se estima la marca haciendo la correlación entre la señal
% demodulada que se ha obtenido y la secuencia pseudoaleatoria generada con
% la misma semilla que en el receptor.

marca_estimada=(1/norma_pn)* xcorr( r,pn_lp);

*****
```



ALGORITMOS PARA EL MÉTODO DE RÉPLICA

```
*****
%           ALGORITMO DE MARCADO POR ECO (ECHO-HIDING)           %
*****

%% Simulación en Matlab de un "Sistema de Comunicación completo"
%% (Transmisor, canal y Receptor). En el lado transmisor se integra la
%% marca de agua en el archivo audio por el método de MARCADO POR ECO. Este
%% archivo marcado sufre un procesamiento intermedio consistente en la
%% adición de una fuerte interferencia (canal de transmisión ). Y por
%% último en el lado receptor se recibe la marca ruidosa y se detecta la
%% marca integrada en él.

*****
clear all

%% DEFINICIÓN DE VARIABLES

semilla = 35;           % Clave para la generación de la marca en Tx y Rx
Ns = 8;                % Cada marca tiene 8 bits, correspondencia con ASCII
varianza= 0.001;

%% PARÁMETROS DE DISEÑO

retraso= 80;           % Número de muestras que se van a retrasar los '0' (d)
delta = retraso/2;    % Incremento en el num de muestras de los '0' (delta)
%delta = retraso;

amplitud=0.4;         % Escalado q van a sufrir las muestras eco( ALFA)
```



```
*****
%                               LADO TRANSMISOR                               %

[y,fs,nbit]=wavread('ParaElisa.wav');% Leemos la canción (debe ser .wav)
audio = y';                          % La mapeamos en la variable 'audio'

marca= randint(1,Ns,[0,1],semilla); % Generamos la marca de agua

% Marcamos el fichero de música con la marca generada antes
audio_marcado = marcado(audio,marca,amplitud, retraso, delta);
y1= audio_marcado';                  % Se mapea el audio marcado en variable 'y1'

wavplay(y,fs,'sync') % Se reproduce de manera sincrónica, primero el audio
wavplay(y1 ,fs)      % original y luego el marcado -> No deben apreciarse
                    % diferencias considerables si los parámetros de
                    % marcado están bien escogidos.
*****
%                               CANAL DE TRANSMISIÓN                               %

% Se toma la señal marcada y se procesa con un "ataque " que consiste en la
% adición de una fuerte interferencia en forma de ruido aditivo.

audio_ruidoso = ruido_gaussiano(audio_marcado , varianza);

subplot(2,1,1)          % Dibujamos el audio que sale del transmisor
plot(audio_marcado)    % y el que va a entrar en el detector de marca.
subplot(2,1,2)
plot(audio_ruidoso)

*****
%                               LADO RECEPTOR                               %

[marca_detectada]= detector(audio_ruidoso,Ns,retraso,delta);

% Por último dibujamos las formas de onda del audio y el audio marcado
subplot(2,1,1)
plot(audio)
subplot(2,1,2)
plot (audio_marcado)

% NOTAS:
% Este metodo detecta directametne la marca insertrada bit a bit.
% Recordemos que en el metodo del Two-set, se mapeaba la "marca" a la
% semilla, es decir, que lo que verdadereamente transmitimos es la
% semilla. En este vamos detectando bit a bit la marca integrada.
```



```
*****
*                               FUNCIÓN : marcado.m                               *
*****

function audio_marcado = marcado( audio, marca, amplitud, d, delta)

% Función que integra la marca pasada como segundo parámetro en el archivo
% audio pasada como primero. Recibe también como parámetros de entrada los
% parámetros de diseño, d, delta que es el retraso del eco para los ceros y
% unos respectivamente y 'amplitud' que es la amplitud de los ecos.

% DEFINICIÓN DE PARÁMETROS

Ns =length(marca);           %Número de segmentos en que va a dividirse audio
L= floor(length(audio)/Ns); %Longitud de cada segmento de la señal

M = Ns*L;                   % Número total de bits de audio que vamos a marcar
aux1 = zeros(Ns,L);         % Variable auxiliar para almacenar cada bloque
aux2= audio(1:M);           % Auxiliar que representa sólo los bits de 'audio'
                               % vamos a marcar.

j=0;

%% Vamos rellenando una matriz donde cada fila representa
%% un segmento (Ns segmentos) donde habrá que insertar un bit de marca

for k=1:Ns
    for i=1:L
        j=j+1;
        aux1(k,i)=aux2(j);
    end
end

% Creamos las dos funciones de retraso, una para un '0' y otra par ael '1'
retraso_cero= d;
retraso_uno= d + delta ;

