



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias de la Ingeniería

Escuela de Ingeniería Civil Acústica

Profesor Patrocinante:

Víctor Poblete Ramírez.

Instituto de Acústica.

Universidad Austral de Chile.

Profesor Copatrocinante:

George Sommerhoff Hyde.

Instituto de Acústica.

Universidad Austral de Chile.

Profesor Copatrocinante:

Felipe Ochoa Escobar.

Policia de Investigaciones de Chile.

Laboratorio de Criminalística Regional. Temuco.

INGENIERIA ACUSTICA APLICADA A LA CRIMINALISTICA “ACUSTICA FORENSE”

Tesis presentada como parte de

los requisitos para optar al

Título Profesional de Ingeniero Acústico

y al Grado Académico de Licenciado en Acústica

EDUARDO ANDRÉS PÉREZ BELLO

Valdivia, Chile 2008

Este trabajo de titulación está dedicado
a mis padres Lucía y Sócrates.

Agradecimientos

Primero que todo quiero agradecer a Dios por su compañía y protección en momentos alegres y también en los complicados de mi vida. Agradezco el amor, apoyo y paciencia de mis padres, Lucia y Sócrates, sin ellos todo esto no habría sido posible. Todo lo que me entregaron desde pequeño ha sido una gran base para construir la persona que soy hoy, les agradezco infinitamente el haberse esforzado tanto por darme una educación de primer nivel. A mis hermanos, Felipe y Lucia, por ser mis amigos, cómplices, compañía y apoyo durante toda mi vida. A mi querida abuela Armanda que ha sido mi segunda madre, a mis tíos Armanda, Anita, Orlando y Jorge que siempre estuvieron presentes para apoyar mis estudios y los de mis hermanos. Puedo decir, sin temor a equivocarme, que sin el cariño y apoyo mi familia no habría sido posible llegar al final.

Quiero agradecer de forma muy especial a Victor Poblete, mi profesor guía, que me ha apoyado no sólo como académico sino como un fraternal amigo. Al profesor Jorge Sommerhoff y al Ingeniero Acústico Felipe Ochoa por su tiempo y crítica constructiva para este trabajo. También agradecer a mis profesores del Instituto de Acústica, en especial al profesor Jorge Cárdenas por la confianza entregada durante mi periodo como su ayudante y por sus constantes recomendaciones laborales, también al profesor José Luís Barros por permitirme ser su ayudante académico, a la Señora Hilda Negrón y a don Víctor Cumián por su prestancia y ayuda. A la Universidad Austral de Chile que permitió formarme como profesional entregándome sólidos conocimientos y una excelencia académica privilegiada.

No puedo dejar de mencionar la compañía y apoyo entregado por mis amigos y compañeros de infancia, a Sergio Albarracín, Gonzalo Alvarado, Cristian Torres, Eduardo Millar, Viviana Navarrete, Susana Maldonado, Daniela Ovando. También a mis profesores del Colegio Preciosa Sangre que me dieron las herramientas para afrontar la vida con una sólida base académica y personal.

En mis años universitarios conocí grandes personas que dejaron enseñanzas y amistad que están presentes hasta el día de hoy, a mis amigos Felipe Galdámez, Rodrigo Alfaro, Benjamín Ruz, Gonzalo Riquelme, Héctor Santana, Adriano Sabez, Pedro Antillanca, Roberto Méndez, Verónica Veloso, Marcelo Rodríguez.

Con mucho cariño quiero agradecer a mi amigo César Matamala y a Rocío por su amistad incondicional en los tiempos buenos y también en los difíciles de nuestras vidas, y por recibirme cordialmente en su hogar cada vez que tuve que ir a Valdivia a realizar tramites una vez que egrese de la universidad. A la familia Matamala Quezada (padres de César) que fueron mi segunda familia en Valdivia, a la tía Carmen y al tío Durenil que fueron un gran apoyo para muchos que estábamos lejos de casa. También a la Sra. Magali Pugin y a don Arturo Hernández donde quienes arrendé en los últimos años que estuve en Valdivia, su casa fue un bunker en largas jornadas de estudios y centro de reuniones de amigos que jamás se podrán olvidar.

Índice

1. RESUMEN	6
2. ABSTRACT	7
3. INTRODUCCIÓN	8
4. OBJETIVOS	10
4.1. OBJETIVOS GENERALES	10
4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	10
5. PROCESO DE PRODUCCIÓN ACÚSTICA DEL HABLA: LA FONACIÓN	11
5.1. El aparato fonador humano.	12
5.1.1. Cavidades infragloticas.	13
5.1.2. Cavidad glótica.	13
5.1.3. Cavidades supragloticas.	13
5.2. Mecanismo Anatomofisiológico de la Fonación.	16
5.3. Cualidades de la Voz.	17
5.4. Teorías sobre el surgimiento de la voz.	18
6. PROCESO DE PERCEPCION AUDITIVA	20
6.1. Funciones del oído humano.	20
6.2. Oído externo y oído medio.	21
6.3. Oído interno.	21
6.3.1. La cóclea (caracol).	21
6.3.2. Órgano de Corti.	22
6.3.3. De la Cóclea al Cerebro.	22
6.4. Transmisión del sonido.	23
6.4.1. Funciones del la membrana timpánica y de los huesecillos.	23
6.4.2. Reflejo timpánico.	24
6.4.3. Conducción en el aire y en el hueso.	24
6.5. Percepción de la altura tonal: la frecuencia.	24
6.6. Percepción de la presión o intensidad sonora: Sonoridad.	24
6.7. Percepción de la estructura acústica de resonancia: el timbre.	27
6.8. El Efecto Cóctel.	27

7. MICRÓFONOS: CLASIFICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	28
7.1. Características principales.	28
7.2. Clasificación según su tipo de captación.	30
7.2.1. Micrófonos omnidireccionales.	30
7.2.2. Micrófonos bidireccionales.	31
7.2.3. Micrófonos unidireccionales.	31
7.3. Clasificación según el tipo de trasducción.	31
7.3.1. Micrófonos de bobina móvil.	32
7.3.2. Micrófonos de condensador.	32
7.3.3. Micrófonos Electret.	33
7.3.4. Micrófonos piezoeléctricos.	34
8. GRABACION DE SONIDO	36
8.1. Grabación analógica de sonido.	36
8.1.1. Grabación mecánica analógica.	37
8.1.2. Grabación magnética analógica.	37
8.1.3. Grabación óptica analógica.	41
8.2. Grabación digital de sonido.	42
8.2.1. Grabación magnética digital.	43
8.2.2. Grabación óptica digital.	43
8.2.3. Grabación opto-magnética digital.	44
9. ANTECEDENTES HISTORIOS DEL RECONOCIMIENTO DE VOZ EN EL ÁMBITO FORENSE	46
9.1. Lawrence Kersta.	47
9.2. El surgimiento de una técnica. La referencia U.S.A.	49
9.3. Primeros pasos de la identificación de voz fuera de los EEUU.	51
9.4. En la actualidad.	52
9.4.1. Estados Unidos.	52
9.4.2. Europa y resto del mundo.	54
10. EJES DE DESARROLLO DE LA ACÚSTICA FORENSE EN CHILE	58
10.1. Análisis de Voz.	58
10.1.1. Problemáticas del reconocimiento automático de hablantes.	62
10.2. Análisis de grabaciones.	62
10.3. Sistemas de cancelación de ruido.	64

10.4. Técnicas de acústica arquitectónica.	65
10.5. Técnicas de acústica en campo libre.	65
11. LOS INFORMES PERICIALES Y SU VALOR PROBATORIO	66
11.1. Autoridad de la cual emanan los informes.	66
11.1.1. Calidad de Perito.	66
11.1.2. Cualidades que deben reunir los expertos.	67
11.1.3. Designación de los peritos.	69
11.1.4. Autoridad que designa al perito.	70
11.1.5. Juramento de los peritos.	71
11.1.6. Responsabilidad de los peritos.	71
11.1.7. Capacidad, incapacidad e inhabilidades para desempeñarse como perito.	72
11.1.8. La recusación y tacha de los peritos.	73
11.2. LOS INFORMES PERICIALES.	73
11.2.1. Concepto y clasificación.	73
11.2.2. Forma y contenido del informe pericial.	74
11.2.3. Cualidades que deben reunir los informes.	75
11.2.4. Entrega del informe y del plazo para ello.	76
11.3. Valor probatorio de los Informes Periciales.	76
11.3.1. Generalidades respecto de la prueba.	76
11.3.2. Principios que informan la apreciación de la prueba en el Código Procesal Penal.	77
11.3.3. Valor probatorio de los informes emanados por los peritos.	78
12. LINEAS FUTURAS DE TRABAJO DE LA ACÚSTICA FORENSE	79
12.1. Dificultad del entorno de investigación forense.	79
12.2. Mejor filosofía metodológica: los métodos combinados.	80
12.3. Principales directrices de trabajo futuro.	80
12.3.1. Investigación y desarrollo.	80
12.3.2. Ámbito judicial y formación de expertos.	81
13. CONCLUSIONES	82
14. BIBLIOGRAFÍA	84

1. RESUMEN

La ingeniería acústica es una especialidad que a lo largo de su historia ha demostrado ser muy versátil en lo que a sus campos profesionales se refiere, siendo la criminalística una nueva área de especialización de esta carrera. En la actualidad, la acústica forense es un tanto desconocida ya que lleva solamente cinco años de labor, principalmente desarrollada por la sección de sonido del laboratorio de criminalística. Es por esto, que la tesis pretende dar a conocer distintas áreas que abarca la especialidad, y así fomentar la inquietud de querer desarrollar trabajos futuros conducentes al mejoramiento de las técnicas aplicadas en la acústica forense en nuestro país.

El conocimiento de la generación de voz humana y los procesos auditivos permiten a un experto en audio poder entenderse con otros profesionales en las tareas en que sea necesario un trabajo multidisciplinar, especialmente en lo relacionado en el reconocimiento de voz en el ámbito forense. También el conocimiento de los sistemas de grabación y microfonía son de vital importancia en lo que respecta a tener un conocimiento incuestionable a la hora de defender un peritaje de audio, cualquier duda sobre estos temas podría hacer que la credibilidad de un experto en audio sea cuestionada a la hora de defender las pericias realizadas.

El nuevo sistema de hacer justicia en Chile ha hecho que la labor del perito sea de gran importancia a la hora de analizar la validez de la evidencia acusatoria. Es por esto mismo que un perito debe ser un experto en los temas sobre los cuales es consultado. En nuestro caso, un ingeniero acústico está llamado a ser un actor importante en los análisis atinentes al audio.

Si bien es cierto, hoy en día en Chile existe una sección de acústica forense perteneciente al LACRIM de la Policía de Investigaciones de Chile, en donde trabajan ingenieros acústicos y en sonido, es preciso que entidades académicas presten colaboración en investigación, desarrollo e innovación en el área, debido a que por su carácter operativo y no investigativo, los profesionales de dicha sección especializada de la policía, no pueden desarrollar estudios que apunten al desarrollo de la acústica forense.

2. ABSTRACT

Acoustic engineering is a specialty that throughout its history has demonstrated to be very versatile referring to its professional fields, being criminology a new area of specialization of this career. At the present time, forensic acoustics is somewhat not much known since it has only five years of work, mainly developed by the criminology laboratory's sound section. That's why this thesis tries to present different areas that this specialty includes, and thus to foment the restlessness to develop conducive future works for the improvement of the techniques applied in our country's forensic acoustics.

The knowledge about the human voice's generation and auditory processes allow an audio expert to be able to be understood with other professionals in tasks that need a multidisciplinary work, especially in things related to voice recognition under the forensic scope. Also, the knowledge of recording systems and microphone techniques have big importance with regard to get an unquestionable knowledge when defending an expert work of audio, any doubt on these subjects could make the audio expert's credibility questioned.

The new justice system in Chile have made the expert's labor to be of big importance when analyzing the accusatory evidence's validity. This is why an expert must be an expert on consulted subjects. In our case, an acoustic engineer is called to be an important actor in audio related analysis.

Nowadays exist in Chile a forensic acoustics section that belongs to the Criminal Laboratory Department (LACRIM) of the Chilean Investigations Police (Policia de Investigaciones de Chile), where sound and acoustic engineers work, its precise that academic entities to collaborate in this area's research, development and innovation, due to its operative and non-research character, professionals from this specialized police's section, cannot develop studies aiming to develop forensic acoustics.

3. INTRODUCCIÓN

La ingeniería acústica es una carrera universitaria que está dedicada al estudio de la física del sonido y sus aplicaciones profesionales (control de ruido, sonorización, grabación profesional, diseño de salas de concierto, procesamiento digital de señales, etc.), ya al hablar de ingeniería acústica, con el común de las personas, se produce una interrogante muy frecuente *¿y en qué consiste tu especialidad?*. Muchos de los estudiantes de esta carrera nos hemos enfrentado a esta pregunta muchas veces y hemos tenido que responder tantas veces lo mismo. Sin embargo, no deja de ser curioso que entre los mismos estudiantes de acústica surja la pregunta *¿y qué trata eso?* cuando se habla de acústica forense.

La acústica forense es una rama de la criminalística, que surge como apoyo a labor policial para esclarecer amenazas, extorsiones, estafas, fraudes, tráfico de drogas, etc; y está dedicada a la identificación de hablantes, el análisis de grabaciones y las técnicas de reducción de ruido. Todo lo anterior se logra con la ayuda de un amplio conocimiento en procesamiento digital de señales y electroacústica. La acústica forense es uno de los campos más complejos de la criminalística ya que requiere un trabajo multidisciplinario y una constante especialización en las nuevas tecnologías aplicadas en lo forense.

El año 2000 en nuestro país se inició la implementación de la Reforma Procesal Penal, que reemplazó el antiguo sistema inquisitivo. Entre sus características principales, se destaca el juicio oral y público, donde todas las evidencias y pericias son expuestas y escrutadas por el Tribunal colegiado oral en lo penal.

Uno de los elementos implícitos en esta reforma, dice relación con la rigurosidad profesional en el análisis de evidencias por parte de expertos en determinadas materias. En forma particular, se hace referencia al rigor profesional con que se aborda un análisis pericial. El trabajo del experto en una determinada disciplina, denominado formalmente perito, se torna de vital importancia en su apoyo a la labor investigativa llevada a cabo por el Ministerio Público (La Fiscalía) y sus entes auxiliares (Policía de Investigaciones, Servicio Médico Legal y Carabineros). Es en este contexto anterior en que hacen su aparición una gama de nuevas disciplinas. Para la Policía de Investigaciones de Chile, una de estas nuevas materias de desarrollo corresponde a la Acústica Forense, es por ello que en el año 2003 surge la Sección Sonido dependiente del Laboratorio de Criminalística Central. Entre sus funciones está el apoyar a los Tribunales, al Ministerio Público y a cualquier unidad o brigada especializada de la Policía, en todas aquellas materias atinentes a su especialidad.

Sin embargo, no sólo los peritos de la policía de investigaciones pueden desempeñarse como tales, también lo pueden hacer todos aquellos profesionales que tengan conocimientos y experticia en determinadas áreas en que sea necesario realizar un peritaje. Es así como un ingeniero acústico está llamado

a formar parte importante en lo que se refiere a los peritajes de audio en el marco de la nueva forma de hacer justicia en Chile.

Para cumplir una labor responsable, en el campo de los peritajes en audio, es necesario conocer de forma detallada el estado del arte de la acústica forense, lo cual incluye conocer los mecanismos de generación del habla, el sistema auditivo, tipos de micrófonos, sistemas de registro sonoro, procesamiento digital de señales, limitaciones técnicas de la acústica forense, el marco legal que regula a los peritos, etc.

La especialización y el amplio manejo de una determinada área de investigación, en este caso el audio, hacen que un perito sea considerado con la credibilidad y experticia necesaria para defender su peritaje. Es por esto que mediante el presente trabajo de tesis se pretende entregar todos aquellos conocimientos para desarrollar la labor de perito en acústica forense con alto nivel de experticia, como lo exige el código procesal penal de nuestro país en sus artículos 321 y 322.

4. OBJETIVOS

4.1. OBJETIVOS GENERALES

1. Explorar un área de aplicación de la ingeniería acústica como apoyo a la labor criminalística en Chile, la acústica forense.
2. Entregar un marco teórico que abarque todas las áreas necesarias de dominar para una labor responsable como perito forense en acústica.
2. Analizar la labor de la acústica forense en Chile.

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Conocer la naturaleza y producción de habla y la audición humana.
2. Conocer los distintos tipos de micrófonos y los sistemas de registro sonoro.
3. Dar a conocer los antecedentes históricos de la acústica forense a nivel mundial.
4. Exponer las principales áreas a las que se enfocan los peritajes de acústica forense en Chile:
 - _ Análisis e identificación de voz.
 - _ Autenticación de discos compactos.
 - _ Mejora de calidad de registros sonoros.
 - _ Técnicas de acústica arquitectónica.
 - _ Técnicas de acústica en campo libre.
5. Exponer los marcos legales que regulan la labor de los profesionales que pretendan dedicarse a realizar peritajes de acústica forense en Chile.
6. Analizar la labor desempeñada por el Laboratorio de Criminalística en el campo de la acústica forense.

5. PROCESO DE PRODUCCIÓN ACÚSTICA DEL HABLA: LA FONACIÓN

Para el ser humano, el intercambio de pensamientos es una necesidad vital, y para poder expresar claramente dichos pensamientos, es necesario el lenguaje articulado, basado en un código arbitrario, en este caso el lenguaje hablado. El habla es una de las principales formas de comunicación para los seres humanos. El hombre es único entre las formas de vida en su capacidad de adquirir y utilizar el habla.

Las señales de voz están compuestas de una secuencia de sonidos. Estos sonidos y la transmisión de ellos sirve como una representación simbólica de información. El orden de estos sonidos (símbolos) está regido por las reglas del lenguaje. El estudio de estas reglas y sus implicaciones en la comunicación humana es el dominio de la lingüística y el estudio y clasificación de los sonidos del habla es llamado fonética (Rabiner & Schafer, 1978).

La voz humana son rápidas fluctuaciones en la presión del aire. Estas presiones sonoras son generadas y radiadas por el aparato fonador humano; ellas son detectadas por los oídos y entendidas por el cerebro.

La Figura 1 muestra un diagrama del proceso de producción y percepción del habla. El proceso de producción comienza cuando el hablante formula un mensaje (en su mente) que quiere transmitir a un oyente a través de la voz. El siguiente paso en el proceso es la conversión del mensaje en un código de lenguaje. Una vez que el código de lenguaje es elegido, el locutor debe ejecutar una serie de comandos neuromusculares para causar la vibración de las cuerdas vocales y dar la forma al trayecto vocal tal que la secuencia apropiada de sonidos de habla es creada y dicha por el emisor o hablante. Los comandos neuromusculares deben, controlar todos los aspectos del movimiento articulatorio incluido el control de los labios, mandíbula, lengua y velo.

Una vez que la señal de voz es generada y propagada al oyente, el proceso de percepción de la voz comienza. Primero, el oyente procesa la señal acústica a lo largo de la membrana basilar en el oído interno, el cual proporciona un análisis espectral continuo de la señal de entrada. Un proceso de transducción neural convierte la señal espectral a la salida de la membrana basilar en señales activas en el nervio auditivo. La actividad neural dentro del nervio auditivo es convertida a un código de lenguaje en los centros de procesamiento del cerebro y finalmente, la comprensión del lenguaje se lleva a cabo.

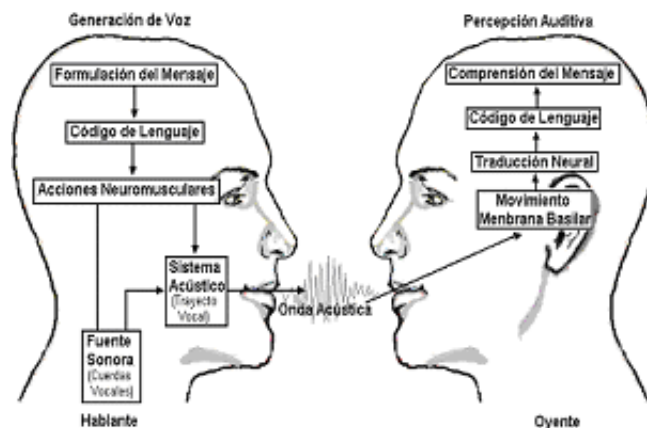


Figura 1: Diagrama esquemático del proceso de producción y percepción del habla. (Sanchez, 2004)

5.1. El aparato fonador humano.

En la producción de la voz interviene la mayor parte de los órganos que componen el sistema respiratorio. El aparato fonador se puede dividir en tres grandes partes: las cavidades infraglóticas, la cavidad glótica y las cavidades supraglóticas. Cada una de ellas realiza una misión distinta en la fonación. En la Figura 2 se puede apreciar el aparato fonador y sus componentes.

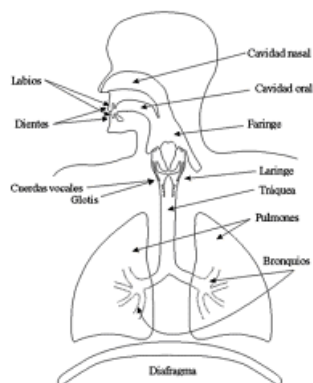


Figura 2: Aparato fonador humano (Bernal, et al., 2000).

5.1.1. Cavidades infraglóticas.

Tienen como misión proporcionar la corriente de aire espirada necesaria para producir el sonido. Están compuestas por diafragma, pulmones, bronquios y tráquea.

El diafragma es un músculo situado por debajo de los pulmones y con forma de cúpula. Su misión es controlar el hinchado y llenado de la cavidad pulmonar y su reducción y vaciado junto con los músculos pectorales, y con ello la respiración. Cuando se contrae el diafragma se ensancha la cavidad torácica, produciéndose la inspiración del aire; al relajarse se reduce la cavidad, produciéndose la espiración del aire contenido en los pulmones.

Los bronquios y la tráquea son tubos cartilagosos que conducen el aire entre los pulmones y la laringe. Su función en la fonación es la de simples canales de transmisión del flujo aéreo.

5.1.2. Cavidad glótica.

Está formada por la laringe. La característica más interesante es la presencia en la misma de las cuerdas vocales (Figura 3), que son las responsables de la producción de la vibración básica para la generación de la voz. Aunque se llaman tradicionalmente cuerdas vocales, en realidad se trata de dos marcados pliegues musculosos. Cuando el aire sale de los pulmones pasa por la hendidura glótica (la glotis es el espacio triangular que queda entre las cuerdas vocales), haciéndolas vibrar.

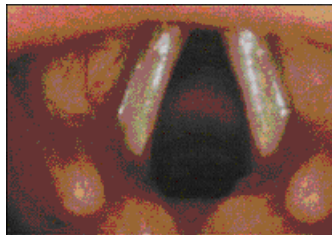


Figura 3: Fotografía de las cuerdas vocales.

5.1.3. Cavidades supraglóticas.

Existen cuatro cavidades supraglóticas: faríngea, nasal, bucal y labial.

Más arriba de la laringe, lo primero que se encuentra es la faringe (la conexión desde el esófago hasta la boca), de donde arranca la raíz de la lengua. Aparece el primer obstáculo móvil: la úvula; es el

apéndice final del paladar blando o velo del paladar.

El trayecto vocal, comienza en la glotis y termina en los labios. El trayecto vocal consiste de la faringe y la boca, o cavidad oral. En un hombre promedio, el largo total del trayecto vocal es alrededor de 17 cm. Su área de corte seccional, determinado por la posición de la lengua, labios, mandíbula y velo, varía desde cero (completamente cerrada) hasta alrededor de 20 cm². El trayecto nasal comienza en el velo y termina en los orificios nasales.

La lengua es el órgano más móvil de la boca, registrando una actividad elevada durante el habla. Se divide en tres partes: raíz, dorso y ápice. Dentro de la cavidad bucal se tienen los dientes y los alvéolos. Los dientes son órganos pasivos en la medida que están insertos en los maxilares; los inferiores son móviles por estar encajados en la mandíbula inferior, siendo ésta activa en la articulación. El paladar es una amplia zona que va desde los alvéolos hasta la úvula. En ella se distingue el paladar duro, situado sobre el hueso palatino, y el paladar blando o velo del paladar que acaba en la úvula. Finalmente, están los labios, elemento que posee bastante movilidad y que, por lo tanto, permite modificar los sonidos.

Para la producción del habla se dan los siguientes elementos:

- Una fuente de energía, proporcionada por el aire a presión que se expulsa desde los pulmones en la espiración.
- Un órgano vibratorio: las cuerdas vocales.
- Una caja de resonancia: las fosas nasales, la cavidad bucal y la faringe.
- Un sistema de articulación del sonido: lengua, labios, dientes y úvula.

Un diagrama esquemático del mecanismo vocal humano se muestra en la Figura 2. El aire entra a los pulmones mediante el mecanismo normal de respiración. Como el aire es expelido desde los pulmones a través de la traquea, las cuerdas vocales tensadas dentro de la laringe vibran por el flujo de aire. El flujo de aire es cortado en pulsos casi periódicos los cuales son modulados en frecuencia y pasados a través de la faringe, la cavidad bucal y posiblemente la cavidad nasal. Dependiendo de las posiciones de varios articuladores (mandíbula, lengua, velo, labios, boca) se producen diferentes sonidos.

Una representación simplificada del mecanismo fisiológico completo se muestra en la Figura 4. Los pulmones y los músculos asociados actúan como fuente de aire al excitar el mecanismo vocal. La fuerza del músculo empuja el aire de los pulmones (mostrado esquemáticamente como un pistón en un cilindro) a través de los bronquios y la traquea. Cuando las cuerdas vocales están tensas, el flujo de aire causa su vibración, produciendo lo que se llaman sonidos sonoros. Cuando las cuerdas vocales están relajadas,

para producir un sonido, el flujo de aire debe pasar a través de una constricción en el trayecto vocal y, por lo tanto, es turbulento produciendo lo que se llama sonidos sordos, o se puede acumular presión detrás de un punto de total cierre en el trayecto vocal y cuando éste se abre, el aire es repentinamente liberado, provocando un breve sonido transitorio.

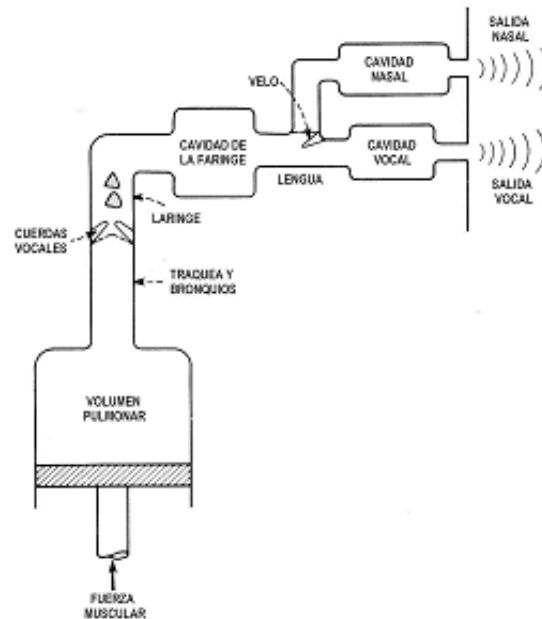


Figura 4: Representación esquemática del mecanismo completo de la producción del habla. (Flanagan, 1972).

El habla es producida como una secuencia de sonidos. Por lo tanto, el estado de las cuerdas vocales, así como las posiciones, formas y tamaños de los distintos articuladores, cambian en el tiempo.

5.2. Mecanismo Anatomofisiológico de la Fonación.

La voz se origina cuando vibran las cuerdas vocales al chocar contra ellas el aire espirado. Para que las cuerdas vibren, el aire que proviene de los pulmones debe salir a una determinada presión. La presión adecuada la proporcionan los músculos abdominales y algunos músculos de la caja torácica.

Las cuerdas que participan en esta vibración son sólo las inferiores o *cuerdas vocales verdaderas*: los músculos tiroaritenoides. Esto quiere decir que los que el aire espirado, al chocar contra los músculos tiroaritenoides puestos en tensión, produce una vibración que origina sonidos.

Al emitir la voz, las cuerdas vocales se unen al contraerse los músculos que mueven los distintos cartílagos laríngeos, y la glotis se cierra. De acuerdo con las variadas contracciones que sufren los músculos laríngeos variarán también los sonidos emitidos.

La vibración de las cuerdas vocales genera un armónico u onda sonora, que denominamos frecuencia fundamental. Esta onda adquiere inmediatamente un carácter de sonido complejo ya que crea -por efecto de la resonancia que acontece en las cavidades supraglóticas- una serie de armónicos añadidos que conformarán la estructura acústica de los sonidos vocálicos y semivocálicos. El proceso es sencillo: la onda compleja formada en la laringe pasa a las cavidades supraglóticas; éstas, actúan sobre aquellos armónicos que coinciden con las frecuencias de resonancia de dichas cavidades, potenciándolos. El conjunto formado por el tono fundamental y los armónicos filtrados (por las cavidades resonantes) constituyen la esencia de lo que llamamos timbre. La voz articulada o palabra, se produce al unirse los diferentes sonidos que se forman en las cuerdas vocales, modificados posteriormente en las zonas supraglóticas y articulados por otros órganos. Los sonidos que se articulan reciben el nombre de *fonemas*.

Los sonidos o fonemas que componen las palabras se dividen en vocálicos y consonánticos. Los vocálicos se consideran sonidos laríngeos que se refuerzan y modifican en la cavidad faríngea y bucal (actúan como resonadores), mientras que los consonánticos son sonidos que se producen por las vibraciones irregulares del aire espirado al atravesar las cavidades bucales y bucofaríngeas.

Tanto los fonemas vocálicos como consonánticos se diferencian por la participación o no de las cuerdas bucales en su producción. En la fonación de los sonidos vocálicos siempre esta presente la vibración de la cuerdas vocales, sin embargo, en las consonantes no es así; existen las llamadas consonantes sonoras que se emiten cuando tienen lugar las vibraciones laríngeas y las consonantes sordas en las que tales vibraciones están ausentes.

Son sonoras: B D G LL L R RR M N Ñ Y

Son sordas: P T C S F J CH

Las cualidades de la voz están dadas por la laringe, cuerdas vocales y además órganos periféricos del habla. La naturaleza de cada acto de habla tendrá una dependencia crítica de la configuración fisiológica que posean las cavidades resonantes del tracto vocal de cada individuo, tanto desde un punto de vista anatómico como articulatorio. Por ello, el timbre o cualidad de voz se constituirá como un componente fundamental de la voz, y aportará informaciones clave en el proceso de identificación/eliminación.

5.3. Cualidades de la Voz.

Como todo sonido, el sonido articulado posee una serie de cualidades fundamentales que son: tono, timbre, cantidad e intensidad. La vibración de las cuerdas vocales es la que da lugar a la voz y cada vibración produce una onda sonora que, como toda onda, posee tres características: longitud, amplitud y frecuencia.

El *tono*, o la altura del sonido, depende del número de vibraciones que se producen en un determinado tiempo, lo cual significa que el tono está en relación con la frecuencia de la onda sonora. A mayor frecuencia de vibración se produce un sonido más agudo. Esto quiere decir que la voz de un niño tiene mayor frecuencia de ondas que las de un hombre adulto. La mujer también tiene mayor frecuencia que la del hombre.

Las cualidades de la voz se desarrollan y se perfeccionan solo al desarrollarse el lenguaje en su totalidad, con la práctica y contacto con otras personas, y necesitan, como un requisito indispensable, el *control auditivo*.

La *intensidad* fuerza de los sonidos está en relación con la amplitud de las ondas sonoras y depende de la fuerza espiratoria con vibren las cuerdas vocales. La *duración* de la voz es la cantidad del sonido, y depende del tiempo que dure el aire espirado que hace vibrar las cuerdas vocales. El *timbre* de la voz depende de la estructura de la laringe y de la modificación el sonido vocal en los órganos resonadores.

En la modificación de la voz no sólo intervienen la estructura laríngea, el aire espirado también es modificado por la faringe, fosas nasales y cavidad bucal. Por ejemplo, en dependencia de la posición que adopta el velo del paladar en la producción de un sonido este será bucal o nasal. Se produce un sonido bucal cuando el velo del paladar se eleva y sale el aire espirado, en su totalidad, a través de la boca. Se obtendrá un sonido nasal cuando el velo del paladar está descendido y el aire espirado sale por la nariz (consonantes M,N,Ñ).

Las características laríngeas dependen de la edad y el sexo, y varían significativamente la altura, intensidad y timbre de la voz. En el hombre adulto las cuerdas vocales son más largas, más fuertes y

delgadas por lo que los sonidos que emiten son más bajos. En las mujeres y niños se presentan cuerdas vocales cortas, débiles y algo más gruesas, por lo que los sonidos que emiten son más agudos.

5.4. Teorías sobre el surgimiento de la voz.

Existen una serie de teorías que tratan de explicar el fenómeno de la generación de la voz. La teoría más antigua es la denominada *mioelástica* (Johannes Müller, 1898), que aparece como resultado de la creación del laringoscopio por el español Manuel García (1803-1906) en el año 1832. La teoría mioelástica expresa que cuando la presión del aire espirado logra la fuerza necesaria, separa las cuerdas vocales que se encuentran unidas y en tensión y propicia que el aire pase hacia la región supraglótica, esto da lugar a que disminuya la presión espiratoria y las cuerdas vocales vuelvan a su posición anterior, cerrándose la glotis. Este proceso se repite al volver a aumentar la presión del aire en la zona infraglótica. Esta teoría plantea que la voz se forma cuando la corriente de aire pasa de los pulmones a los bronquios y de estos, por la traquea, hasta la laringe, donde mueve las cuerdas vocales que vibran pasivamente y se obtiene la voz. Según esta teoría la voz surge debido a la presión que trae el aire proveniente de los pulmones al pasar entre las cuerdas vocales y por la acción del volumen y tensión de las propias cuerdas.

Por otra parte, no se tiene en cuenta el papel que juega el sistema nervioso en la fonación. El papel de este sistema es fundamental en este proceso, como en todos los procesos del organismo, también en este caso la corteza cerebral tiene una función reguladora.

Basándose en este criterio surgió la teoría *neurocronáxica* de la fonación, enunciada por el Francés Raúl Hudsson (1950). Hudsson estableció que los impulsos nerviosos que van desde la corteza de los grandes hemisferios hasta la periferia tienen un significado esencial en la fonación. Él trato de demostrar que el papel fundamental le corresponde al sistema nervioso y no a los tres sistemas (respiratorio, fonatorio y resonador) que participan en el proceso. Según la teoría neurocronáxica, el proceso de la fonación tiene lugar de la siguiente forma: del sistema nervioso central parte un impulso nervioso por el tracto inferior del nervio vago hacia la periferia, es decir, hacia los tres sistemas: resonador, fonador y respiratorio; estos impulsos excitan los receptores ubicados en estos sistemas, la energía nerviosa se transforma en energía muscular y tiene lugar el acto de fonación, es decir, se produce sonido.

En 1962 aparece la teoría *mucoondulatoria* descrita por Jorge Perelló quien pretende completar la mioelástica. En este intento él plantea que las cuerdas vocales no poseen un movimiento vibratorio propiamente dicho, sino que presentan un movimiento ondulatorio de su mucosa, o partes blandas que recubren los pliegues vocales, los cuales se mueven de abajo hacia arriba, este movimiento se origina por la acción de la corriente espiratoria y es semejante al movimiento de una bandera o superficie líquida

agitada por el viento.

Analizando estas teorías desde un punto de vista anatómico quizás pudieran considerarse correctas; sin embargo ellas no explican el fenómeno de la fonación en todas sus facetas. Si el movimiento fuera tan sencillo, sería razonable preguntarse: "¿no estarían las personas hablando todo el tiempo?, ¿Es la voz un movimiento muscular involuntario?". Estas y otras interrogantes surgen en contra de las teorías mioelástica y mucocondulatoria.

En 1.968 MacLeod y Sylvestre exponen la teoría *neurooscilatoria*. En 1.974, Hirano distingue entre el cuerpo muscular del pliegue vocal y la mucosa que lo cubre. Estas consideraciones sustentan la teoría *osciloimpedancial* emitida por Dejonckère en 1.981.

Desde un punto de vista forense no tiene mayor relevancia el hecho de que las emisiones sonoras de la laringe sean efectuadas a través de unos mecanismos u otros, si bien en la actualidad, desde una perspectiva clínica, parecen ser más aceptadas las tesis con referencias mioelásticas y mucocondulatorias (los pliegues vocales parecen agitarse y ondular como una alfombra que se sacude con las manos) (Delgado, 2001).

6. PROCESO DE PERCEPCION AUDITIVA

El sonido, a efectos perceptivos, puede definirse como la sensación recogida a través del oído, producida por estímulos de cambio de presión de las moléculas del aire. Estos estímulos se producen de acuerdo a la repetición de un ciclo de compresión/descompresión, cientos o miles de veces por segundo, creándose un patrón de presiones altas y bajas en las moléculas del aire que se desplazan - en el caso de que el medio de transmisión sea el aire - expandiéndose de forma muy similar a como se separan las pequeñas olas (ondas u oscilaciones) de donde se arrojó una piedra en un recipiente con agua en reposo. Este patrón de cambios en la presión del aire recibe el nombre de onda sonora y este planteamiento pondrá de manifiesto que la naturaleza de los sonidos, especialmente sus tonalidades y sonoridades, está en función de las propiedades de sus ondas sonoras. (Delgado, 2001)

6.1. Funciones del oído humano.

El oído humano tiene dos funciones importantes las que son: la audición y el equilibrio. El oído externo, oído medio y en la cóclea o caracol del oído interno están relacionados con la audición; en cambio, los canales semicirculares, el utrículo y el sáculo del oído interno están relacionados con el equilibrio. En este capítulo no se abordará la función del equilibrio que cumple el oído.

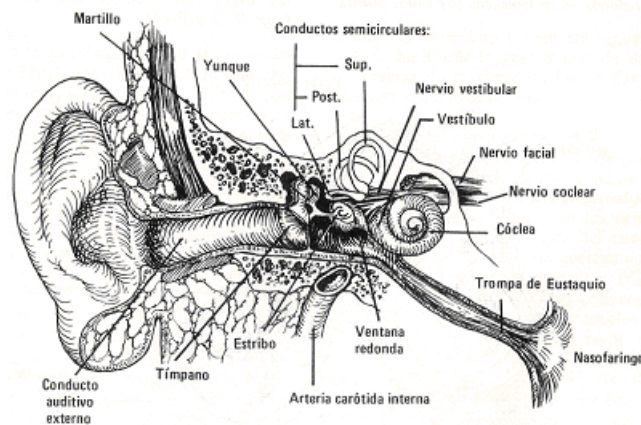


Figura 5: El oído humano (Ganong 1978).

6.2. Oído externo y oído medio.

El oído externo lleva las ondas sonoras al orificio auditivo externo. Del orificio parte el conducto auditivo externo que se dirige hacia adentro hasta la membrana timpánica. El oído medio está constituido por una cavidad llena de aire, dentro del hueso temporal, que se abre en la nasofaringe a través de la trompa de Eustaquio y a través de ella con el exterior. La trompa usualmente se encuentra cerrada, pero se abre durante la deglución, la masticación y el bostezo, conservando equilibrada la presión del aire a los dos lados del tímpano. En el oído medio se encuentran localizados los tres huesecillos: Martillo, yunque y estribo. El mango del martillo se encuentra adherido a la cara interna del tímpano y su cabeza está unida a la pared del oído medio, pero su proceso corto al yunque, el cual a su vez articula con la cabeza del estribo. La base del estribo está unida por un ligamento anular a las paredes de la ventana oval. Los músculos esqueléticos: Tensor del tímpano y estapedio o músculo del estribo también se encuentran en el oído medio. La contracción del músculo tensor del tímpano tira del mango del martillo hacia adentro y disminuye las vibraciones de la membrana timpánica. La contracción del estapedio separa la base del estribo de la ventana oval.

6.3. Oído interno.

6.3.1. La cóclea (caracol).

El oído interno está formado por la *cóclea* y por los *canales semicirculares*. Estos últimos constituyen el sistema encargado del equilibrio. La cóclea posee forma de espiral (por eso es también denominada *caracol*) y está encargada de transformar la energía acústica en impulsos eléctricos, que son conducidos por las vías neuronales hacia el cerebro. El largo de la cóclea estirada es de 35 mm aproximadamente y su diámetro medio es de 2 mm (Ganong, 1978). La cóclea posee tres conductos llamados *escala vestibular*, *escala coclear* y *escala timpánica*. La escala vestibular y la escala timpánica están unidas en el extremo de la cóclea, denominado *helicotrema*. Estos dos últimos conductos contienen un fluido denominado perilinfa, mientras que la escala timpánica contiene *endolinfa*. No existe comunicación entre los espacios llenos de perilinfa y endolinfa.

La cóclea o caracol se encarga de filtrar de forma natural las frecuencias de los sonidos que llegan a ella. Las ondas se introducen en la estructura helicoidal rebotando en sus paredes y llegando, según sea la longitud de onda de cada frecuencia, más o menos al interior del caracol como lo muestra la figura 6.

En la base del caracol, la escala vestibular termina en la ventana oval que se encuentra cerrada por la base del estribo. La escala timpánica termina en la ventana redonda, orificio situado en la pared interna

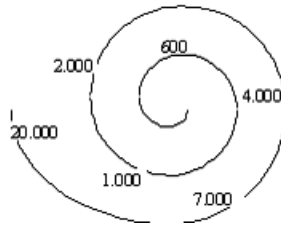


Figura 6: Estructura del caracol humano (Bernal, et al., 2000).

del oído medio, cerrado por la membrana timpánica secundaria, flexible. La escala coclear continúa con el laberinto membranoso y no se comunica con las otras dos escalas antes mencionadas. La escala coclear contiene endolinfa.

6.3.2. Órgano de Corti.

El órgano de Corti se ubica en la membrana basilar, es la estructura que contiene las células receptoras auditivas. Este órgano se extiende desde el vértice hasta la base de la cóclea y por lo mismo tiene forma de espiral. Existen aproximadamente 3500 células ciliares internas y 20000 externas en cada caracol del ser humano (Ganong, 1978). La lámina reticular está apoyada por los pilares de Corti. Cubriendo las filas de células ciliares se encuentra membrana tectorial, delgada y viscosa, pero elástica, en la cual se encuentran alojados los extremos de las prolongaciones de las células ciliares. Los cuerpos celulares de las neuronas aferentes, que se ramifican extensamente alrededor de las células ciliares, se encuentran situados en el ganglio espiral dentro del modiollo, o sea el eje óseo sobre el cual está enrollada la cóclea. Sus axones forman la rama auditiva del nervio auditivo y terminan en los núcleos cocleares dorsal y ventral del bulbo raquídeo. Debido a que existen aproximadamente 28000 fibras en cada nervio auditivo, no hay una convergencia de los receptores sobre las neuronas de primer orden, pero la mayoría de las fibras inervan a más de una célula y, a la inversa, la mayoría de las células están inervadas por más de una fibra.

6.3.3. De la Cóclea al Cerebro.

Luego de la transducción realizada por las distintas zonas del órgano de Corti, la información acústica ya descompuesta en todos sus componentes de frecuencia, viaja en la forma de señales eléctricas por las vías nerviosas (*nervio auditivo*) hacia el cerebro. El nervio auditivo, como todos los nervios, tienen un comportamiento similar a los cables eléctricos: conducen impulsos eléctricos (llamados *potenciales de*

acción). Estos potenciales de acción son señales eléctricas codificadas según su disposición en el tiempo. El nervio auditivo posee muchas fibras que conectan las células ciliadas con las *neuronas* dedicadas a la audición en la corteza cerebral. Cada neurona posee una frecuencia característica a la cual tendrá su mayor sensibilidad (tarea sincronizada con las células ciliadas del oído interno). En las frecuencias aledañas a la frecuencia de mayor sensibilidad (o menor *umbral de acción*), las neuronas también recibirán información, pero con umbrales mayores (las neuronas pierden sensibilidad más abruptamente hacia las altas frecuencias que hacia las bajas).