% FUNCIONES KERNEL : 1+alfa*x(n-retraso) para el '0' y '1'
kernelzero = zeros(1,retraso_cero);
kerneluno= zeros(1, retraso_uno);

kernelzero(1)=1;           % Los elementos en z^0( sin retraso)
kerneluno(1)=1;
kernelzero(retraso_cero)= amplitud; % los Llementos retrasados se escalan
kerneluno(retraso_uno)= amplitud;
```



```
% A continuación cada segmento de la señal audio(cada fila de aux) se hace
% pasar por los filtros IIR , que retrasan 'd' y 'd+delta' muestras

% para cada segmento se crean las funciones cero_eco y uno_eco
for k=1:Ns
    cero_eco(k,:) = filter(kernelzero,1, aux1(k,:));
    uno_eco(k,:) = filter(kerneluno,1, aux1(k,:));
end

% Creamos los mezcladores para el '0' y para el '1'
for k=1:Ns
    if marca(k)==0                %Mezclador_uno y cero son complementarios
        for i=1:L                %es decir, la suma siempre es UNO
            mezclador_cero(k,i)=1;
            mezclador_uno(k,i)=0;
        end
    else
        for i=1:L
            mezclador_cero(k,i)=0;
            mezclador_uno(k,i)=1;
        end
    end
end

% Por último se multiplica la matrices de eco creadas con los mezcladores,
% para crear la señal marcada

audio_cero = cero_eco.* mezclador_cero;
audio_uno = uno_eco .* mezclador_uno;

auxcero=audio_cero';
auxone=audio_uno';
for i=1:M
    zero(i)=auxcero(i);
    one(i) =auxone(i);
end

%% Creamos el audio marcado y para que tengala misma longitud le añadimos
%% las ultimas muestras del audio original que no fueron tenidas en cuenta
%% por el redondeo

audio_marcado(1,1:M)= zero(1:M) + one(1:M);
audio_marcado(1,M+1:length(audio))= audio(1, M+1:length(audio));

*****
```



```
*****
%                               FUNCIÓN : detector.m                               %
*****

function [marca_detectada]= detector(audioy,Ns,retraso,delta)

% Función que detecta la marca integrada en el audio que se le pasa como
% primer parámetro pasándola a la salida. También recibe como parámetro de
% entrada los parámetros de diseño. Debe conocer la longitud del
% segmento que se ha marcado Ns (es decir, el tamaño de la marca).

L = floor(length(audioy)/Ns); %Número de segmentos que hay que chequear
M = Ns*L; % Número de bits del sonido que vamos a usar para marcar

aux1 = zeros(Ns,L); % Variable auxiliar
aux2= audioy(1:M); % Auxiliar que representa los bits de 'audio' que hay
% que chequear
s=0;

%Creamos una matriz auxiliar donde cada fila es un segmento de tamaño L
for k=1:Ns
    for i=1:L
        s=s+1;
        aux1(k,i)=aux2(s);
    end
end

%aux1 será una matriz cuyas filas sean los bloques de audio marcados, con
%Ns filas distintas

*****
%                               FUNCIÓN : ruido_gaussiano.m                               %
*****

function [audioruidoso]=ruido_gaussiano(audio, varianza)

%% Función que añade ruido gaussiano que se le pase como primer parámetro y
%% con la varianza que se le pase como segundo, devolviendo el
%% audio_ruidoso

N= length(audio);
randn('seed',1);
ruido = sqrt(varianza)*randn(1,N) ;
audioruidoso= audio + ruido;

*****
```



```
for k=1:Ns      %Para cada fila ( para cada bit de marca)

    segmento = aux1(k,:); % Cada fila de la matriz aux es un segmento

    ffty= fft(segmento); % Se CALCULA EL CEPSTRUM de cada segmento
    magnitud = ffty .* ffty;
    logaritmo = log(magnitud);
    cepstrum = real( ifft(logaritmo));

    %Se evalua el cepstrum en las posiciones 'd' y 'd+delta'
    a = abs(cepstrum(retraso)); %
    b = abs(cepstrum(retraso+delta));

    % Se estima el bit introducido en cada segmento como aquél en el que el
    % Cepstrum sea mayor.
    if a > b
        marca_detectada(k)=0;
    else
        marca_detectada(k)=1;
    end
end

% Se generan todas las semillas posibles y se hace la correlación con la
% detectada.
% for semilla=1:n_semillas
%     marca = randint(1,Ns,[0,1],semilla);
%     % En el vector detector estan todas las correlaciones
%     aux_corr(semilla) = xcorr(marca, marca_detectada,0,'biased');
% end
% Se estima que la semilla detectada es la que ha obtenido una correlacion
% mayor.
%
% [A,seed]= max(aux_corr);
% semilla_detectada= seed;
```