6.4. Transmisión del sonido.

El oído convierte a las ondas sonoras del medio ambiente en potenciales de acción de los nervios auditivos. Las ondas son transformadas por el tímpano y por los huesecillos del oído medio en movimientos de la base del estribo. Estos movimientos generan ondas en el líquido del oído interno. La acción de las ondas en el órgano de Corti genera potenciales de acción en las fibras nerviosas.

6.4.1. Funciones de la membrana timpánica y de los huesecillos.

Como respuesta a los cambios de presión producidos por las ondas sonoras en su superficie externa, la membrana del tímpano se mueve hacia adentro y hacia fuera. La membrana funciona como un resonador que produce las vibraciones de la fuente del sonido y deja de vibrar cuando termina la onda sonora, o sea se comporta como si estuviera críticamente amortiguada. Los movimientos de la membrana timpánica son impartidos por el mango del martillo y éste gira sobre un eje que pasa a través de la unión de sus apófisis larga y corta, de manera que esta última transmite las vibraciones del manubrio al yunque. El yunque ahora se mueve de tal manera que las vibraciones son transmitidas en la cabeza del estribo. Los movimientos de la cabeza del estribo desplazan a la base, hacia uno y otro lado, como una puerta prendida en el borde posterior de la ventana oval. Así, los huesecillos de oído funcionan como un sistema de palancas que convierten las vibraciones resonantes de la membrana timpánica en movimientos del estribo contra la escala vestibular, llena de perilinfa, de la cóclea. Este sistema aumenta la presión del sonido que llega a la ventana oval porque la acción de palanca del martillo y del yunque multiplica la fuerza 1.3 veces y el área de la membrana timpánica es mucho mayor que el área de la placa del pie del estribo. Hay pérdidas de energía sonora debido a la resistencia, pero se ha calculado que, a frecuencias inferiores a los 3 KHz, 60 % de la energía sonora que incide sobre la membrana timpánica es transmitida al líquido de la cóclea (Ganong, 1978).

6.4.2. Reflejo timpánico.

Cuando los músculos del oído medio (tensor del tímpano y el del estribo) se contraen, ellos tiran del mango del martillo hacia adentro y de la base del estribo hacia fuera. Esto tiene por efecto una disminución de transmisión del sonido. Los sonidos fuertes inician una contracción refleja de estos músculos la cual se llama generalmente, reflejo timpánico. Su función es proteger a los receptores auditivos de una estimulación excesiva. Pero este reflejo tiene un tiempo de respuesta que varía entre los 40 a 160 ms, de manera que no alcanza a reaccionar con ruidos de impacto muy intensos y de ataque rápido (ejemplo: un disparo).

6.4.3. Conducción en el aire y en el hueso.

La condición de las ondas sonoras al líquido del oído interno, a través de la membrana del tímpano y de los huesecillos del oído, se llama conducción oscilar. Las ondas sonoras también inician vibraciones de la membrana timpánica secundaria que cierra la ventana redonda. Este proceso, se llama conducción aérea. Un tercer tipo de conducción, la conducción ósea, es la transmisión de las vibraciones de los huesos del cráneo al líquido del oído interno.

6.5. Percepción de la altura tonal: la frecuencia.

La *altura tonal* es la percepción que tenemos de cuán agudo.^o o cuán grave.^{es} un sonido. Un sonido de mayor altura es más agudo mientras que un sonido de menor altura (más bajo) es más grave. La altura percibida de un sonido es la variable subjetiva relacionada con la frecuencia (la cual es una variable objetiva). El oído posee dos mecanismos por los cuales percibe la altura. Por un lado cuenta los ciclos de los tonos periódicos (este mecanismo es más efectivo en bajas y medias frecuencias). La otra forma de percibir la altura es mediante el lugar de la cóclea donde es absorbida la onda sonora. Las ondas sonoras de frecuencia baja se propagan por el fluido intercoclear más distancia que los sonidos de frecuencia aguda, los cuales son absorbidos más cerca de la ventana oval al inicio de la cóclea.

6.6. Percepción de la presión o intensidad sonora: Sonoridad.

La sonoridad es una medida subjetiva de la intensidad con la que un sonido es percibido por el oído humano. Es decir, la sonoridad es el atributo que nos permite ordenar sonidos en una escala del más fuerte al más débil y la unidad de medida es el decibel.

La sonoridad depende de la intensidad de un sonido, pero también de su frecuencia, amplitud y otras variables, como pueden ser la sensibilidad del oído de quien escucha y de la duración del sonido. Como la sonoridad no es una magnitud absoluta, lo que se hace es medir el nivel de sonoridad, es decir, determinar cómo es de fuerte un sonido en relación con otro. Para medir el **nivel de sonoridad** hay dos unidades: el fono y el sono.

El **fono** es una unidad que no sirve para comparar la sonoridad de dos sonidos diferentes, sino que hace referencia a la sonoridad de un determinado sonido. Lo que se debe a que la escala de fonos está relacionada con una escala logarítmica.

Las curvas isofónicas son curvas de igual sonoridad. Estas curvas calculan la relación existente entre la frecuencia y la intensidad (en decibeles) de dos sonidos para que éstos sean percibidos como igual de fuertes, con lo que todos los puntos sobre una misma curva isofónica tienen la misma sonoridad.

Así, si 0 fon corresponden a una sonoridad con una intensidad de 0 dB con una frecuencia de 1 kHz, también una sonoridad de 0 fon podría corresponder a una sonoridad con una intensidad de 60 dB con una frecuencia de 40 Hz.

Las primeras curvas de igual sonoridad fueron establecidas por Munson y Fletcher en 1933 (Fletcher, 1933).

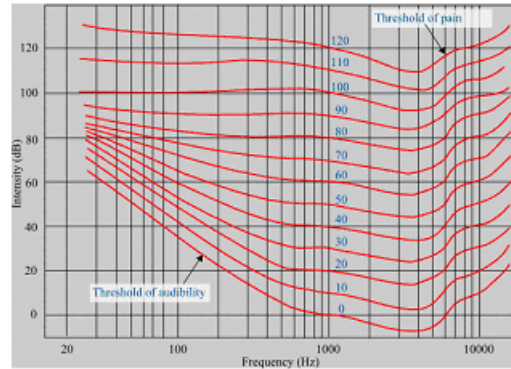


Figura 7: Curvas Isofónicas.

En estas curvas isofónicas se observa como, a medida que aumenta la intensidad sonora, las curvas se hacen, cada vez, más planas. Esto se traduce en que la dependencia de la frecuencia es menor a medida que aumenta el nivel de presión sonora, lo que significa que si disminuye la intensidad sonora los primeros sonidos en desaparecer serían los agudos (altas frecuencias).

Como el **fono** es una unidad que no sirve para comparar la sonoridad de dos sonidos diferentes, se estableció una nueva unidad, el **sono** (o **sonio**), capaz de establecer la relación real de sonoridad de sonidos diferentes.

El sono está definido arbitrariamente como la sonoridad de un sonido senoidal de 1 kHz con un nivel de presión sonora de 40 dB_{SPL} .

La sonoridad puede medirse en *sonos* (a diferencia del nivel de sonoridad medido en fonos). La equivalencia entre los fonos y los sonos es:

$$1 \text{ sono} = 40 \text{ fonos}$$

$$2 \text{ sonos} = 50 \text{ fonos}$$

$$4 \text{ sonos} = 60 \text{ fonos}$$

etc.

Como se ve, por cada 10 fonos que se incrementa el nivel de sonoridad aumenta al doble la sonoridad. Esto puede expresarse en forma general como:

$$\text{Sono} = 2^{\frac{\text{Fono}-40}{10}}$$

6.7. Percepción de la estructura acústica de resonancia: el timbre.

El timbre, desde el punto de vista identificativo de la voz por medio de la audición, resulta de gran relevancia, por tres razones fundamentales. En primer lugar, porque es el componente fundamental de carácter más invariable e individual al estar directamente relacionado con una estructura anatómico-fisiológica y una base de articulación concretas. En segundo lugar, porque integra todas las referencias físicas del sonido vocal, en su fase de radiación (fase en la que se encuentran siempre los objetos de estudio del audio forense). Y, en tercer lugar, porque el timbre aporta informaciones relativas a tres dimensiones de interés identificativo: biológica, psicológica y socio-educacional (Delgado, 2001).

En la dimensión biológica puede aportar información sobre las características anatómicas y fisiológicas del hablante, su posible edad, sexo, estados patológicos, hábitos fonatorios, etc.

La dimensión psicológica puede proporcionar conocimientos sobre las características básicas de una personalidad o de un estado emocional concreto. En el nivel socio-educacional encontraríamos aquellas informaciones derivadas de los hábitos de aprendizaje, e incluso aquellas otras de índole cultural relativas a factores etnográficos (normas de conducta comunicativa propias de una comunidad), etc.

El timbre no es un parámetro cuantificable, ya sea interpretado como una realidad física sonora o como una constancia a nivel perceptivo. Por este motivo, no tiene unidades de medida como ocurre en el caso de la frecuencia o de la presión sonora. Pero, a pesar de este inconveniente, las estructuras acústicas de resonancia son uno de los elementos más importantes a la hora de individualizar un acto de habla.

6.8. El Efecto Cóctel.

El efecto *cóctel* es la capacidad de poder sintonizar y prestar atención a una de las fuentes sonoras que son percibidas simultáneamente. Su nombre ilustra bien el significado del efecto. Si estamos en un cóctel donde se desarrollan varias conversaciones simultáneamente en posiciones del espacio distintas, entonces podemos elegir prestar atención a una o a otra. Sin embargo, para que ello suceda deben cumplirse determinadas condiciones acústicas del recinto y distancia de la fuente. Además, para que el efecto cóctel pueda tener lugar, el cerebro deberá filtrar la señal útil entre toda información acústica recogida por los oídos. Para la sintonización espacial de la fuente deseada, el centro auditivo del cerebro utiliza las diferencias de tiempo y de nivel del sonido a un oído respecto al otro. (Pollack - Pickett, 1957).

7. MICRÓFONOS: CLASIFICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

7.1. Características principales.

Los micrófonos son transductores de señal acústica en señal eléctrica y están caracterizados principalmente por su:

- a) Sensibilidad.
- b) Respuesta de frecuencia.
- c) Directividad.
- d) Impedancia interna.

La **Sensibilidad** M es la relación entre la tensión eléctrica expresada en Volts obtenida en los bornes del micrófono en circuito abierto y la presión sonora expresada en ($1 \text{ Pa} = 1 \text{ Newton}/m^2$), que actúa sobre la membrana a 1 KHz. El nivel de sensibilidad L_M es la relación expresada en dB entre la sensibilidad de referencia M_r ($1\text{V}/\text{Pa}$) (Poblete, 1984).

$$L_M = 20 \log \left(\frac{M}{M_r} \right) \text{ dB}$$

La sensibilidad se expresa generalmente (no está normalizado) en mV/Pa y en $\text{mV}/\mu\text{bar}$.

Ejemplo: Un micrófono con una sensibilidad de $0.0045 \text{ V}/\text{Pa}$ significa que a una presión incidente de 1 pascal la tensión de salida será de 0.0045 Voltios o 4.5 mV y el nivel de sensibilidad será:

$$L_M = 20 \log \left(\frac{0,0045}{1} \right) = -47 \text{ dB}$$

La **Respuesta de frecuencia** indica la variación de sensibilidad con respecto a la frecuencia. Así mismo, la respuesta de frecuencia del micrófono, puesto que el sonido captado por un micrófono nunca va a ser exactamente igual al real. Habrá frecuencias que han sido atenuadas, mientras que otras habrán sido incrementadas.

La respuesta se expresa en dB. Si el sonido real fuese igual al sonido captado, la respuesta en frecuencia sería plana y su representación gráfica sería una línea recta donde la desviación sobre la

horizontal sería de 0 dB. Cuanto más lineal sea la respuesta de frecuencia, mayor fidelidad tendrá el micrófono.

La línea recta, la respuesta ideal, en la realidad no se encuentra, por lo que se considera aceptable un valor no superior a 3 dB por encima o debajo de la respuesta ideal (Poblete, 1984).

En función de esta respuesta de frecuencia, que es la representación gráfica del nivel obtenido en la captación de sonidos de igual intensidad, pero de distinta frecuencia. La curva ideal debería ser uniforme, no obstante, nunca lo es. En la figura 8 se aprecia la curva de respuesta de frecuencia de micrófono de la empresa SHURE modelo SM58.

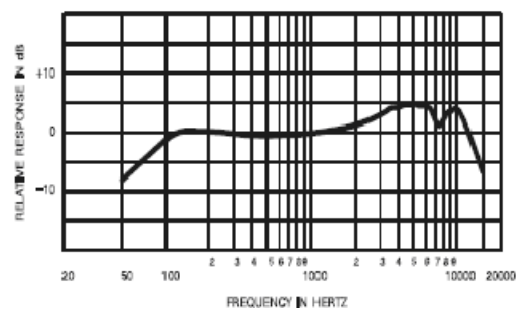


Figura 8: Curva de respuesta de frecuencia del micrófono SHURE SM58.

La **Directividad** es la variación del nivel de sensibilidad en función del ángulo formado por el eje de simetría de la membrana y la dirección de propagación de las ondas sonoras. En la figura 8 se muestra un modelo de un diagrama de directividad en coordenadas polares. Cada curva corresponde a una frecuencia diferente.

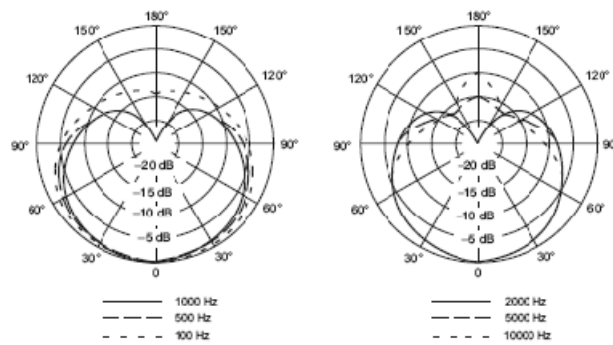


Figura 9: Diagrama para distintas frecuencias de un micrófono SHURE SM81.

La **Impedancia interna** depende de la técnica de construcción del micrófono. Si la impedancia es baja, la línea que une el micrófono con el preamplificador puede ser de gran longitud. Ya que hay que tener en cuenta el efecto capacitivo del cable y el peligro de inducción de señales parásitas. La impedancia según su valor viene caracterizada por baja, alta y muy alta impedancia (Arango, 2007).

- **Lo-Z** Baja impedancia (alrededor de 200 Ohmios).
- **Hi-Z** Alta impedancia (1 K Ω o 3 K Ω e incluso 600 Ω).
- **VHi-Z** Muy alta impedancia (más de 3 K Ω).

7.2. Clasificación según su tipo de captación.

Los micrófonos generalmente están contruidos por una membrana y un sistema electro-mecánico. Según dichas geometrías y características de construcción varían las formas de captar el sonido incidente, es por esto que existen los micrófonos omnidireccionales, bidireccionales y unidireccionales.

7.2.1. Micrófonos omnidireccionales.

Recogen la señal acústica procedente de todas las direcciones, de forma más o menos uniforme dentro de un área de tolerancia. El sistema de montaje permite que sólo una cara del diafragma sea accesible a presión exterior. Estos micrófonos son recomendados para aquellas instalaciones donde no hay riesgo de retroalimentación acústica (efecto Larsen) y en los casos de que el usuario deba moverse constantemente. Generalmente la gráfica de respuesta tiende a decrecer a frecuencias altas debido a los efectos de difracción y a medida que aumenta el ángulo de incidencia.

7.2.2. Micrófonos bidireccionales.

Captan principalmente los sonidos procedentes de las partes frontal y posterior, atenuando los sonidos que provienen de los lados. El sistema de montaje de la membrana permite que esta sea accesible por las dos caras a la presión sonora. La fuerza resultante que actúa sobre el diafragma depende de la diferencia de presión entre ambas caras.

En las frecuencias bajas se produce un aumento de respuesta debido al efecto de proximidad o efecto "pop" característicos de todos los micrófonos direccionales, lo que tiende a alterar el timbre de la voz cuando la distancia entre los labios del hablante y el micrófono es muy pequeña. Este micrófono es ideal en los casos en que dos usuarios o grupos se encuentran en lados opuestos del mismo. Se les conoce también como micrófonos de gradiente de presión.

7.2.3. Micrófonos unidireccionales.

Son del tipo mixto, de presión y de gradiente de presión. El efecto unidireccional se logra mediante la combinación de una resistencia acústica y una cavidad que actúan como una línea de retardo. Estos micrófonos captan principalmente sonidos procedentes de la parte frontal, mientras que los de la parte posterior quedan muy atenuados (de 10 a 20 dB) (Poblete, 1984).

Las características de directividad más generalizada es la denominada cardioide. Muy sensibles a los sonidos provenientes por el frente y muy poco sensibles a los que le llegan por detrás. Los micrófonos supercardioides son un tipo intermedio entre un cardioide y el bidireccional. Estos micrófonos, si bien es cierto, son más direccionales que los cardioides, tienen también una mayor captación de sonidos procedentes de la parte posterior del micrófono.

Los hipercardioides se caracterizan por un lóbulo frontal más prominente que el cardioide o el supercardioide, pero recoge más sonido por su parte posterior que el cardioide y el supercardioide.

7.3. Clasificación según el tipo de trasducción.

Según la técnica de conversión de la señal acústica en eléctrica, existen los:

- _ Electrodinámicos: de bobina móvil y de cinta.
- _ Electrostáticos: de condensador y electret.
- _ Piezoeléctricos: de cristal, carbón y cerámicos.

7.3.1. Micrófonos de bobina móvil.

El micrófono de bobina móvil consta de un diafragma rígido suspendido frente a un imán permanente potente, que cuenta con una hendidura en la que va acoplada una bobina móvil solidaria. Cuando las ondas sonoras excitan el diafragma (de 20-30 mm de diámetro) (Poblete, 1984), la bobina solidaria se mueve a su vez (hacia delante y hacia atrás) dentro de la ranura del imán, con lo que se genera un campo magnético cuyas fluctuaciones se transformarán en corriente alterna.

Ventajas de un Micrófono de bobina móvil.

Las principales ventajas de los micrófonos de bobina móvil son su robustez, su precio (son, relativamente, baratos) y su autonomía (no necesitan alimentación). Otra ventaja, es que cuentan con protección frente a los campos magnéticos externos. Además resiste bien la humedad, la temperatura y vibraciones.

Inconvenientes de un Micrófono de bobina móvil.

El micrófono de bobina móvil tiene una sensibilidad bastante buena (40 a 16000 Hz) (Wikipedia), aunque menor que la que proporciona el micrófono de condensador. Pese a que la sensibilidad es aceptable, no obstante su calidad no es óptima, pues su respuesta en frecuencia es limitada e irregular.

7.3.2. Micrófonos de condensador.

El micrófono de condensador se basa en un hecho físico: si una de las placas de un condensador tiene libertad de movimiento con respecto a otra que permanece fija la capacidad de almacenar carga variará. Ambas placas están separadas por un material dieléctrico.

La placa móvil cumple la función de membrana del micrófono. Se trata de un disco conductor (base de poliéster con recubrimiento de metal vaporizado que es lo que lo hace conductor) de 12 a 25 mm de diámetro. Es esta placa móvil la que se acerca o se aleja de la fija, provocando una variación en el voltaje almacenado (se ganan o pierden electrones en el material aislante situado entre ambas placas).

Las placas del condensador necesitan de corriente eléctrica para poder funcionar, de ahí, que estos micrófonos no sean autónomos sino que requieran alimentación que puede proporcionársela una pila o bien una fuente externa, lo que en el campo de la microfónica se conoce como alimentación phantom. Además de proporcionar energía a las placas, la alimentación phantom o la pila, también suministran la corriente necesaria para hacer funcionar el circuito preamplificador (pre-amp) que los micrófonos de condensador necesitan, dado que su señal de salida es débil. El preamplificador está formado por un

transistor de efecto de campo (FET). Este preamplificador puede estar integrado en el micrófono o ubicado en un dispositivo separado. La existencia de este preamplificador hace que el micrófono de condensador pueda entregar una señal de salida de nivel de línea.

Los micrófonos de condensador son de direccionalidad variable. Es decir, poseen un interruptor que permite elegir la direccionalidad (cardioide, bidireccional u omnidireccional) más conveniente ante una toma de sonido dada.

Ventajas de un micrófono de condensador.

Su amplio rango de respuesta (20 a 20 KHz) lo hace un micrófono ideal para grabar sonido de amplio rango de frecuencias, en usos profesionales de audio o de mediciones en laboratorios. Además al utilizar un diafragma muy liviano lo hace ideal para registrar sonidos de ataque muy rápido.

Su frecuencia de resonancia se encuentra entre los 12 KHz y los 20 KHz, sin embargo lo liviano del diafragma hace que esta resonancia no sea de elevados peaks (Wikipedia).

Desventajas de un micrófono de condensador.

La principal desventaja de los micros de condensador es que, por su gran sensibilidad, si la fuente sonora es muy alta o esta demasiado alta, puede producir distorsión por sobre carga.

Otro inconveniente es que presentan una impedancia de salida muy alta, por lo que la longitud de cable para que no haya pérdidas debe ser corta.

Además, también presentan otros grandes inconvenientes: se ven afectados por las condiciones de humedad y temperatura, son muy frágiles y tienen un alto costo.

7.3.3. Micrófonos Electret.

Es una variante del micrófono de condensador que utiliza un electrodo (fluorocarbonato o polycarbonato de fluoruro) laminal de plástico que al estar polarizado no necesitan alimentación externa (phantom). Que las placas estén polarizadas significa que están cargadas a perpetuidad desde el mismo momento de su fabricación (son polarizados una sola vez y pueden durar muchos años) (Poblete,1984).

La carga electrostática es inducida en la placa móvil (diafragma) durante el proceso de fabricación, cuando la misma fue sometida a una temperatura de 230 grados, al tiempo que se le aplica un voltaje continuo de 4000 volts. Manteniendo el campo eléctrico excitador se comienza a bajar la temperatura y la hoja dieléctrica queda fuertemente polarizada.

Los micrófonos electret utilizan pilas de 1,5 a 6 V, esta pila tiene la función de alimentar un circuito que incluye un transistor de campo FET montado en la misma cápsula para bajar la impedancia de salida. También se puede utilizar la phantom de una mesa de sonido o fuente externa, pero no es recomendable pues lo sobre alimenta y esto con el tiempo daña el micrófono acortando su vida útil.

Los micrófonos electret tienen una respuesta en frecuencia bastante buena (50 a 15.000 Hz), aunque lejana de la de los micros de condensador, que son mucho más sensibles en la zona de los agudos.

Ventajas de un micrófono electret.

Los micrófonos electret son robustos, por lo que soportan la manipulación y, además, tienen como gran ventaja el que su tamaño puede ser muy reducido. Además puede trabajar sin fuente externa (phantom power). También es mucho más económico que el micrófono de condensador y tiene una respuesta muy similar en respuesta de frecuencia y dinámica.

Desventajas de un micrófono electret.

El principal inconveniente que presentan los micrófonos electret es que son muy sensibles a los cambios de humedad y temperatura, lo que junto con el polvo, deterioran su rendimiento con el uso.

Un micrófono electret empieza a indicar que ha acabado su vida útil cuando empieza a producir ruidos inexplicables.

7.3.4. Micrófonos piezoeléctricos.

Las ondas sonoras hacen vibrar el diafragma y, el movimiento de éste, hace que se mueva el material contenido en su interior (cuarzo, sales de Rochélie, carbón, etc). La fricción entre las partículas del material generan sobre la superficie del mismo una tensión eléctrica. La respuesta en frecuencia de los micrófonos piezoeléctricos es muy irregular, por lo que su uso en ámbitos de audio profesional está desaconsejada. Son micrófonos piezoeléctricos:

- El micrófono de carbón.
- El micrófono de cristal.
- El micrófono de cerámica.

Micrófono de carbón: Se trata de un micrófono de zona de presión donde el carbón (antracita o grafito) al que se refiere el nombre, está en su interior en un compartimiento cerrado cubierto por

la membrana. Estas partículas de carbón actúan como una especie de resistencia. Al llegarle una onda sonora a la placa, ésta empuja a las partículas de carbón que se desordenan provocando una variación de resistencia y por tanto una variación de la corriente que lo atraviesa reflejo de la presión de la onda sonora incidente. Este tipo de micrófono ha sido y son muy utilizados en telefonía, porque su respuesta en frecuencia, entre 200 y 3.000 Hz, es ideal para captar la voz humana (Arango, 2007).

Micrófono de cristal: Están constituidos por materiales cristalinos como la sal de rochelle cortados en laminas, que poseen la propiedad piezoeléctrica de generar una tensión eléctrica al ser aplicada una fuerza entre sus caras. No requieren polarización externa y la tensión obtenida entre las dos superficies exteriores metalizadas, en circuito abierto, es proporcional al desplazamiento. Son muy sensibles a la humedad y la temperatura, no se utilizan para aplicaciones de sonido profesional (Poblete, 1984).

Micrófono de cerámico: Se basan también en las propiedades piezoeléctricas del material empleado en su construcción, en este caso titanato de bario biformo. El micrófono de cerámica tiene menos sensibilidad que el micrófono de cristal, soporta mejor la humedad y las bajas temperaturas (Poblete, 1984).

8. GRABACION DE SONIDO

En el campo de la acústica forense, todo laboratorio de audio forense cuenta con diversas clases de equipos de grabación y reproducción para distintos formatos de soporte magnetofónico. Por regla general, dichos equipos -analógicos o digitales, portátiles o estacionarios- suelen ser de calidad profesional, aunque no implica que en un momento determinado puedan presentar un desajuste de sus prestaciones técnicas. Por este motivo, resulta imprescindible la realización de periódicas operaciones de mantenimiento sobre dichos equipos para comprobar su óptimo funcionamiento. Es muy importante disponer de unas herramientas de trabajo perfectamente calibradas o ajustadas para garantizar la más alta calidad en los distintos procedimientos de transferencia, análisis y almacenamiento de la señal.

A continuación se expondrán los distintos formatos de grabación tanto en el campo analógico como digital.

8.1. Grabación analógica de sonido.

La grabación de sonido puede realizarse bien mediante la grabación analógica o bien mediante la grabación digital (audio digital).

El término analógico se utiliza como contraposición al concepto digital, no sólo en sonido, sino también en imagen.

Las señales analógicas se llaman así porque son .análogas.ª la forma de la señal original. Es decir, si pudieramos ver la señal acústica original, ésta equivaldría a la señal resultante en su forma. Por el contrario, en la conversión digital, la onda sonora es transformada en una sucesión de ceros y unos, que nada (en su forma) tienen que ver con la señal original, aunque puedan reproducirla.

Los sistemas analógicos de grabación son 3:

1. Grabación mecánica analógica.
2. Grabación magnética analógica.
3. Grabación óptica analógica.

8.1.1. Grabación mecánica analógica.

Se denomina grabación mecánica analógica a un método mecánico de grabación analógica de sonido, actualmente casi en desuso.

Las vibraciones sonoras son transformadas mediante un transductor electroacústico o electro-magnético en variaciones eléctricas o magnéticas:

- Eléctricas (variación de voltaje): cuando se trata de una cápsula formada por un estilete de cristal de cuarzo o de cerámica que producen corriente eléctrica por la fricción. Las cápsulas piezoeléctricas están en desuso.
- Magnéticas (variación del flujo magnético): cuando la cápsula forma un imán móvil o una bobina móvil.

8.1.2. Grabación magnética analógica.

La información se graba sobre el soporte cuando éste pasa delante del electroimán. El soporte puede ser un carrete de hilo, cinta de papel o cinta magnética. El electroimán actúa reorientando las partículas del material ferromagnético (óxidos de hierro o de cromo) que recubren el soporte.

En la grabación magnética, las vibraciones sonoras son transformadas en variaciones de voltaje de idéntica intensidad, amplitud y frecuencia mediante un transductor electroacústico (micrófono).

Las variaciones de voltaje se aplican sobre el electroimán de la cabeza grabadora que transforma la corriente eléctrica en una señal magnética de idéntica intensidad, amplitud y frecuencia.

Esta señal magnética actúa reordenando las partículas ferromagnéticas (óxidos de hierro o de cromo) que cubren la superficie del soporte (cinta magnética, cinta de papel o alambre de acero), es decir, magnetizándolas, conforme el soporte va pasando por delante del electroimán. La grabación sobre un soporte magnético no es lineal de principio a fin, sino que una inducción magnética no siempre corresponde a una magnetización idéntica.

1. Curva de histéresis y señal de bias

La curva de histéresis muestra la curva de magnetización de un material. Sea cual sea el material específico, la forma siempre es la misma. Al principio, la magnetización requiere un mayor esfuerzo eléctrico (es la llamada zona reversible); hasta que llegado a un punto, la magnetización se produce

de forma proporcional (zona lineal). Finalmente, se llega un instante a partir del cual, por mucha fuerza magnética que apliquemos la cinta magnética de audio ya no se magnetiza más, es el llamado punto de saturación (que determina el inicio de la llamada zona de saturación).

La señal de audio hay que grabarla sólo en la zona lineal, de modo contrario, por arriba o por abajo, sufriría deformaciones. Para sobrepasar la zona reversible se graba una frecuencia que se conoce con el nombre de **Bias** (señal de bias) o corriente de polarización.

Se trata de una señal no audible que induce el magnetismo en la zona lineal (la zona donde se ha de grabar). Sin la señal de bias la cinta contaría con menor remanencia, lo que implicaría mayores niveles de distorsión. Esta frecuencia resulta también útil en el proceso de borrado. La señal de bias es una frecuencia que se encuentra entre los 80-100 y 150-200 kHz. Cuanto sea la mayor amplitud de esta señal, mayor será la profundidad en que se grabe el sonido en la capa de óxido. Los requisitos de polarización (el nivel concreto de esta corriente de polarización) varían dependiendo del tipo de cinta, por ello, antes de iniciar una grabación hay que realizar un ajuste de bias. Un mal ajuste de las bias podría comprometer las altas frecuencias en la grabación (Poblete, 1984).

2. Calidad de la Grabación

La calidad de una grabación dependerá del tipo de cinta utilizada, de su tamaño y de la velocidad de arrastre.

- La cinta magnética de audio. El tipo de emulsión (hierro, cromo, etc.) determina la respuesta en frecuencia y, por tanto, la calidad.
- Las velocidades de arrastre usadas por los magnetófonos profesionales son de $3\frac{1}{2}$, $7\frac{1}{2}$, 15 y 30 pulgadas/s. A mayor velocidad de arrastre, más calidad.
- Las anchuras de cintas magnéticas son de $1/4, 1/2$, 1 y 2 pulgada. A mayor anchura de cinta, mayor velocidad de arrastre, más calidad.

3. Inconvenientes de la grabación magnética

La grabación magnética tiene 3 grandes inconvenientes:

- Existe un roce constante entre el soporte y la cabeza lectora. Esta fricción, a largo plazo, produce una pérdida en la calidad del sonido.
- Si se desmagnetiza la cinta (por acercarla a un imán o a una corriente eléctrica, etc), la información perdida (borrada) resulta irrecuperable.

- No permiten la multigeneración más allá de la 4 o 5ª. Cada nueva generación (copia de copia) supone una pequeña pérdida irrecuperable. Esta pérdida puede suponer pequeña deformación de la señal original o un aumento ligero del ruido (siseo de fondo). Más allá de la cuarta generación, todos los defectos son audibles, con lo que la calidad es pésima.

Este problema podía resolverse, en gran medida, aunque nunca del todo, con los sistemas de reducción de ruido (Dolby). Los **Dolby** utilizan un sistema de compresión que amplifica los sonidos más tenues para que se oigan por encima del ruido de fondo. Si se utiliza un sistema Dolby durante la grabación es necesario utilizar el mismo sistema Dolby para su reproducción. Este requisito hace que el uso del Dolby quedaba bastante limitado.

4. Cabezales de grabación

Los cabezales son transductores encargados de transformar la energía eléctrica en flujo magnético y viceversa.

Algunos equipos no profesionales cuentan únicamente con 2 cabezales: uno de borrado y otro que compagina las funciones de grabación y reproducción.

Los equipos profesionales tienen 3 cabezales: Borrador, Grabador, Reproductor.

_ **Cabezal de borrado.**

Realiza el proceso de desmagnetización de la cinta que puede hacerse de dos modos:

- **Por imantación uniforme.** La cinta es remagnetizada por un campo exterior constante. (Por ello, al acercar una cinta a un imán o a un campo magnético generado por cables eléctricos, por descuido, ésta se borra). Este modo es desaconsejable en los sistemas de alta fidelidad porque deja un fuerte ruido de fondo.
- **Por dejar las partículas magnéticas en estado neutro.** Es el modo más utilizado por los sistemas profesionales porque eliminan el ruido de fondo del borrado. Para devolver las partículas a un estado neutro, un cabezal oscila rápidamente (generando altas frecuencias: 50-120 kHz) y genera un campo magnético y desmagnetiza la cinta, desorientando las partículas ferromagnéticas. Así se elimina la información que hubiera registrada. La frecuencia del cabezal de borrado es fija (esta situada en el intervalo de 80 Hz a 150 Hz).

_ **Cabezal de grabación.**

Al grabar, la señal eléctrica se transforma en señal magnética. El cabezal grabador magnetiza la cinta según el patrón deseado (en función de la señal de audio). Para ello, cuando la cinta

pasa por el hueco (entrehierro) que hay entre los polos del electroimán se producen campos magnéticos que reproducen la señal eléctrica (que, a su vez, reproduce la señal sonora original). La frecuencia de polarización o premagnetización (AC Bias) es de 40 Khz. Esta frecuencia se suma a la frecuencia de la señal que vaya a ser grabada.

– **Cabezal de lectura o reproducción.**

Al reproducir, la señal magnética se transforma en señal eléctrica. Para la lectura/reproducción, la cinta se mueve nuevamente en el hueco (entrehierros) que hay entre los polos del electroimán, revirtiendo los campos magnéticos nuevamente en un voltaje alterno (señal eléctrica) que es inducido corrientes en los alambres que rodean al núcleo. Esta señal eléctrica los altavoces (transductores electroacústicos) se encargaran de convertirla en señal de audio. El entrehierro del cabezal de la cabeza reproductora suele ser un poco más estrecho que el de la grabadora (Poblete, 1984).

5. Velocidades de Grabación/Reproducción

Las velocidades de arrastre usadas por los magnetófonos profesionales son de $3\frac{3}{4}$, $7\frac{1}{2}$, 15 y 30 pulgadas/s. La velocidad más habitual, la estándar, es la de $7\frac{3}{4}$ pulgadas/s. La velocidad de arrastre es un factor clave, porque tiene una respuesta en frecuencia directamente proporcional. Por tanto a mayor velocidad, hay un más amplio rango de respuesta en frecuencia.

Figura 10: Velocidades de arrastre de la cinta (Wikipedia)

en pulgadas/s	3¾	7½	15
en cm	9,5	19	38
Respuesta en frecuencia	30 Hz – 14 kHz	30 Hz – 18 kHz	30 Hz – 22 kHz

6. El Cassette

En 1963, la casa Philips lanzó al mercado los primeros reproductores - grabadores para cintas de casetes y las primeras cintas.

A los reproductores de casete compacto (magnetófono de cassette) se los llamó radiocassette o Platina o, simplemente, cassette.

A los equipos que facilitaban la duplicación de grabaciones porque combinaban una platina reproductora con otra grabadora se llamaban equipos de doble platina. Estos equipos podían duplicar la copia o en tiempo real o a una velocidad superior.

Las casas encargadas de realizar copias comerciales en casete utilizaban unos equipos conocidos como duplicadores de cassette que podían hacer correr la cinta a 16, 32 o 64 veces la velocidad normal.

A finales de los 70, la compañía japonesa TEAC comercializó un grabador multipista en casete que aprovechaba parte de los adelantos desarrollados por Sony para su fallido formato de cinta El. Lo denominó portaestudio. La cinta corría al doble de la velocidad normal (9,5 cm/s). El portaestudio permitía la grabación de 4 pistas y, como en los magnetófonos multipista, cada pista podía grabarse por separado y permitía la grabación sincrónica.

8.1.3. Grabación óptica analógica.

La grabación óptica analógica es uno de los tres sistemas de grabación analógica de sonido.

El campo de aplicación de la grabación óptica analógica queda delimitado al registro sonoro en el cine.

Se utiliza para grabar el sonido en el mismo soporte que la imagen (en el celuloide), evitándose así los problemas de desincronización que podía sufrir el material si había una rotura en el film. (Estas roturas no eran raras dado que si el negativo se sobreexponía durante la proyección se quemaba).

En el método óptico, las vibraciones sonoras son convertidas por un transductor electroacústico (un micrófono) en variaciones de voltaje equivalentes. Después de amplificar la señal eléctrica, en función de la energía eléctrica que recibía, una célula fotoeléctrica (transductor) modificaba el haz de luz bien en tamaño o bien en intensidad. Se trataba de un rayo de luz corriente, pues aún no se había inventado el láser.

Las variaciones de la luz se iban registrando sobre el negativo en movimiento, mediante una exposición. Luego se volvía a exponer la imagen y el sonido juntos y todo quedaba registrado en un único negativo, donde imagen y sonido quedaban perfectamente sincronizados.

Cuando se revela la película, junto con la información de imagen, queda el sonido grabado en un pista fotográfica, que será reproducida, simultáneamente junto a la imagen, cuando le llegue la luz del proyector y las variaciones del haz luminoso se transforman en sonido por medio de otro transductor electroacústico (un altavoz).

8.2. Grabación digital de sonido.

La grabación digital de sonido es la grabación de sonido en la que se obtiene audio digital. Para ello, interviene un proceso previo de Conversión A/D (Analógica-digital) y, una vez que obtenemos la señal digital, ésta es grabada sobre un soporte.

Lo que determina si estamos ante una grabación analógica o digital no es el soporte, sino el tipo de señal grabada en él. Así por ejemplo podemos tener grabaciones digitales sobre cintas magnéticas como en el caso del DAT, ADAT, etc.

Ese proceso de transformar una señal analógica a una digital se llama conversión A/D y tiene tres escalones:

- **Muestreo:** se toma un determinado número de muestras por segundo (normalmente 44.100 muestras/s: frecuencia de muestreo 44,1 kHz, aunque se puede utilizar frecuencias de muestreo más altas).
- **Cuantificación:** a cada muestra se le asigna un valor numérico, que se corresponde con el valor de tensión eléctrica de la señal analógica. Este valor se aproximará a un número entero que, en cada caso, dependerá del número de bits que dispongamos para la codificación.
- **Codificación:** los valores numéricos obtenidos en la cuantificación son traducidos a un determinado número de bits (generalmente 16, 20 o 24 bits de resolución).

Existen 3 tipos de grabación digital:

1. Grabación magnética digital.
2. Grabación óptica digital.
3. Grabación opto-magnética digital.

8.2.1. Grabación magnética digital.

Es el sistema de grabación digital que utiliza como soporte de registro cintas magnéticas como DAT, DCC para grabaciones a dos pistas, y también cintas que soportan mayor cantidad de pistas ADAT, DA-88, DTRS que utilizan la tecnología de cabezal giratorio. También existen las cintas magnéticas para grabación digital multipista que utilizan un cabezal fijo, estas cintas son las DASH y las ProDigi.

Normalmente este tipo de grabación es poco masiva a nivel comercial debido al elevado costo de los dispositivos que trabajan con estas cintas, por lo que es más frecuente encontrarse con aparatos en estudios de grabación profesionales o laboratorios especializados en audio que trabajan la grabación magnética digital.

8.2.2. Grabación óptica digital.

Es un sistema de grabación digital de sonido que utiliza como soporte el disco óptico y en el que la grabación/reproducción se realiza mediante un rayo láser. Es usado por, entre otros, el disco compacto y los formatos derivados de éste (CD, DVD, HD-DVD, Blu-ray).

Durante la grabación, un diodo láser emite rayos hacia un espejo situado en el cabezal y la luz reflejada en el espejo atraviesa una lente y queda enfocada en un punto sobre la base de policarbonato del disco. Esta luz enfocada va grabando huecos (LANDs, pozos o salientes), que contrastan con las zonas donde no hay huecos (pits o salientes).

Los puntos (tanto LANDs como pits) tienen una anchura de 0,6 micras de profundidad. Los LANDs y pits configuran una especie de código Morse que será reinterpretado al final en la fase de reproducción durante la conversión D/A.

Estos huecos se van grabando en una única espiral (en la que se pueden llegar a integrar 99 pistas, teniendo la separación entre las pistas un ancho de 1'6 micras). La espiral comienza en el interior del disco (cercana al centro), y finaliza en la parte externa.

La lectura óptica es “relativamente” sencilla. Durante la reproducción, cuando el rayo láser incide sobre la capa de aluminio reflectante, la luz es reflejada, dispersada y reencaminada mediante una serie de lentes y espejos hacia un fotodiodo receptor.

Este fotodiodo es capaz de interpretar la señal digital. Esto se debe a que la luz que llega al valle es reflejada y va desfasada medio periodo con respecto a la que viene del saliente (pit) que es dispersada. Esto permite al fotodiodo convertir la información óptica al código binario:

- _ Se da el valor 0 tanto a la sucesión de salientes (PIT), como a la sucesión de no salientes (LAND -valles).
- _ Se da el valor 1 si se produce un cambio de superficie en el sentido que sea: tanto PIT - LAND, como LAND - PIT.

Una vez interpretada la señal digital, la envía a un conversor D/A (digita-analógico) que transforma la señal digital en señal eléctrica (analógica).

Esta señal de salida será enviada a los equipos que tengan que amplificarla, procesarla o convertirla nuevamente en presión sonora para poder oírla.

8.2.3. Grabación opto-magnética digital.

Un disco opto-magnético es un tipo de disco óptico capaz de escribir y reescribir los datos sobre sí. Al igual que un CD-ROM, puede ser utilizado tanto para almacenar datos informáticos como pistas de audio. La grabación opto-magnética es un sistema combinado que graba la información de forma magnética bajo la incidencia de un rayo láser, y la reproduce por medios ópticos.

No es posible alterar de forma sencilla el contenido de los discos opto-magnéticos por medios únicamente magnéticos, a diferencia de los disquetes. Un ejemplo de disco opto-magnético es el **MiniDisc**.

Las unidades de grabación de discos opto-magnéticos verifican la información después de escribirla, del mismo modo que las disqueteras, reintentando la operación en caso de falla o informando al sistema operativo si no puede efectuarse. Esto provoca una demora en la escritura tres veces superior a la lectura, pero hace que los discos sean sumamente seguros.

Los discos de almacenamiento opto-magnéticos suelen ser reconocidos por el sistema operativo como discos duros, ya que no requieren de un sistema de ficheros especial y pueden ser formateados en FAT, HPFS, NTFS, etc.

El disco opto-magnético consta de una capa ferromagnética cubierta por una de plástico, y nunca hay contacto físico con él. Los datos se graban en una aleación metálica que se conoce como recubrimiento de cambio de fase.

Una muy pequeña porción de la superficie del disco es calentada con un láser mientras la zona se encuentra bajo la influencia de un campo magnético. Cuando ese punto del "recubrimiento de cambio de fase" alcanza una temperatura crítica conocida como "temperatura de Curie" (cerca de 180 °C) se modifica su estado de cristalización y la estructura del material se torna temporalmente "grabable" dentro de él. Aprovechando el cambio en el estado de cristalización, el flujo magnético presente en la región reorienta los dominios magnéticos dentro de esta zona temporalmente vulnerable de la aleación metálica. Este ordenamiento es realizado en direcciones opuestas, en función de la información binaria, la cual de este modo queda almacenada permanentemente.

Al salir de la zona de grabación como producto de la rotación del disco, el material se enfría rápidamente, y el magnetismo inducido que permanece en ese punto produce que no se recristalice adecuadamente, por lo que no vuelve a su estado original, cambiando así su reflectividad. Si no hay presente ningún flujo magnético intenso cuando el material alcanza la temperatura de Curie, su estructura cristalina se relaja y normaliza, produciendo el borrado de la información existente en ese punto.

Durante la lectura, el láser disminuye su potencia y se posiciona sobre el disco que, según el estado magnético de cada punto de la superficie, refleja la luz de forma diferente debido al efecto Kerr de birrefringencia. El rayo reflejado es detectado por un sensor de forma similar a la utilizada en los lectores de discos compactos (Miyara, 2000).

En 2004, Sony lanzó un MiniDisc de 1 GB de capacidad llamado "Hi-MD". Este aumento en seis veces se debió a una nueva técnica: a diferencia de los MiniDisc normales, los de gran capacidad poseen pistas más finas que, al ser leídas, se redimensionan hasta alcanzar un tamaño legible. Están formados por 3 capas: una de desplazamiento, una de intercambio y una de memoria. Cuando no están siendo leídos, el campo magnético en la capa de memoria es el mismo que en las de desplazamiento e intercambio. Pero al posicionar el rayo láser se sobre la pista, la capa de intercambio, que tiene un punto de Curie más bajo que las otras, se desmagnetiza y se desacopla de la capa de desplazamiento, cuya capa magnética alrededor de la pista se deshabilita, causando que ésta se expanda a un tamaño legible (Wikipedia).

El minidisc actualmente cuenta también con entrada de micrófono lo que permite grabar de forma directa sonido ambiental, siendo una alternativa de grabación que cada día esta tomando más fuerza entre quienes necesitan un sistema de grabación portátil, de bajo consumo de batería y de gran robustez en el almacenamiento de datos.

9. ANTECEDENTES HISTORIOS DEL RECONOCIMIENTO DE VOZ EN EL ÁMBITO FORENSE

No es necesario ser un experto en ingeniería o fonética acústica para identificar o reconocer a otras personas a través de la voz. Todos somos capaces de hacerlo. En muchas ocasiones respondemos a una llamada telefónica y reconocemos al otro interlocutor sin necesidad de que éste se identifique. Este ejercicio de reconocimiento perceptivo está basado en la memoria a medio o largo plazo. Es decir, comparamos un registro cerebral almacenado en la memoria con los estímulos auditivos que estamos recibiendo en un instante determinado. Esta forma de reconocimiento fue la utilizada en las primeras experiencias forenses.

Los simples reconocimientos a nivel perceptivo por víctimas o testigos constituyen la primera referencia en relación con la admisión de la prueba de identificación de personas a través de su voz por parte de los tribunales de justicia. En este mismo sentido, J.Thornwald [1965] comenta que durante el período 1754-1780, cuando John Fielding ocupaba el cargo de jefe de los Bow Street Runners, siendo ciego, consiguió identificar a numerosos delincuentes por su voz.

Una referencia emblemática y clásica del reconocimiento perceptivo, más cercana en el tiempo, fue el conocido caso del secuestro Lindberg (*Los Estados Unidos contra Hauptmann*). En 1.935 Charles Lindberg, héroe nacional en Estados Unidos por ser la primera persona que sobrevoló en solitario el Océano Atlántico, sufrió el secuestro y asesinato de su hijo. Bruno Hauptmann fue arrestado como presunto culpable de tal acción. Durante el juicio, Lindberg reconoció la voz de Hauptmann como aquella del secuestrador que dos años antes había podido escuchar personalmente y a través del teléfono. Esta identificación fue considerada válida por el tribunal, y tuvo un peso importante a la hora de argumentar su sentencia que fue de pena de muerte. La gran resonancia del caso y el cuestionamiento que en relación a este tipo de reconocimiento perceptivo por memoria a largo plazo formuló la doctora Frances Mc. Gehee, [1937] profesora de Psicología en la Universidad John Hopkins, hicieron del asunto Lindberg una referencia popular -aunque primitiva- de la técnica de identificación de voz.

Una larga serie de ingenieros de los laboratorios Bell han contribuido de forma muy relevante al desarrollo de la técnica con diferentes aportes. Entre otros, pueden citarse a los Sres. Bell, Potter, Kopp, Green, Gray, Kersta, Atal, Rosenberg, Doddington, Presti, etc. En 1.947 los doctores Potter, Kopp y Green publicaban un libro titulado ‘Visible Speech’. En este libro se pretendía instruir sobre la interpretación lingüística de los sonidos del habla representados en forma de espectrogramas o sonogramas. Estos ingenieros habían codificado el habla a formas gráficas utilizando una máquina de reciente invención: *el espectrógrafo analógico de sonido o sonógrafo*. Este aparato, permitía la representación del

sonido hablado en una referencia tridimensional (frecuencia/amplitud/tiempo) mediante la realización de sucesivos análisis de Fourier a corto plazo en una muestra de voz.

A principios del siglo pasado se hicieron los primeros progresos con espectrógrafos de naturaleza mecánica, como fue el caso del analizador de Henrici. En 1.937 Black obtuvo espectros tridimensionales de fonemas vocálicos pertenecientes a hablantes distintos para analizar la variabilidad interpersonal del habla.

La segunda guerra mundial dio el impulso definitivo para la creación del sonógrafo. En 1941, los laboratorios Bell iniciaron su diseño en un proyecto conducido por el doctor Ralph Potter. La finalidad prioritaria de la máquina era la de ayudar al ejército de los Estados Unidos en la identificación de operadores de radio alemanes para poder detectar la ubicación y desplazamientos de las distintas unidades enemigas.

En 1.944, los doctores Gray y Koop se mostraban entusiastas con la posibilidad de la utilización de los sonogramas con fines identificativos. Fue en este momento cuando adoptaron el término "voiceprint" (huella de voz) en un intento de igualar la representación gráfica del sonido hablado a otra técnica de identificación forense ya consolidada en ese tiempo: la huella dactilar o "fingerprint".

La llegada del fin de la guerra y la dificultad de registrar en aquellos días grabaciones de voz, hicieron caer en el olvido el proyecto iniciado en los laboratorios Bell. A partir de ese momento la nueva máquina dejó de tener una aplicación exclusivamente militar y quedó a disposición de los científicos estudiosos del habla.

9.1. Lawrence Kersta.

En torno a 1.960 una nueva moda delictiva surgió en Nueva York. El departamento de policía de la ciudad empezó a recibir multitud de llamadas telefónicas sobre amenazas de bomba a compañías aéreas. En aquellos días, la grabación magnetofónica de sucesos sonoros era algo tan viable como prácticamente lo es en la actualidad, sólo con las diferencias entre los soportes y equipos de grabación/reproducción de ese tiempo y los de ahora. Uno de los inconvenientes que quince años atrás paralizó el análisis de voz con fines identificativos.

En esos momentos, la policía de Nueva York solicitó la ayuda de los laboratorios Bell para capturar a los individuos que realizaban las llamadas amenazantes. Un físico que había participado en los experimentos iniciales del sonógrafo, Lawrence G. Kersta, fue el designado para desarrollar un método fiable de identificación por la voz. Kersta necesitó dos años para presentar su método, al cual otorgó una

fiabilidad del 99,65

El método de Kersta se basaba exclusivamente en la comparación de los "patterns" (figuras de representación gráfica de la frecuencia y la amplitud en el dominio del tiempo) que aparecen en los monogramas. Kersta usó el término "voiceprint" para denominar el sonograma de voz. Es importante indicar, que el método de Kersta no contemplaba la utilización del análisis perceptivo/auditivo a corto plazo.

Kersta estaba convencido de la infalibilidad de su método, que en el transcurso de la presentación oficial ante la Acoustical Society of America (1.962), llegó a equiparar sus índices de fiabilidad con los de las huellas dactilares. En el período 1.962 - 1.966 Kersta colaboró exitosamente con distintos departamentos de Policía y agencias federales (United States Air Force, Civil Aeronautics Board, Federal Aviation Agency y otras de carácter confidencial).

En 1.966, Kersta abandonó los laboratorios Bell y creó su propia empresa: "Voiceprint Laboratories, Inc.". En esta nueva etapa, ofrecía distintos servicios de aplicación a casos forenses: perito en identificación de voz para testificar de cara a los tribunales, procesado de señal, transcripciones sobre registros etc. Además de las mencionadas prestaciones, la empresa de Kersta ofrecía cursos de formación de expertos y producía sonógrafos con fines comerciales en competencia con la firma "Kay Elemetrics Co.".

Kersta actuó como perito ante los tribunales en ocho ocasiones. En el caso [*People vs King (1.968)*] (sobre incendio y pillaje en un barrio de Los Angeles) durante una entrevista televisiva alguien que no mostraba su cara a la cámara se hacía responsable de tales hechos delictivos. Kersta, que colaboraba para el Fiscal, comparó este registro de habla con muestras de un individuo sospechoso al cual identificó. La defensa utilizó siete peritos (ingenieros y expertos en fonética) en contra de Kersta. Uno de ellos, el Dr. Peter Ladefoged de la Universidad de California, atacó exitosamente el método del voiceprint poniendo de manifiesto las importantes carencias del físico en el campo de las ciencias del habla. El acusado fue absuelto.

Kersta cometió tres errores fundamentales:

1. Situó en el mismo plano de infalibilidad la identificación dactilar y la identificación de voz, cuando los objetos de estudio de cada una de estas ciencias forenses presentan una naturaleza opuesta. La huella dactilar aunque tiene muchas formas, es única en cada individuo. La emisión hablada tiene siempre un carácter variable, sólo en el caso de las locuciones grabadas, no resulta posible la emisión de dos actos de habla idénticos.

2. Basado en insuficientes referencias experimentales, utilizó el análisis sonográfico como un método exclusivo, ignorando no sólo la perspectiva de estudio a nivel fonético, sino también la del análisis perceptivo/auditivo a corto plazo.
3. Tenía la convicción de que cualquier miembro de las fuerzas de seguridad estaba capacitado para desarrollar la técnica de identificación de locutores tras un entrenamiento fundamentado en el único criterio de la comparación de "patterns" sonográficos.

Diversas causas se conjugan en el origen de estos críticos errores. La personalidad vanidosa de Kersta, un precipitado y ambicioso proyecto comercial forense, o las dificultades propias de los nuevos retos, podrían citarse como algunas de ellas. Aunque sin lugar a dudas, la columna vertebral de su fracaso fue la ausencia de un enfoque multidisciplinar del problema.

En 1.973 Voiceprint Laboratories Inc. fue a la quiebra, siendo comprados sus derechos por William Hughes quien fundó "Voice Identification Inc." con el objetivo fundamental de continuar con la producción comercial del sonógrafo, aunque también de forma ocasional se ofrecían servicios periciales de identificación de voz, ya que parte del personal de la empresa de Kersta fue absorbido por la nueva compañía.

9.2. El surgimiento de una técnica. La referencia U.S.A.

La evolución histórica de cualquier técnica forense está en buena parte determinada por sus propias consecuencias a nivel judicial. En última instancia, las sucesivas sentencias emitidas por los órganos jurisdiccionales son las referencias válidas para evaluar su verdadero índice de fiabilidad. En este sentido, y volviendo a los orígenes judiciales de la técnica, las primeras valoraciones de admisibilidad recogidas en las sentencias de los tribunales de justicia de los Estados Unidos, provocaron los primeros posicionamientos metodológicos en relación con la práctica del método espectrográfico.

Los primeros testimonios de expertos ante los tribunales U.S.A. se producen en 1.966: [*Nueva York contra Rispoli y Straehle (Kersta)*] y [*U.S. Securities and Exchange Commission contra Klopp (Kersta y Tosi)*]. No obstante, la primera vez que es emitida una decisión judicial para regular la admisibilidad del análisis forense de identificación de locutores realizado por expertos, acontece en 1.967. La sentencia es dictada por un tribunal militar en el caso [*United States v. Wright*]. El Juez introduce por vez primera la referencia de aceptación de evidencias científicas del caso [*Frye v. United States*] (1.923). El conocido "Frye test o Frye rule" fue también el standard de admisibilidad utilizado en el caso que provocó el declive como experto de Kersta (*People v. King*).

La referencia ‘‘Frye’’ fue dictada en [1.923] por un tribunal de apelación del distrito de Columbia para rechazar como evidencia admisible una especie de ‘‘test de la verdad’’ basado en un control de la presión sistólica de la sangre (un antecedente del actual ‘‘polígrafo’’). En síntesis, el standard ‘‘Frye’’ señalaba que ‘‘...cuando un nuevo principio o descubrimiento científico es utilizado ante los tribunales para demostrar alguna evidencia, éste, debe contar con la general aceptación de la comunidad científica de su entorno’’.

La insuficiente evaluación del método espectrográfico en sus primeros pasos de aplicación práctica sobre casos reales y la ausencia de una referencia rigurosa de previa experimentación, fueron los principales argumentos esgrimidos en contra de su fiabilidad. Es por esto que el Departamento de Ciencias del habla y Audiología de la Universidad del Estado de Michigan (U.E.M) subvencionado por el Departamento de Justicia de los Estados Unidos, desarrolló un largo experimento durante tres años [Tosi et al., 1972]. El padre y responsable de tal proyecto fue el Doctor en Ciencias Físicas Oscar Tosi. En dicho estudio se efectuaron 34.996 evaluaciones de identificación/eliminación espectrográfica de acuerdo a diferentes modelos de un diseño experimental. Aunque dicho experimento se llevó a cabo en un marco de laboratorio, ciertas condiciones forenses fueron consideradas en los distintos modelos: ruido, transmisión telefónica, no contemporaneidad de las muestras, tipos de tests, etc. Concretamente, 11.664 del total de comparaciones, eran del tipo forense.

En 1.970 concluyen los estudios desarrollados por la U.E.M. y la Policía del mismo Estado con un balance altamente favorable en favor de la utilización del método espectrográfico con fines identificativos forenses. Por este motivo, el Departamento de la Policía del Estado de Michigan decidió crear la que sería primera unidad policial de investigación en Identificación de Voz en los Estados Unidos (exceptuando el caso F.B.I.).

Como complemento a estos estudios, Tosi y Greenwald [1978] realizaron otro experimento contemplando la influencia de diversos factores en las tareas de identificación auditivo-espectrográficas: lapso temporal, sexo y entrenamiento del experto, etc.

Con la intención de institucionalizar diferentes aspectos y conceptos relacionados con la técnica, Kersta, Nash, Tosi y un asesor legal, fundan en 1.971 la I.A.V.I. (Asociación Internacional de Identificación de Voz). Inicialmente se proponen tres objetivos fundamentales: la formación y cualificación de expertos, el fomento de la investigación y el establecimiento de un código de ética para la práctica de la identificación de voz. Diversos especialistas fueron formados y participaron en numerosas vistas orales. En julio de 1980 la I.A.V.I. se integró en el VIAAS (Voice Identification & Acoustic Analysis Subcommittee) de la International Association for Identification (I.A.I.).

A principios de 1.978, tribunales estatales y federales de veintitrés estados U.S.A, y otros de Canadá,

Italia e Israel, habían admitido como evidencia la identificación de voz por examen auditivo-espectrográfico [Tosi, 1979]. Entre tanto, los detractores del método Kersta fueron ampliando sus críticas de una forma sistemática e injustamente generalizada a metodologías más desarrolladas que incluían en sus sistemas de análisis la comparación de patterns espectrográficos.

En 1.976, y ante la situación de confusión existente en los tribunales, el F.B.I. solicitó a la National Academy of Sciences un dictamen sobre la fiabilidad del método espectrográfico y su utilización como evidencia ante los tribunales de justicia.

En 1.979 la Comisión expresó sus resultados en un informe titulado ‘ ‘*On the Theory and Practice of Voice Identification*’ [Bolt et al.,1979]. En su conclusión final no se pronunciaban ni a favor ni en contra del uso forense del método auditivo-espectrográfico, haciendo la recomendación de que si el método era utilizado de cara a los tribunales, deberían quedar claramente referidas ante el Juez o el Jurado tanto las limitaciones del mismo, como los conocimientos y entrenamiento del experto responsable.

En 1.986 el Federal Bureau of Investigation publicó un estudio evaluando los resultados obtenidos con la utilización de su método en casos reales durante un período de quince años. El análisis comprendía 2000 comparaciones de identificación de voz realizadas por diez de sus expertos, todos los cuales, eran licenciados en Ciencias y habían completado como mínimo dos años de experiencia continuada en el desarrollo de dicha práctica. Los resultados ofrecían ratios de error inferiores al 1% . (Koenig, 1986).

9.3. Primeros pasos de la identificación de voz fuera de los EEUU.

Los primeros datos fuera de los Estados Unidos son detectados en la antigua Unión Soviética poco después de la segunda guerra mundial [Solzhenitsyn, 1968]. No obstante, los planteamientos de aplicación práctica de la técnica no comienzan a desarrollarse hasta finales de los sesenta. Entre los primeros investigadores interesados en abordar el problema se mencionan a J. Ramisvili en la U.R.S.S., S. Blasikievicz y Wojciech Majewski en Polonia, H. Habersbrunner en Alemania, Ion Anghelescu en Rumanía o los doctores Masao Onisi y Seiki Miyoshi en Japón.

A principios de los setenta, el Instituto Federal Físico-Técnico de Alemania confeccionó sus primeros trabajos basándose en el método auditivo-espectrográfico. Posteriormente, el Dr. Ernest Bunge al servicio del Kriminaltechnisches Institut del Bundeskriminalamt o B.K.A. (Policía Federal de Alemania), supervisó un método automático de identificación de voz conocido como sistema ‘ ‘AUROS” (Automatic Recognition of Speakers) que aunque según su creador proporcionaba excelentes resultados en unas condiciones determinadas de laboratorio (del orden del 99,5%) cuando se aplicó a casos reales forense fue desestimado en favor de otra perspectiva de estudio fundamentada en el análisis auditivo-lingüístico.

En base a este nuevo enfoque, la identificación de voz fue admitida como prueba ante los tribunales de justicia alemanes en 1.981.

Las referencias más antiguas de Europa en relación con la admisión de la evidencia de Identificación de voces se remontan al año 1.971 en la ya extinta Unión Soviética. En dicho año, el Laboratorio de Fonoscopia del Centro de Criminalística del Ministerio del Interior de la actual Rusia inició oficialmente sus actividades en el campo de la identificación forense de hablantes.

Al igual que en el caso de Alemania, la policía de Italia inició sus actividades de una forma sistemática a principios de los setenta. Con la década de los ochenta, otros laboratorios forenses policiales o de auxilio a la Justicia, iniciaron su andadura en el campo; es el caso del Gerechtelijk Laboratorium en Holanda, el Laboratorio de Acústica Forense del Cuerpo Nacional de Policía en España o el laboratorio de Investigación Acústica de la Academia de las Ciencias de Austria. A principios de los noventa se incorporaron nuevos laboratorios en el seno de instituciones públicas policiales de otros países europeos: Policía Técnica y Científica de Francia, Policía Judicial de Bélgica, Crime Laboratory del N.B.I en Finlandia, Laboratorio de Fonoscopia del M1 del Interior en Lituania, etc.

En el resto del mundo -exceptuando el caso de Canadá donde la técnica se comenzó a desarrollar por parte de la Policía Montada y algún laboratorio privado en 1.974 - los nuevos laboratorios públicos y privados comienzan a practicar la técnica desde comienzos de los ochenta.

9.4. En la actualidad.

9.4.1. Estados Unidos.

En la década de los ochenta, la identificación forense de locutores experimenta una importante actividad en los Estados Unidos. La técnica es desarrollada por los usuarios del método espectrográfico, aunque cuentan con la oposición de algunos fonetistas. Desde un punto de vista institucional oficial, el F.B.I. es el organismo de referencia. Durante muchos años la investigación y desarrollo del método auditivo-espectrográfico en el F.B.I. estuvo a cargo del agente especial Bruce E. Koenig quien impulsó el uso del mismo durante su permanencia en la División de Servicios Técnicos. Posteriormente, abandonó el F.B.I. para continuar trabajando en la empresa privada.

En la actualidad, la Sección de Tecnología y Vigilancia Electrónica del F.B.I. es la responsable del área de Identificación de Voz. Está comandada por el Dr. Hiro Nakasone, alumno de doctorado y discípulo de Tosi. Desde hace 40 años siguen trabajando con el método auditivo-espectrográfico, siendo norma del departamento no acudir a testificar a los tribunales y utilizar dicho método solamente como

apoyo a la investigación de sus propios casos o de aquellos en los que son requeridos por otros organismos policiales o fuerzas de seguridad.

En el ámbito privado, diversos expertos trabajan en la técnica forense de identificación de hablantes en los Estados Unidos. La gran mayoría utiliza el método espectrográfico y están agrupados en el Subcomité de Análisis Acústicos e Identificación de Voz (VIAAS) de la International Association for Identification (I.A.I.).

En el aspecto legal, los estándares de admisibilidad para la evidencia de identificación del locutor en USA han incorporado una importante novedad. Antes de 1.993 se habían aplicado a este tipo de evidencia tres referencias de admisibilidad: el Frye test, las Reglas Federales para la Evidencia y las reglas para la evidencia existentes en algunos Estados. La regla Frye ha sido reiteradamente criticada por no ser considerada el test apropiado para evaluar el uso de la evidencia de identificación por la voz. Como ya se mencionó, este estándar fue establecido y aplicado para la admisión de un tipo de evidencia muy diferente. En realidad, lo que se dilucidaba era la validez como prueba ante los tribunales de justicia de un procedimiento científico que determinaba si una persona decía o no la verdad. En este último caso la prueba incide directamente en el terreno de la investigación, mientras que en el caso de la voz estamos ante una evidencia pura de identificación, como es el caso de las huellas dactilares, balística, huella genética etc. Por otra parte, la regla Frye no determina cual es la comunidad científica competente para concluir en la aceptación o no del método científico.

En 1.993 el Tribunal Supremo de los Estados Unidos cambió su norma de referencia para la admisibilidad de las evidencias emitidas por expertos científicos, rechazando el Frye test como inconsecuente con las Reglas Federales para la Evidencia. Ocurrió en el caso [*Daubert vs. Merrell Dow Ph., 1993*]. El tribunal determinó que las Reglas Federales para la Evidencia y no la referencia Frye eran el estándar para determinar la admisibilidad del testimonio de un experto científico. La "general aceptación" del test Frye fue sustituida por las Reglas Federales, concretamente la Regla 702 es considerada como el estándar apropiado para evaluar la admisibilidad de la evidencia científica: "Para poder calificar un conocimiento científico, cualquier conclusión o afirmación emitidas deben deducirse de un método científico. El testimonio referido debe sustentarse en la correspondiente validación (por ejemplo una sólida formación en relación con el área de conocimiento sobre la que se opina). En definitiva, el requisito de que el testimonio de un experto pertenezca al conocimiento científico, establece por sí mismo un estándar de fiabilidad evidenciaria." (Rule 702)

Hasta el presente año, tribunales de treinta estados USA han admitido la identificación de locutores por el método auditivo-espectrográfico como evidencia; en siete estados la prueba ha sido en alguna ocasión desestimada, y en quince de ellos no se han emitido sentencias en uno u otro sentido.

9.4.2. Europa y resto del mundo.

En el momento actual, podemos afirmar sin temor a equivocarnos que la técnica de identificación de hablantes está plenamente consolidada en Europa. Incluso, puede hablarse de una situación de vanguardia en cuanto a investigación y desarrollo metodológico.

Las referencias válidas se sitúan fundamentalmente en los laboratorios policiales, si bien, existen algunas Instituciones universitarias y empresas o expertos privados que de forma eventual -en la mayoría de los casos- colaboran con estos organismos públicos o trabajan directamente para los tribunales de justicia.

En las dos últimas décadas, el desarrollo de la técnica en Europa ha surgido y evolucionado de forma distinta en cada uno de sus países, pero curiosamente, existe una orientación metodológica común en la gran mayoría de los laboratorios europeos a pesar de que las experiencias de iniciación en cada uno de ellos fue prácticamente independiente y en muchos casos autodidacta. Estamos hablando de la utilización de los que denominamos *métodos combinados*. Esta solución, a la que se ha llegado por diferentes vías de investigación y que evidentemente no responde a una casualidad es la mejor posible en el presente momento.

Los métodos combinados son la consecuencia lógica de largos años de estudio invertidos en la búsqueda de la solución más idónea al problema de la identificación forense de hablantes. En realidad, deben ser considerados como el correlato metodológico de una filosofía científica determinada por la naturaleza variable de su objeto de estudio.

Dadas las especiales características de nuestro entorno de investigación, resulta bastante dificultoso llegar a conocer todas las circunstancias y referencias concretas en las que se apoyan los criterios de análisis utilizados por cada laboratorio. Salvo en contadas ocasiones [Koval et al. 2000], [Koval y Krinov, 2000] no se encuentran publicaciones por parte de un organismo público o privado en las que se detallen con claridad y precisión cuales son tales criterios. En el mejor de los casos se pueden llegar a conocer los sistemas de análisis empleados, pero en último término nadie pone de manifiesto las claves exactas en las que se sustentan sus resultados o conclusiones.

Otra excepción en este sentido, son los estándares de identificación espectrográfica establecidos por el Subcomité VIAAS de la I.A.I. en 1.991. Aunque ya en alguna medida obsoletos, constituyen una de las escasas referencias documentales metodológicas conocidas. Además de las escasas divulgaciones científicas realizadas, la actividad desarrollada por los laboratorios policiales en los distintos ámbitos internacionales de acústica forense -ya se trate de organismos oficiales o asociaciones privadas- puede ser considerada como un índice bastante significativo de su posicionamiento metodológico. Resulta más

pertinente hablar de “índices significativos” pues puede resultar desacertado el uso de términos más categóricos ante referencias del entorno policial (habitualmente acompañadas de un carácter más o menos reservado).

En este sentido, es imprescindible citar las dos asociaciones forenses que aglutinan buena parte de los expertos de nuestro campo: la I.A.I. (Subcomité de VIAAS) y la I.A.F.P. (International Association of Forensic Phonetics). El Subcomité de la I.A.I. es más antiguo (finales de los 70) y en términos generales puede decirse que ha venido representando la corriente metodológica de los “ingenieros” (su enfoque está basado en el análisis acústico de la señal). La segunda (I.A.F.P., 1.991) tiene una perspectiva del problema fundamentada en la realización fonético/lingüística del habla y por tanto representa la corriente de los que denominamos “fonetistas”.

La I.A.I. hasta la década de los 90 ha estado conducida por el F.B.I. y diversos expertos de laboratorios policiales y privados USA que basaban su metodología en la utilización del método auditivo-espectrográfico. A partir de 1.991 se fueron incorporando laboratorios policiales de fuera de los Estados Unidos que aportaron distintos enfoques metodológicos. Entre los más relevantes cabe citar, el Instituto Nacional de Investigación de Ciencia Policial de Japón, el laboratorio de análisis y tratamiento de la señal de la Policía Técnica y Científica de Francia y el laboratorio de Acústica Forense de la Comisaría General de Policía Científica de España. Una característica muy a tener en cuenta en el caso de la I.A.I. es la pertenencia de la casi totalidad de sus miembros a laboratorios policiales, o en su caso, a laboratorios forenses dedicados sistemáticamente a la identificación de hablantes.

En el caso de la I.A.F.P., buena parte de sus miembros son expertos privados ubicados en centros de investigación universitarios, aunque también algunos de ellos, colaboran de forma permanente o eventual con organismos judiciales o policiales. Dentro de esta generalidad existen excepciones como es el caso del laboratorio de análisis acústicos del Instituto Técnico Criminal del Bundeskriminalamt dirigido desde 1.980 a 1.999 por el Dr. Hermann J. Künzel. Precisamente, Künzel y sus colaboradores, Harry Hollien y los suyos en la Universidad de Florida, y algunos fonetistas del Reino Unido, son considerados los expertos que marcan las pautas en dicha asociación y por tanto los más representativos.

Como se ha señalado anteriormente, en estas dos asociaciones están incluidos casi todos los laboratorios, expertos o especialistas más relevantes de nuestra técnica. Además de los ya citados, en el caso de Europa es conveniente destacar los laboratorios policiales del Centro de Criminalística del M1 del Interior de Rusia que, en un número cercano a los 50, son los más antiguos del continente europeo. En este mismo país, desde 1.991 el Centro de Tecnología del Habla de San Petersburgo desarrolla una importante labor de investigación y formación en relación con nuestro entorno de investigación. A ellos pueden sumarse el laboratorio de la Policía Científica de Italia -segundo en antigüedad de Europa- el

Laboratorio Central Forense de la Policía de Polonia , el de la Policía Nacional de la actual Chequia, el de la Policía Judicial de Bélgica, el del Instituto de Investigación Criminal de la Gendarmerie Nacional de Francia, el del Instituto de Investigación Forense de Lituania, el del National Bureau of Investigation de Finlandia o el Laboratorio Nacional de Ciencias Forenses de Suecia. En Alemania, además del laboratorio de la B.K.A. existen otros de carácter público, en los Landeskriminalamt o Policías de Estados Autonómicos (Munich, Brademburgo, Düsseldorf...).

Continuando en el ámbito europeo, no deben dejar de mencionarse otras Instituciones, laboratorios o expertos privados que desarrollan la técnica de cara a los tribunales de justicia; sería el caso de la Fundación Ugo Bordononi en Italia, diversos laboratorios en el Reino Unido, el Gerechtelijk Laboratorium de Holanda, el Laboratorio de Investigación Acústica de la Academia de las Ciencias de Austria y de otros muchos expertos de multitud de universidades europeas (Rusia, Francia, Suecia, Noruega, Suiza, Polonia, Hungría, Portugal, etc.).

Igualmente, son reseñables tres entornos de trabajo exclusivamente forenses: el P.C.W.G. (Police Co-operation Working Group) de la Unión Europea, los Simposiums de Ciencia Forense organizados por INTERPOL y la Red Europea de Institutos de Ciencias Forenses E.N.F.S.I.. Los dos primeros grupos tienen un carácter público y exclusivamente policial y el tercero es privado aunque conformado fundamentalmente por laboratorios policiales oficiales. En el seno del P.C.W.G. de la Unión Europea, desde 1.995 se están desarrollando tareas de estandarización en la técnica de Identificación de voz conducidas por la delegación española, la cual, está representada por el laboratorio de Acústica Forense de la Dirección General de la Policía. De forma muy eventual, algún laboratorio o especialistas privados relacionados con áreas afines a la técnica (ingenieros acústicos o de sonido, fonoaudiólogos, entre otros.) emiten informes periciales para la Justicia, basando sus criterios de análisis en sus exclusivas y correspondientes perspectivas de estudio.

En lo que respecta al resto del mundo, se tiene constancia del desarrollo de la técnica en multitud de Universidades de los cinco continentes. De la misma forma, diferentes instituciones policiales incluyen en su estructura laboratorios forenses donde se llevan a cabo tareas de identificación de hablantes. Dentro de éstos, los probablemente más importantes se encuentran en Japón: Instituto Nacional de Investigación de Ciencia Policial de la Policía Nacional, Laboratorio de Investigación Científica del departamento de Policía Metropolitana de Tokyo y laboratorios de Investigación Científica de la Policía en las Prefecturas de Aichi, Osaka y Fukuoka. Igualmente, pueden citarse otros laboratorios policiales asiáticos: Policía Nacional de Israel en Jerusalén, Gendarmerie de Turquía, Ministerio de Justicia de la República China, Departamento de Ciencia Forense del M1 de Seguridad Pública de Arabia Saudí, Policía Nacional de Emiratos Árabes Unidos, Departamento de Investigación Científica del Crimen de Corea del Sur, Centro

de Investigación Científica del Ministerio de Justicia de Taiwan y Real Policía de Hong Kong.

Como anteriormente hemos referido, la actividad fundamental de la identificación forense de locutores en lo que al continente americano concierne ha de situarse en los Estados Unidos.

Dentro de su ámbito de influencia puede incluirse la situación de la técnica en Canadá, donde en el laboratorio de Análisis de Audio de la Real Policía Montada encontramos uno de sus exponentes más relevantes.

Dejando al margen el caso USA, el análisis de voz con fines forenses ha sido abordado por diversas universidades sudamericanas (Escuela Paulista de Medicina de Sao Paulo y el Departamento de Medicina Legal de la Universidad de Campinas en Brasil, Universidad de Buenos Aires, Universidad de Perú, etc.) si bien es cierto, no existe constancia de un trabajo continuado por parte de departamento alguno. En lo que se refiere a laboratorios policiales, encontramos operativos tres laboratorios en Colombia (Fiscalía General de la Nación, Departamento Administrativo de Seguridad y Policía Nacional). No obstante, sí se ha detectado una eventual actividad de la técnica en Argentina, así como la intención de establecer unidades de identificación de locutores en las Policías de diversos países hispanoamericanos (México, Uruguay, Argentina, Perú, El Salvador, etc.).

En Chile el Laboratorio de Criminalística (LACRIM), a través de su sección de sonido, desde el año 2003 es el único laboratorio policial que trabaja sistemáticamente la técnica de identificación de hablantes como apoyo a los tribunales de justicia.

Hasta el momento, las únicas noticias del continente africano provienen de Sudáfrica e Isla Mauricio, donde peritos extranjeros han testificado ante los respectivos tribunales de dichos países. (En el caso de Sudáfrica, también ha sido reseñada cierta actividad por parte de algún especialista nativo).

Por último, hacer una breve referencia a Australia, donde la práctica eventual de la técnica se circunscribe a la realizada por expertos universitarios (p.e. Monash University) que apoyan la investigación de las agencias policiales al no disponer éstas de laboratorios específicos.

10. EJES DE DESARROLLO DE LA ACÚSTICA FORENSE EN CHILE

En el presente capítulo se enunciarán las principales áreas en las que está enfocada la labor de la acústica forense en nuestro país, dichas tareas están siendo desarrolladas principalmente por la sección de sonido dependiente del Laboratorio de Criminalística Central (LACRIM) de la Policía de Investigaciones de Chile.

La sección de sonido del LACRIM fue creada en agosto de 2003, y entre sus funciones está el apoyar a los Tribunales, al Ministerio Público y a cualquier unidad o brigada especializada de la Policía, en todas aquellas materias atinentes a su especialidad, destacándose los siguientes aspectos, los que funcionan como ejes principales en su desarrollo:

- _ Análisis de voz.
- _ Análisis de grabaciones.
- _ Mejora de calidad de registros sonoros.
- _ Técnicas de acústica arquitectónica.
- _ Técnicas de acústica en campo libre.

En los siguientes puntos se abordarán brevemente estas temáticas.

10.1. Análisis de Voz.

El análisis de voz para fines forenses, tiene relación principalmente con el reconocimiento del hablante, que es el procedimiento donde una voz desconocida es cotejada con una o varias voces potenciales objetivo. En este sentido, entre los métodos y modelos existe una primera clasificación: **la verificación del hablante y la identificación del hablante.**

En el caso de la verificación del hablante corresponde la aceptación o el rechazo de la voz escrutada y en la identificación del hablante se debe discernir entre un set de varios hablantes. Los esquemas para cada uno de ellos se muestran en la Figura 11:

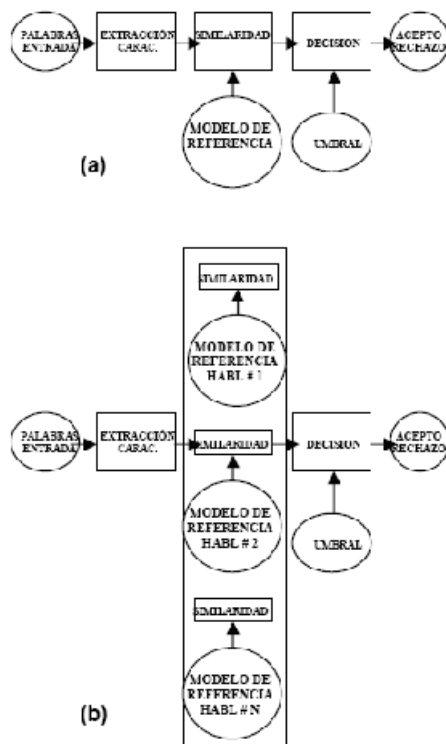


Figura 11: Esquemas para sistemas de reconocimiento de hablantes (a) reconocimiento (b) verificación.

Una segunda clasificación aparece en el proceso de identificación de varios hablantes (Figura 11 b). El pool de voces candidatas a la identificación puede ser de tipo *closed set* u *open set*. En el primer caso, la voz objetivo está dentro del set, mientras que en el segundo caso, la voz debitada puede no corresponder a ninguna de las cotejadas. Este último se manifiesta especialmente en el ámbito forense. Una tercera clasificación se refiere al tipo de muestra necesaria para llevar a cabo el cotejo. En este aspecto, los métodos se dividen en dependiente de texto e independiente de texto.

El método dependiente de texto considera que las muestras de voz deben contener las palabras o frases vertidas por el hablante a reconocer, mientras que el segundo no especifica esta restricción. Una última clasificación se relaciona con el tipo de método en sí. El método usado desde la pos guerra es el de tipo aural-sonográfico, donde se identifican a través del monograma, patrones similares en palabras o frases entre la voz muestra y la dubitada. Lo anterior, ayudado por elementos fonéticos y lingüísticos, entrega una alta tasa de exactitud para examinadores bien entrenados, pero para efectos legales, esta metodología resulta altamente subjetiva y, por ende, cuestionable (Ochoa, 2004).

Con la ayuda de computadores con procesadores modernos, aparecen nuevos modelos capaces de

extraer características de la voz sobre tramos sumamente pequeños (entre los 10mseg y 30mseg). Estos son conocidos como reconocedores automático de hablantes.

Una de las clásicas características vocales que se extraen en estos modelos son los coeficientes mel cepstrales. La señal de voz se parametriza con una ventana entre 10mseg y 30 mseg; a estos tramos se le aplica la FFT, luego se toma la magnitud de su resultado, se ponderan las frecuencias acorde a la escala Mel y finalmente al resultado se le aplica la inversa de FFT. El esquema de su obtención se observa en la Figura 12.

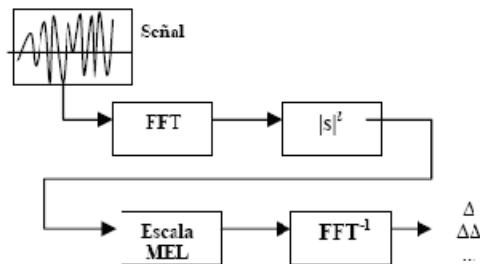


Figura 12: Diagrama de la obtención de MEL-CEPTRALES (Ochoa, 2004)

De estos coeficientes cepstrales, los más típicos e importantes son los de primer y segundo orden, denominados coeficientes delta y delta-delta. Sin embargo, varios métodos utilizan sobre 10 coeficientes para representar las dinámicas espectrales en cada *frame*.

El clasificador es el principal elemento de un reconocedor automático. La literatura ha plasmado diversos métodos clasificadores, entre los que se destacan las Mezclas Gaussianas (GMM), Modelos ocultos de Markov (HMM), Cuantización Vectorial (VQ) y redes neuronales (NN), entre otras. A continuación, se explicará a modo de ejemplo, cómo opera la Cuantización Vectorial y *Las Redes Neuronales tipo perceptrón*, a objeto de destacar sus diferencias:

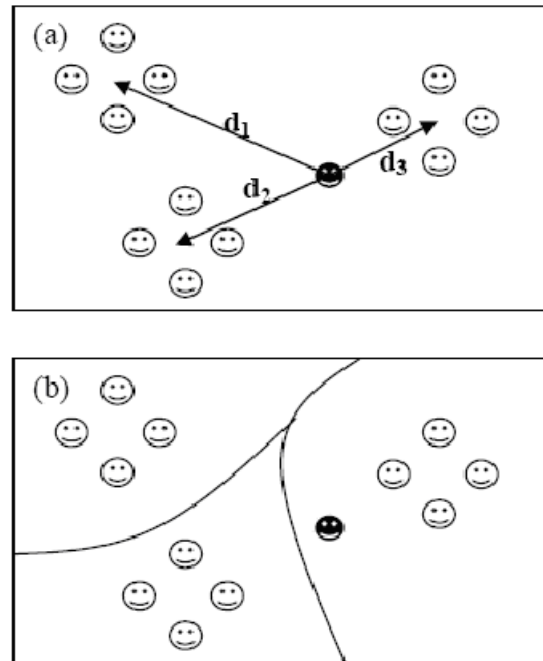


Figura 13: Esquematación gráfica para representar: (a) La cuantización Vectorial. (b) Redes neuronales tipo perceptrón en la identificación de hablantes (Ochoa, 2004).

La Figura 13 (a) muestra, de manera elemental y sintetizada, el funcionamiento de la cuantización vectorial. Cada caracterización de los distintos hablantes (en este caso 3 hablantes) se agrupa en los denominados cluster. A cada uno de ellos se le calcula su centroide, el *codeword*. El conjunto de todos los *codeword* se les indica como *codebook*. Las características del hablante desconocido (en la figura, el smile de color negro) se compara con cada uno de los *codeword* registrados, calculándose su distancia euclídea u otra (d_1 , d_2 y d_3 en la figura). Si la menor de las distancias es inferior a un ϵ dado, entonces se relaciona con el hablante respectivo.

En la 13 (b) se observa el comportamiento de una red neuronal tipo perceptrón. La diferencia fundamental con la cuantización vectorial es que las redes neuronales modelan funciones de decisión, a diferencia de GMM, HMM y VQ, los cuales emplea modelos individuales que representan a los hablantes particulares (*Speaker templates*).

Una desventaja evidente de las redes neuronales es la imposibilidad de utilizar un conjunto de hablantes abierto (open set), puesto que forzosamente la caracterización de la voz desconocida tiene que corresponder a uno de los conjuntos. Por el contrario, en la cuantización vectorial, si ninguna de las distancias se encuentra por debajo del valor ϵ , entonces el hablante dubitado no corresponde a ninguno

del conjunto (umbral de decisión).

10.1.1. Problemáticas del reconocimiento automático de hablantes.

Como se mencionó anteriormente en Chile la sección de sonido del LACRIM trabaja con el programa computacional de reconocimiento automático de hablantes llamado BATVOX, con el cual desarrollan tareas de verificación (un candidato versus un sospechoso) y de identificación (un candidato versus una población de referencia). En ambos casos el sistema necesita de una población de referencia UBM (Universal Background Model) para establecer las distancias de similitud entre los modelos de voz contenidos en dicha población y las muestras de los candidatos. Es decir, aun en el caso de una tarea de verificación, el ratio de similitud entre la muestra debitada y la indubitada siempre se calcula en referencia al resto de los modelos de voz existentes en la base de datos poblacional. La necesidad de tener una base de datos lo suficientemente representativa, es uno de los inconvenientes a la hora de interpretar los resultados comparativos que se obtienen por este tipo de sistemas automáticos.

Por otro lado la generación de poblaciones de referencia que se ajusten a distintos modelos de voz fielmente, es una tarea que requiere de un trabajo extenso y difícil de cumplir para la sección de sonido del LACRIM, debido a que esta sección especializada de la policía de investigaciones de Chile posee poco tiempo y personal para dedicarse a la investigación y desarrollo de la técnica.

También se deben considerar los problemas relacionados con los registros de audio utilizados en los análisis. La casi totalidad de las voces dubitadas manejadas en el entorno forense vienen de interceptaciones telefónicas, que a su vez son registradas en distintos sistemas y soportes de grabación. La unión de estos factores a la frecuente presencia de otros como la degradación de la grabación (ruidos, distorsión, etc) hace que el reconocimiento automático de hablantes no tenga un rendimiento óptimo.

10.2. Análisis de grabaciones.

En el ámbito del análisis de grabaciones, se destaca un aspecto que tiene suma importancia en el actual escenario delictual: la copia ilegal de discos compactos, conocido como los CDs piratas, actividad delictual que viola los tratados internacionales firmados por nuestro país en los que se protege la propiedad intelectual.

En el Laboratorio de Criminalística de la Policía de Investigaciones de Chile se llevan a cabo análisis periciales a los discos compactos ilegales, pero desde el punto de vista documental, es decir, se realiza un estudio sobre las carátulas, sellos e impresiones de un disco. Allí se detectan diferencias en los métodos

de impresión y serigrafía que conllevan a la inferencia de que el disco en observación no es una copia legal.

Sin embargo, la creación de la Sección Sonido implicó que se podría llevar un análisis más técnico de las diferencias entre un disco original y uno pirata, desde el punto de vista electrónico-acústico. Pero existe un gran problema en este análisis, que dice relación con los atributos digitales de un CD, los que se mantienen inalterables entre el master y todas sus copias. Estos son los atributos de calidad de CD que implican 44.100 Hz de muestreo y 16 bits de cuantización.

Lo anterior significa que las copias de un disco original mantienen la misma calidad acústica, en cuanto a su espectro, niveles, etc., por lo que un análisis auditivo no arroja ningún resultado útil. Entonces, se opta por realizar un estudio sobre el medio físico de almacenamiento, el disco compacto en sí.

Un disco compacto presenta diferencias en el método de registro de la información digital, dependiendo si el disco es de una casa discográfica o es de tipo grabable (CDR) o regrabable (CD-RW). Los discos fabricados en casas discográficas y los CD-R presentan esencialmente los mismos componentes: Sustrato de policarbonato, una capa reflectiva y una capa protectora superior.

Sin embargo, en los CD-R, entre el sustrato y la capa reflectiva, existe una capa de grabación compuesta por un tinte o sustrato orgánico. El proceso de registro de la información digital en un CD estampado (de casa discográfica), se realiza en el propio proceso de fabricación de éste, generándose áreas más altas y más bajas, denominadas llanuras y hoyos o *pits* y *lands*.

Sin embargo, el registro digital en un CD-R o CD-RW se produce a posterior de su confección, donde un láser de una unidad grabadora crea marcas en la capa de sustrato orgánico en forma de decoloración, las que tienen las mismas propiedades reflectivas que los *pits* y *lands* producidos por prensado. La figura siguiente sintetiza estos procedimientos:

Debido a lo anterior, es factible determinar si un CD es de fabricación prensada o tipo CD-R (o CD-RW), por la observación de la forma que presenta la capa reflectora. Si existen *pits* y *lands*, entonces el CD es impreso en su fabricación. Si por el contrario existe sólo una decoloración, entonces el disco es grabable o re-grabable. Sin embargo, la longitud de los agujeros y valles varían entre los $0.5 \mu\text{m}$ y $3,0 \mu\text{m}$, con una profundidad de $0,1 \mu\text{m}$ si el CD es impreso. Por lo tanto, para observar estas características se requiere de un microscopio o una lupa estereoscópica de, por lo menos, un aumento de 40X, con lo que el costo de este análisis se eleva dramáticamente.

Ante esta situación, existe un elemento adicional que permite discriminar entre estos dos tipos de discos compactos. Los CDs grabables o regrabables poseen una pista o un surco pre-grabado (de fábrica)

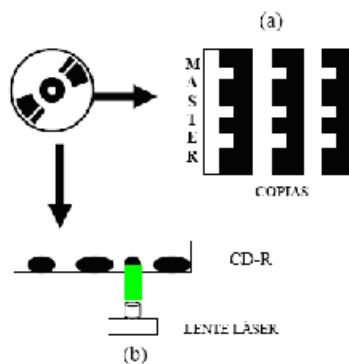


Figura 14: (a) CD grabado por estampado en el polímero de de policarbonato. (b) CD grabado por decoloración o quemado del sustrato orgánico.

en espiral que permite dirigir la cabeza de escritura láser en estos medios. Esta pista se denomina **ATIP** (Absolute Time in Pregroove) y entrega además, información temporizada a la grabadora. En este sentido, todos los discos CD-R y CD-RW deben tener esta pista sinusoidal de 22,05 KHz modulada a ± 1 KHz, que crea una señal de tiempo absoluto de reloj. Los discos impresos, como contraparte, no poseen ATIP, puesto que en estos medios no se debe guiar a ningún láser de escritura.

10.3. Sistemas de cancelación de ruido.

Finalmente, se hará una reseña de las principales técnicas de reducción o cancelación de ruido tipo monocanal. En la Sección Sonido de la Policía, es requerido habitualmente llevar acabo procesos de disminución de ruido de grabaciones que se han registrado en condiciones sumamente deficientes y en soportes magnetofónicos, lo que supone una gran variedad de componentes de ruido de toda índole, ambiental, eléctrico, de saturación, de calidad deficiente de transducción, etc.

Para ello, existe en el mercado algoritmos de cancelación de ruido, principalmente programas computacionales que trabajan en el procesamiento digital de señales. La idea principal de estos sistemas es crear una cadena digital de elementos procesadores de señal que entreguen, como resultado, una mejora en la inteligibilidad de la voz.

Cualquier proceso de mejora en la calidad de la señal implica inicialmente una ecualización de ella. Para filtrar ruido de banda ancha se utiliza el algoritmo adaptivo de sustracción espectral. Este método se basa en la sustracción en el dominio de la frecuencia, del ruido de banda ancha de tipo randómico pero constante. La inteligibilidad del habla no se mejora como regla, pero la fatiga de quien escucha se

reduce significativamente. El ruido espectral que se establece como perfil no es exactamente el mismo en toda la señal. Entonces, lo que se sustrae es un estimador, por lo que este método puede inducir la generación de elementos de sonido particulares denominados "ruido musical" (Ochoa, 2004).

Por otra parte, el módulo de filtro inverso adaptativo es utilizado para suprimir impulsos periódicos de gran nivel, como vibraciones mecánicas, ruido eléctrico, etc. Además de ello, se incluyen filtros digitales para reducir ruidos tonales y regulares, filtros dinámicos para compensar diferencias de niveles entre voces, corrección de tempo, de-clipping y métodos de filtración de datos estéreo.

Los métodos estéreo de filtración adaptativa corresponden a técnicas de dos canales. Se basan en la utilización de la información auxiliar sobre las características del ruido en el canal de referencia. Sin embargo, esta información es proporcionada por una organización especial de la señal grabada, por ejemplo, a través de una disposición de dos micrófonos que registren la señal útil y las fuentes de ruido, por lo que este método es eficiente en ambientes de grabación preparados.

10.4. Técnicas de acústica arquitectónica.

Se realizan mediciones de aislamiento acústico en interiores de edificios. Se suele utilizar una fuente sonora en el lugar de donde procede el ruido y se miden los tiempos de reverberación e índices de reducción sonora aparente. Con ello se pretende averiguar si un sonido procedente de un habitáculo puede ser percibido en otro contiguo, o incluso, en el caso de la voz, si pudiera ser la conversación inteligible. Siempre que intervengan seres humanos, como actores principales en el planteamiento de un peritaje, deben ser sometidos a una audiometría.

10.5. Técnicas de acústica en campo libre.

Cuando el ruido es provocado por un disparo, una explosión, un dialogo, gritos, etc. y la Autoridad Judicial requiere un peritaje sobre la su audición de un testigo, además de la audiometría se hacen necesarias una serie de pruebas acústicas que intenten objetivizar, en la medida de lo posible, la posibilidad real de oír esos sonidos a la distancia y en las circunstancias descritas en su testimonio, para ello es preciso que el experto en acústica realice mediciones in situ al momento de la reconstitución de escena (Lucena, 2004).

11. LOS INFORMES PERICIALES Y SU VALOR PROBATORIO

En el año 2000 se dio inicio a la puesta en marcha de un nuevo sistema de administración de justicia penal en Chile que reemplazó por completo al que existió en nuestro país desde el siglo pasado. Tal sistema está expresado en el Código de Procedimiento Penal, vigente desde 1906.

El protagonista de la reforma procesal penal es el nuevo Código Procesal Penal, publicado el 12 de octubre de 2000, que reemplazó el antiguo sistema inquisitivo (en el que el juez, previo a acusar, conduce una investigación eminentemente escrita y sin mayor contacto por las partes) por uno acusatorio (el juez, en una audiencia oral, escucha a un fiscal investigador y acusador y a un defensor del acusado antes de dar su fallo). La idea es que esta nueva justicia siga los modelos existentes en otros países, donde la administración de justicia penal es mucho más rápida, los acusados y víctimas de delitos cuentan con derechos explícitos y las causas no se acumulan por la propia naturaleza de su conducción.

En ella la labor de los peritos pasa a jugar un papel importante en los juicios orales y públicos. Es aquí donde el ingeniero acústico comienza a tener un papel importante en esta etapa de la nueva justicia que nuestro país comienza a vivir.

Es por tanto que, en el presente capítulo se mencionan las características que debe tener un perito (marcos regulatorios, éticos, legales, etc.) y sus informes periciales en el marco de la nueva forma de hacer justicia en Chile, basados en el Código Procesal Penal de la República de Chile (Herrera, 2003). El ingeniero acústico está llamado a jugar un papel importante en lo referente a la labor pericial relacionada con el audio (reconocimiento y autenticación de hablantes, procesamiento y mejoramiento digital de señales de audio, autenticación de registros sonoros, limpieza de grabaciones, etc). Por tanto, todos estos conocimientos son requisitos fundamentales para desarrollar una labor responsable y profesional en el campo pericial.

11.1. Autoridad de la cual emanan los informes.

11.1.1. Calidad de Perito.

Fundamentos: En el artículo 321 del Código Procesal Penal, se llega a la conclusión de que quienes se desempeñan como expertos del Laboratorio de Criminalística de la Policía de Investigaciones de Chile, Laboratorio Carabineros o miembros de organismos técnicos estatales, tienen la calidad de peritos frente a la legislación procesal en la reforma procesal penal, al igual que el artículo 322 del mismo código se

establece como peritos a terceros (no pertenecientes a organismos técnicos estatales) que pueden ser llamados a analizar pruebas presentadas a un tribunal, eso sí, previa comprobación de su experticia en los temas en que debe presentar informes periciales.

Es por ello que, para estudiar la autoridad con que los peritos emiten sus informes, y sabiendo que los expertos tienen la calidad legal de peritos, hay que hacer un estudio respecto de ellos, en cuanto a las cualidades que deben reunir, designación, responsabilidades, delitos que pueden cometer en el ejercicio de sus funciones, etc. Asimismo, al estudiar los informes de peritos y valor probatorio.

Concepto de peritos: El Código Procesal Penal sólo se refiere en su artículo 314 que: “el Ministerio Público y los demás intervinientes podrán presentar informes elaborados por peritos de su confianza y solicitar que éstos fueren citados a declarar al juicio oral...” , sin definir lo que es un perito.

Se entiende por perito a una persona experimentada en alguna ciencia o arte, o con conocimientos científicos, artísticos o prácticos especiales, que dictamina acerca de hechos presentes, de los cuales entiende mediante un examen real y directo de los mismos practicado con sujeción a principios o reglas fundamentales y con el carácter de una actuación judicial. (Herrera, 2003). En otras palabras, los peritos no son sino personas entendidas en una ciencia o arte llamadas a prestar su dictamen sobre puntos oscuros para cuya cabal apreciación es indispensable poseer conocimientos específicos en un área determinada.

11.1.2. Cualidades que deben reunir los expertos.

Clasificación: Es difícil enumerar o hacer precisa relación de las cualidades que deben reunir quienes deben desempeñar la alta responsabilidad de emitir a un Tribunal un informe pericial.

Para ello es necesario dejar en claro que se distinguen dos clases de cualidades. Las unas, relacionadas con la capacidad e idoneidad técnica y específica de todo perito y las otras en relación con elementos de carácter moral y ético, como lo son la honorabilidad, probidad y honradez que pongan al perito fuera de toda sospecha de prevaricación.

Cualidades de carácter técnico: Es necesario dejar en claro que la persona que ha de desempeñarse como perito, no basta con que sea idónea para desempeñar la calidad de tal, sino que ha de estar especializada en el plano de la materia o materias que se ponen en su conocimiento. Es así como no basta con que sean profesionales en una especialidad determinada, sino que deben también ser especialistas en las áreas específicas de su profesión.

Por ejemplo, el Laboratorio de Criminalística de la Policía de Investigaciones de Chile se rige por

la Ley N° 19.586 de 25 de septiembre de 1998, que señala en su artículo 18 las cualidades de carácter técnico que deben reunir los peritos del Laboratorio de Criminalística. Este artículo expresa: “Los peritos serán designados por el Director General entre quienes reúnan los siguientes requisitos específicos, según corresponda:”, en el caso de los ingenieros dedicados a la parte de acústica forense, dicho artículo establece: “*Perito en Sonido*: Título de Ingeniero en Sonido u otros títulos profesionales relacionados con la especialidad, otorgados por una Universidad o Instituto Profesional del Estado o reconocidos por éste, cuyas carreras tengan un plan de estudio no inferior a ocho semestres o cuatro años”.

Cualidades de carácter moral: No es suficiente que el perito sea idóneo, y dentro de su idoneidad, un especialista. Es necesario, además, que reúna condiciones de carácter moral que garanticen al Tribunal y a las partes que el informe que se emite estará por sobre el interés del actor o del imputado. Dentro de las cualidades morales que el experto debe reunir las de mayor importancia son las de probidad, ecuanimidad e independencia.

Probidad: La probidad del perito debe ser tanto moral como científica. Moral, en cuanto desligue el dictamen emitido a todo interés personal. Científica, en lo referente a que no altere o haga premeditada la aplicación de sus conocimientos para llegar a conclusiones ajenas a la verdad. Ambas deben concurrir en la persona del experto y la ausencia de cualquiera de ellas restará a su informe la autoridad suficiente, aún cuando provenga de una persona cuya preparación científica sea indiscutible.

Ecuanimidad: Esta condición de la moralidad del perito radica en el hecho de que debe existir en él una uniformidad de criterio para llegar a las conclusiones de su dictamen, cualquiera que sean las consecuencias de carácter jurídico que de él deriven. La ausencia de ecuanimidad en un perito le despojaría de su autoridad ética que debe poseer para dar verdadero peso a su informe.

Independencia: Consiste en la capacidad del perito de liberarse, en el ejercicio de sus funciones, de toda clase de influencias, sean estas de carácter científico, como sería el caso de emitir informes erróneos con el fin de hacer imperar una tesis o doctrina científica determinada, sean de carácter personal, político, pecuniarias o religiosas.

El perito debe sobreponerse, especialmente, a la presión que la opinión pública hace cuando a determinados hechos delictuales se les da una publicidad que, aparentemente, hacen aparecer los hechos como causando “alarma pública”. Deben evitar, en tales casos, verse influenciados por los comentarios periodísticos, declaraciones publicitarias de algunos abogados, etc.

La concurrencia de estas tres cualidades morales en el perito forman su “personalidad moral”, que todo experto debe tener para dar a sus dictámenes el valor necesario.

En el artículo 314 del Código Procesal Penal, en su inciso 3ro, señala: “Los informes deberán

emitirse con imparcialidad, ateniéndose a los principios de la ciencia o reglas del arte u oficio que profesare el perito”.

Por tanto, un informe pericial debe aparecer respaldado tanto por la competencia científica como por las condiciones morales del experto que lo emite.

11.1.3. Designación de los peritos.

Designación en general: El artículo 314 del Código Procesal Penal señala: “Procederá el informe de peritos en los casos determinados por la ley y siempre que para apreciar algún hecho o circunstancia relevante para la causa fueren necesarios o convenientes conocimientos especiales de una ciencia, arte u oficio”.

De esta disposición se desprende que la designación de peritos procede cuando la ley lo ordena y cuando es necesario el conocimiento de un arte, ciencia u oficio a fin de apreciar hechos o circunstancias que requieren de conocimientos especiales.

Designación de peritos por mandato de la ley: En el Código Procesal Penal se establece dicha obligatoriedad, en el caso de peritos en acústica los artículos de interés son el 222, 223, 224, 225.

Casos en que la ley “recomienda” la designación de peritos: En los artículos 222 al 225 son de interés para un perito en acústica. En los casos indicados no se establece la obligatoriedad del informe pericial, pero se insinúa, se recomienda valerse de este medio para acreditar ciertos hechos.

Designación de peritos para apreciar un hecho o circunstancia importante en que fuere necesario el conocimiento de ciencia, arte u oficio: En el artículo 314 del Código Procesal Penal en su inciso primero y segundo cuando dice que “el ministerio público y los demás intervinientes podrán presentar informes elaborados por peritos de su confianza y solicitar que éstos fueren citados a declarar al juicio oral, acompañando los comprobantes que acrediten la idoneidad profesional del perito” , y que “procederá el informe de peritos en los casos determinados por la ley y siempre que para apreciar algún hecho o circunstancia relevante para la causa fueren necesarios o convenientes conocimientos especiales de una ciencia, arte u oficio”.

Por tanto, deben concurrir los siguientes requisitos para que proceda el informe pericial:

- _ Que haya de versar dicho informe sobre puntos de hecho, pues los de derecho son de la exclusiva competencia del Tribunal.

- _ Que los hechos sobre los que haya de versar el informe sean de importancia para la etapa de investigación, es decir, que puedan ejercer influjo en el resultado de la investigación, pues si no tuvieren dicha cualidad no resultaría adecuado dentro de los términos de la ley, la cual sólo autoriza el informe pericial cuando el hecho o circunstancia que lo motive tenga dicha importancia.
- _ Que para la exacta apreciación de los puntos indicados sean necesarios o convenientes conocimientos científicos, artísticos o prácticos.

Concluyendo, podemos decir que el peritaje procede cuando la ley lo ordena, siendo en este caso obligatorio para el ministerio público y los demás intervinientes cuando así lo disponen, atendiendo a las circunstancias y conveniencias, sin ser para ellos obligatoria la investigación pericial. Existe además una actitud intermedia, en la que la ley recomienda la investigación pericial, caso que tampoco es obligatorio para el Tribunal, el ministerio público o los demás intervinientes.

11.1.4. Autoridad que designa al perito.

Generalidades: La designación de peritos procede tanto en los delitos de acción pública como en los de acción privada. En ambos casos, y en conformidad con nuestra legislación, se aplican reglas diferentes.

Designación de los peritos en el nuevo procedimiento criminal: En el procedimiento criminal la designación del perito se efectúa ya sea por el ministerio público o por los demás intervinientes en el proceso, tal como lo expresa claramente el artículo 314 inciso primero del Código Procesal Penal.

A su vez, el artículo 321 del Código Procesal Penal señala: “El ministerio público podrá presentar como peritos a los miembros de los organismos técnicos que le prestaren auxilio en su función investigadora, ya sea que pertenecieren a la policía, al propio ministerio público o a otros organismos estatales especializados en tales funciones”, lo que deja claramente establecido que la designación del perito en este caso es hecha por el ministerio público.

Además, el artículo 320 del Código señala que: “Durante la etapa de investigación o en la audiencia de preparación del juicio oral, los intervinientes podrán solicitar del juez de garantía que dicte las instrucciones necesarias para que sus peritos puedan acceder a examinar los objetos, documentos o lugares a que se refiriere su pericia o para cualquier otro fin pertinente. El juez de garantía accederá a la solicitud, a menos que, presentada durante la etapa de investigación, considerare necesario postergarla para proteger el éxito de ésta”, lo que refuerza aún más la idea de que antes de esta solicitud ya han sido nombrados los peritos por los intervinientes en el proceso.

Pero la admisibilidad del informe de los peritos es de cargo del tribunal, ya que, como señala el artículo 316 del nuevo Código Procesal Penal, “el tribunal admitirá los informes y citará a los peritos cuando, además de los requisitos generales para la admisibilidad de las solicitudes de prueba, considerare que los peritos y sus informes otorgan suficientes garantías de seriedad y profesionalismo. Con todo, el tribunal podrá limitar el número de informes o de peritos, cuando unos u otros resultaren excesivos o pudieren entorpecer la realización del juicio”.

Por tanto, es el tribunal quien decide que peritos y que informes se admitirán en juicio, a pesar de haber sido designados los peritos con anterioridad por los intervinientes en el proceso. Aún más, se faculta al tribunal para limitar el número de informes o de peritos, cuando unos u otros resultaren excesivos o pudieren entorpecer la realización del juicio.

11.1.5. Juramento de los peritos.

Del juramento de los peritos en general y de los peritos del Laboratorio de Criminalística en especial: El juramento del perito se rige por las normas establecidas para la declaración de los testigos, por expreso mandato del artículo 319 del Código Procesal Penal. Esto lleva al inciso primero del artículo 306 del mismo Código, el cual señala: “Todo testigo (perito), antes de comenzar su declaración, prestará juramento o promesa de decir verdad sobre lo que se le preguntare, sin ocultar ni añadir nada de lo que pudiere conducir al esclarecimiento de los hechos”. Además, durante el desarrollo del juicio oral, el juez presidente de la sala debe ordenar que el perito preste juramento, como lo señala el artículo 329 del Código procesal Penal, al decir que: “El juez presidente de la sala identificará al perito y ordenará que preste juramento o promesa de decir verdad”.

Objeto del juramento: En el procedimiento criminal, el tribunal, si lo estimare necesario, instruirá al testigo (perito) acerca del sentido del juramento o promesa y de su obligación de ser veraz, ...”, como lo señala el inciso 3ro del artículo 306 del Código Procesal Penal.

Sanciones a la falta de juramento: La omisión acarreará la nulidad de todo lo obrado, ya que ni las partes, ni los intervinientes, ni el tribunal pueden dispensar al experto del juramento, cuya omisión acarrearía, como ya se ha dicho, la nulidad del peritaje practicado por él.

11.1.6. Responsabilidad de los peritos.

Responsabilidad penal de los peritos en general: Se vio anteriormente, al estudiar las cualidades que debe reunir un perito, que éstas se dividen en técnicas y morales. El abuso de sus conocimientos

científicos, por una parte, o la inescrupulosidad, por otra, tendientes a falsear los informes que emite, configuran el delito de prevaricación.

Concepto de prevaricación: El Código Procesal Penal no ha definido lo que es prevaricación, ya que este cuerpo legal se limita a una enumeración de hechos que la constituyen.

Doctrinariamente “consiste en faltar maliciosamente o por culpa a los deberes que impone el ejercicio de un cargo o profesión”.

De la persecución de la responsabilidad penal: En la práctica es difícil la persecución de la responsabilidad penal de los peritos, dado a lo difícil que resulta el llegar a probar o configurar los delitos. El perito, pese a todos los adelantos científicos, puede caer en errores involuntarios, sin que ello justifique los que puedan llegar a ser, desde todo punto de vista, totalmente disconformes en la ciencia o arte de la especialidad del experto. Sin embargo el inciso tercero del artículo 306 del Código Procesal Penal, al señalar que: “El tribunal, si lo estimare necesario, instruirá al testigo (perito) acerca del sentido del juramento o promesa y de su obligación de ser veraz, así como de las penas con las cuales la ley castiga el delito de falso testimonio en causa criminal”.

Responsabilidad civil: Para perseguir civilmente la responsabilidad del perito es indispensable, previamente, la comprobación del delito, por lo que esta responsabilidad es tan difícil de hacer efectiva como la responsabilidad penal, por las razones que hemos dado al referirnos a esta última.

11.1.7. Capacidad, incapacidad e inhabilidades para desempeñarse como perito.

Capacidad: En el nuevo procedimiento criminal sólo se admitirán por el tribunal los informes y los peritos que, además de cumplir con los requisitos generales para la admisibilidad de la prueba, se considere que dichos peritos y sus informes otorgan suficientes garantías de seriedad y profesionalismo.

Incapacidad: El Código Procesal Penal señala en su artículo 317: “No podrán desempeñar las funciones de peritos las personas a quienes la ley reconozca la facultad de abstenerse de prestar declaración testimonial”.

Inhabilidades: En el nuevo Código Procesal Penal se establece en el artículo 302 la facultad de no declarar por motivos personales. Las personas comprendidas en este artículo que tienen dicha facultad, son las siguientes:

- _ El cónyuge o el conviviente del imputado.
- _ Los ascendientes o descendientes del imputado.

- _ Los parientes colaterales del imputado, hasta el segundo grado de consanguinidad o afinidad.
- _ El pupilo, el guardador, el adoptante y el adoptado por el imputado.

11.1.8. La recusación y tacha de los peritos.

Fundamentos: las recusaciones y tachas de los peritos radican en la necesidad de dar la mayor garantía de seriedad e independencia de los actos periciales.

Improcedencia de inhabilitación de los peritos en el nuevo procedimiento criminal: En el nuevo procedimiento criminal los peritos no podrán ser inhabilitados. No obstante, durante la audiencia del juicio oral podrán dirigírseles preguntas orientadas a determinar su imparcialidad e idoneidad, así como el rigor técnico o científico de sus conclusiones. Todo esto según el artículo 318 del nuevo Código Procesal Penal.

Ahora bien, el artículo 330 del mismo Código, en sus incisos segundo y tercero, señala que “en la audiencia del juicio oral, durante el contra interrogatorio, las partes podrán confrontar al perito con sus propios dichos u otras versiones de los hechos presentadas en el juicio. En ningún caso se admitirán preguntas engañosas, aquellas destinadas a coaccionar ilegítimamente al perito, ni las que fueren formuladas en términos poco claros para ellos”.

11.2. LOS INFORMES PERICIALES.

11.2.1. Concepto y clasificación.

Generalidades: El perito debe emitir un informe en el que consten las observaciones e investigaciones científicas realizadas y las conclusiones a que se ha llegado.

Concepto: Se puede decir que el informe es la respuesta que el perito da a las cuestiones planteadas por el tribunal, en el que constan las observaciones e investigaciones realizadas por las personas que tienen la respectiva competencia científica, técnica o simplemente práctica, y las conclusiones a que se ha llegado. Es decir, los informes periciales no son otra cosa que exámenes efectuados sobre puntos de hecho, con arreglo a principios científicos, por personas técnicas en el conocimiento requerido.

Clasificación: Distintas clasificaciones pueden hacerse de los informes periciales. La principal será entre peritajes civiles y criminales, según sea la naturaleza de la causa en que el peritaje recaiga.

11.2.2. Forma y contenido del informe pericial.

Forma de los informes: Por lo general los informes periciales serán escritos llevando además acompañados los antecedentes que se estime convenientes para una mejor comprensión e interpretación del tribunal, tales como croquis, fotografías, gráficos, etc.

Contenido del informe: Según el artículo 315 del Código Procesal Penal, el informe contendrá las siguientes menciones:

- _ La descripción de la persona o cosa que sea objeto de él, del estado y del modo en que se halle.
- _ La relación circunstanciada de todas las operaciones practicadas y de su resultado.
- _ Las conclusiones que, en vista de tales datos, formulen los peritos conforme a los principios o reglas de su ciencia, arte u oficio.

De lo expuesto se tiene que, en conformidad a la ley, el informe consta de las siguientes partes: descripción, diligencias realizadas y conclusiones.

Partes fundamentales del informe: Las partes fundamentales del informe son las que se refieren a las diligencias realizadas y las conclusiones a que se llega.

En las diligencias debe consignarse una enumeración clara y detallada de todas las experiencias realizadas, dado a que ellas serán el fundamento de las conclusiones a que se llegue.

De ahí que en el Código Procesal Penal se exija que las operaciones de los expertos sean “circunstanciadas”, es decir, consignadas con minuciosa exactitud a objeto de que el juez pueda formarse un juicio cabal de los hechos.

Las conclusiones son otra de las partes que es fundamental, y la más importante del informe, en razón a que son una verdadera respuesta a los planteamientos hechos por la autoridad judicial que solicita el peritaje.

El informe en esta parte puede o no ser concluyente ya que no tiene por qué ser afirmativo o negativo en forma rotunda, por cuanto puede que las investigaciones realizadas no sean suficientes para llegar a una conclusión definitiva, y en consecuencia, la conclusión estará en concordancia con las experiencias científicas que se han practicado.

11.2.3. Cualidades que deben reunir los informes.

Generalidades: En el vigente procedimiento criminal, es el ministerio público y los demás intervinientes los que pueden valerse del informe de peritos, el cual procederá en los casos determinados por la ley y siempre que, para apreciar algún hecho o circunstancia relevante para la causa, sean necesarios o convenientes conocimientos especiales de una ciencia, arte u oficio. Al igual que en el procedimiento penal antiguo, en el nuevo procedimiento penal también se busca llenar ese vacío de conocimiento especializado que el tribunal y los demás intervinientes en el proceso requieren.

Es por ello que los informes deben ser completos, fundamentados, redactados con claridad y, finalmente, responder mientras sea posible, a todos los planteamientos hechos por el juez (en el procedimiento antiguo) y el ministerio público, el tribunal y demás intervinientes (en el nuevo procedimiento penal).

Completos: Esta es la cualidad sobresaliente del informe, respecto de responder a todos los planteamientos requeridos de él. Los informes, para reunir esta cualidad, deben incluir todas las investigaciones y observaciones realizadas, ya sea que favorezcan o desfavorezcan al imputado o al acusador, de manera que las conclusiones puedan ser objetadas o discutidas por cualquiera de los interesados.

El hecho de ser completo no exige que el informe se extienda más allá de lo estrictamente necesario, ya que se puede cumplir con esta cualidad dentro de un marco de sobriedad y dentro de los límites de lo que efectivamente se ha realizado, en concordancia con los problemas planteados, sin extenderse en cuestiones sobre las cuales no se ha solicitado ninguna actuación.

Fundamentados: Es indiscutible que el informe emanado de un perito debe ser fundamentado, ya que no sólo se está pidiendo una opinión, sino que ella debe ser fundada en el conocimiento especial de una ciencia, arte u oficio. En lo posible los informes deben fundarse en verdades incontrovertidas o generalmente aceptadas dentro de cada ciencia o especialidad.

Redactados con claridad: El informe pericial debe estar redactado en términos claros, en lo posible dentro del lenguaje corriente, al alcance de todos. Debe evitarse, en consecuencia, y mientras ello sea posible, los términos técnicos, ya que con ello poco se avanzaría.

Responder a todas las cuestiones planteadas: Esta es la finalidad del informe pericial, de manera que después de ser leído no quede duda respecto de la materia sobre la cual recae. Aunque no siempre es posible responder a todas las cuestiones planteadas, porque en muchas oportunidades éstas vienen mal expuestas, o en su defecto, se solicita informes que no se está en condiciones técnicas de resolver.

11.2.4. Entrega del informe y del plazo para ello.

La entrega: Los informes periciales son remitidos a los tribunales por medio de oficios en los que, conjuntamente con expresar las materias o materia a que se refiere se les acompaña de los demás antecedentes, tales como fotografías, gráficos, croquis, etc.

Del plazo para emitir el informe: En el nuevo procedimiento criminal no dice nada respecto de un plazo para presentar el informe, pero en todo caso no puede exceder del plazo que tiene el fiscal para cerrar la investigación, el que es de dos años desde la fecha en que la investigación hubiere sido formalizada, o del plazo que el tribunal le fije al fiscal, el que en todo caso no podrá exceder los dos años desde que la investigación hubiere sido formalizada, todo esto según el artículo 247 inciso primero del Código Procesal Penal.

11.3. Valor probatorio de los Informes Periciales.

11.3.1. Generalidades respecto de la prueba.

Objetivos del Derecho Procesal Penal: El Código Procesal Penal prescribe en su artículo 297: “Los tribunales apreciarán la prueba con libertad, pero no podrán contradecir los principios de la lógica, las máximas de la experiencia y los conocimientos científicamente afianzados. El tribunal deberá hacerse cargo en su fundamentación de toda la prueba producida, incluso de aquella que hubiere desestimado, indicando en tal caso las razones que hubiere tenido en cuenta para hacerlo. La valoración de la prueba en la sentencia requerirá el señalamiento del o de los medios de prueba mediante los cuales se dieron por acreditados cada uno de los hechos y circunstancias que se dieron por probados. Esta fundamentación deberá permitir la reproducción del razonamiento utilizado para alcanzar las conclusiones a que llegare la sentencia”.

El sistema que se consagra con la nueva forma de hacer justicia en Chile es el de la “libre valoración de la prueba” cuya esencia es que consiste en que el juez no se encuentra vinculado a reglas probatorias, es decir, a disposiciones legales acerca de la eficacia de las pruebas a disposiciones que establezcan los presupuestos bajo los cuales un hecho debe considerarse como acreditado.

La prueba científica: El perfeccionamiento de los medios científicos de investigación, es una de las mayores conquistas del Procedimiento Penal. Siendo la verdad la meta de la justicia en toda causa criminal, el aporte de la pericia científica en el campo probatorio es de un valor indiscutible. La prueba pericial descansa en una base sólida, de investigación experimental cuya fuerza de convicción es de un

valor apreciable. Ciertamente es que se ha criticado la prueba pericial por distintas razones. Entre ellas, la falta de preparación suficiente de los expertos, la tendencia de los peritos a emitir informes más allá de lo que les corresponde y, esta crítica de mayor fuerza, el hecho de haberse producido errores que han llevado a fallos condenatorios injustos.

Por lo demás, todas estas críticas van dirigidas a la práctica de los peritajes y no al peritaje mismo, a su fundamento científico ni a su necesidad. De allí el gran desarrollo que han tenido últimamente los laboratorios policiales, que con los medios materiales suficientes y la capacidad de sus integrantes, son completa garantía de efectividad, idoneidad y competencia en sus funciones.

Naturaleza de la prueba pericial: Sin bien existe alguna similitud entre el perito y el testigo, desde el momento que declaran sobre hechos que han visto, prestan juramento y ambos pueden ser tachados, hay claras diferencias entre ambos, que pueden sintetizarse en las siguientes:

- El testigo presencia, ve, observa el hecho sobre el cual depone en el instante mismo que este hecho se produce. Las circunstancias lo colocan en situación de, quiéralo o no, ver y apreciar un hecho sobre el cual se le pedirá testimonio. El perito, en cambio, es nombrado por el Tribunal con posterioridad al hecho sobre el cual recaerá su informe.
- Testigo puede ser cualquier persona. Perito sólo puede serlo quien tenga los conocimientos especiales de un arte, ciencia u oficio. Requiere de conocimientos especiales.
- El testigo depone sobre hechos que ha percibido por los sentidos, mientras que el experto llega a conclusiones que son el fruto de una investigación científica y experimental. Su informe es fruto de un razonamiento inductivo.
- En el Código Procesal Penal, en su artículo 329 inciso segundo, señala que "se ordenará que el perito preste juramento o promesa de decir verdad".

11.3.2. Principios que informan la apreciación de la prueba en el Código Procesal Penal.

Convicción necesaria para condenar: En el Código Procesal Penal, el tribunal apreciará la prueba con libertad, siempre y cuando no contradiga los principios de la lógica, las máximas de la experiencia y los conocimientos científicamente afianzados (artículo 297 inciso primero), siempre y cuando en el mismo juicio se dé cuenta de la experticia que pretende tener el perito.

Valoración de la prueba: El informe de un perito sí puede imponerse al criterio del juez y es obligatorio para este, ya que lo señala expresamente el artículo 297 inciso primero del Código Procesal Penal.

11.3.3. Valor probatorio de los informes emanados por los peritos.

Valor probatorio: Los informes de peritos tendrían el valor de plena prueba, debido a que el tribunal no podría contradecir los conocimientos científicamente afianzados, como lo señala el inciso primero del artículo 297 del Código Procesal penal, siempre y cuando en el juicio se dé cuenta de la experticia que el perito pretende tener. En caso contrario los jueces están en perfecta libertad para evaluar (y las partes cuestionar) la supuesta experticia de este perito. A su turno, tanto las partes como juez podrán cuestionar dicha experticia, sea que lo hagan por sus defectos propios o bien por oposición a otro perito más verosímil en esa misma materia. En este sentido el artículo 318 del Código procesal penal señala que “los peritos que presentaren no podrán ser inhabilitados. No obstante, durante el juicio oral podrán dirigírseles preguntas orientadas a determinar su imparcialidad e idoneidad, así como el rigor técnico o científico de sus conclusiones”.

Los peritos concurren al juicio oral a explicar su informe. No se presentan simplemente a leerlo o a ratificar lo que allí se dice. Lo que interesa al juicio oral es la declaración actual del perito, de manera que éste pueda explicar sus conclusiones en un lenguaje común que todos -y los jueces antes que nadie- puedan comprender. El informe no es la prueba, sino sólo el testimonio prestado en el juicio oral. Una declaración prestada con pocos fundamentos o mal expresada y sujeta a la contradictoriedad del debate.

12. LINEAS FUTURAS DE TRABAJO DE LA ACÚSTICA FORENSE

En nuestro país la policía de investigaciones de Chile, a través de la sección de audio forense del laboratorio de criminalística, son los encargados de prestar apoyo técnico en los peritajes de audio solicitados por un tribunal. Sin embargo el trabajo que realiza dicha sección del Laboratorio de Criminalística (LACRIM) no tiene un carácter multidisciplinar cuando de identificar hablantes se trata, basándose principalmente en los análisis de pruebas dubitadas desarrollados con el programa de reconocimiento automático de hablantes BATVOX de la empresa española Agnitio.

Uno de los mayores problemas a los que se enfrenta dicha sección del LACRIM es el manejo de las pruebas de audio por parte de terceros (no expertos en sonido), que desconocen el correcto manejo de registros de audio y que entorpecen la labor que desarrollan los peritos en acústica forense. Como ejemplo se pueden mencionar las intervenciones telefónicas realizadas por otras secciones de la policía y que son, en algunos casos, mal manejadas desde el punto de vista técnico (grabación, digitalización, etc.), dificultando el trabajo posterior de identificación. La falta de coordinación entre quienes manejan los registros sonoros es uno de los problemas más serios a los que se enfrenta un perito forense en audio. Es por esto mismo que a continuación se expondrán líneas futuras de trabajo de la acústica forense en el mundo planteadas en (Delgado, 2001), y que son válidas para una correcta aplicación de la acústica forense en Chile.

12.1. Dificultad del entorno de investigación forense.

Para evaluar de forma objetiva las prestaciones reales de una técnica forense de identificación de hablantes, no existe otra alternativa que considerar: marco legal vigente, experiencia y capacitación de los expertos que la practican, objetos y sistemas de análisis que la integran, tests elaborados, procedimientos de estimación de datos utilizados, organismos a los que se dirigirá el trabajo generado, garantías de control de calidad y cadena de custodia contempladas, etc. Sólo se puede estar en disposición de emitir opiniones en torno a la fiabilidad, eficacia o viabilidad de dicha técnica, cuando se conozca en detalle las características de los mencionados ejes de referencia. A diferencia de lo que pudiera acontecer en otro marco de investigación en el caso de producirse una estimación equivocada, las consecuencias de un error en el ámbito forense pueden llegar a traducirse en atropello de los derechos fundamentales de la persona imputada.

Además de tener que desarrollar su trabajo bajo esta gran responsabilidad, los expertos en acústica

forense y en especial en la identificación forense de hablantes, deben superar muchos y complejos obstáculos. Algunos de ellos, relacionados con su etapa de formación: largos períodos de entrenamiento, carácter multidisciplinar de la técnica, habilidades auditivas y perceptivas, etc.; y otros, relativos a las propias características de los elementos de estudio: naturaleza variable de las emisiones de voz, factores de degradación de la señal, carácter no cooperativo de los imputados, etc. A estas dificultades, hay que sumar otra serie de inconvenientes vinculados a la versatilidad de las aproximaciones de análisis, ausencia de estándares de referencia en el contexto técnico como en el plano judicial, etc.

12.2. Mejor filosofía metodológica: los métodos combinados.

Desde sus comienzos en los años sesenta, la identificación forense de hablantes ha sido desarrollada a través de distintas propuestas metodológicas, como consecuencia de su carácter multidisciplinar. En algunas ocasiones, esta peculiaridad se ha visto acompañada de una falta de ética o profesionalidad por parte de determinados expertos. La conjugación de estos delicados elementos, se ha traducido en numerosos trastornos en el camino de consolidación de la técnica. Afortunadamente, en el momento actual, la filosofía de los *métodos combinados* ha sido señalada en distintos foros internacionales de expertos como la opción más idónea para la práctica forense de identificación de voz. (Delgado, 2001)

Dicha filosofía, parte de la utilización del análisis clásico (perceptivo-acústico-fonético) contemplando la combinación de cualquier otro enfoque de análisis que pueda aportar a la solución del problema. Aunque en casos muy concretos pudiera alcanzarse un resultado exitoso a través de una única perspectiva de estudio, el experto en acústica forense no debe dejar de lado ninguna de las herramientas o enfoques que puedan otorgar a sus apreciaciones el mayor grado de precisión y objetividad.

12.3. Principales directrices de trabajo futuro.

Las principales directrices de trabajo futuro relacionadas con las técnicas de investigación forense, pueden resumirse en las siguientes referencias:

12.3.1. Investigación y desarrollo.

- _ Creación de bases de datos de locutores que contemplen factores característicos de entornos forenses reales, para la construcción de modelos globales de referencia.

-
- _ Diseño de experimentos de investigación a partir de bases de datos de locutores representativas, para:
 - _ Obtener valores normativos del habla en poblaciones concretas.
 - _ Testeo de nuevas alternativas de análisis automático o semiautomático.
 - _ Aplicación de técnicas estadísticas de cara a la interpretación de resultados de análisis y creación de protocolos de decisión: definición de criterios, cuantificación de vectores de ponderación, reconocimiento de patrones, etc.

12.3.2. Ámbito judicial y formación de expertos.

- _ Aproximación de la técnica forense de identificación de locutores a las distintas instancias del ámbito judicial (especialmente a jueces y fiscales).
- _ Reclamar de dichas instancias una unicidad de criterios traducida en una definición formal de estándares para la apreciación de éste u otro tipo de evidencia científica.
- _ Creación de centros o programas de formación para el entrenamiento y actualización específica de los expertos en ciencias forenses.

13. CONCLUSIONES

- La ingeniería acústica es una especialidad que a lo largo de su historia ha demostrado ser muy versátil en lo que a sus campos profesionales se refiere, siendo la criminalística una nueva área de especialización de esta carrera. En la actualidad, la acústica forense es un tanto desconocida ya que lleva solamente cinco años de labor, principalmente desarrollada por la sección de sonido del laboratorio de criminalística. Es por esto, que la tesis pretende dar a conocer distintas áreas que abarca la especialidad, y así fomentar la inquietud de querer desarrollar trabajos futuros conducentes al mejoramiento de las técnicas aplicadas en la acústica forense en nuestro país.
- El conocimiento de la generación de voz humana y los procesos auditivos permiten a un experto en audio poder entenderse con otros profesionales en las tareas en que sea necesario un trabajo multidisciplinar, especialmente en lo relacionado en el reconocimiento de voz en el ámbito forense. También el conocimiento de los sistemas de grabación y microfonía son de vital importancia en lo que respecta a tener un conocimiento incuestionable a la hora de defender un peritaje de audio, cualquier duda sobre estos temas podría hacer que la credibilidad de un experto en audio sea cuestionada a la hora de defender las pericias realizadas.
- El nuevo sistema de hacer justicia en Chile ha hecho que la labor del perito sea de gran importancia a la hora de analizar la validez de la evidencia acusatoria. Es por esto mismo que un perito debe ser un experto en los temas sobre los cuales es consultado. En nuestro caso, un ingeniero acústico está llamado a ser un actor importante en los análisis atinentes al audio.
- Una labor responsable en el campo forense estará dada por un completo conocimiento de las aristas técnicas de los estudios encargados y además de los marcos legales regulatorios vigentes en Chile, que están dados por el Código Procesal Penal. También es de suma importancia que un perito, aparte de su experticia en un tema técnico específico, sea capaz de exponer sus conclusiones de estudio con claridad y en un lenguaje entendible por todos los participantes en un juicio oral, en especial por parte del juez quien será el que finalmente determinará la admisibilidad del peritaje a la hora de emitir un veredicto acusatorio o absolutorio.
- El marco legal regulatorio vigente en Chile exige que los peritos que tengan experticia en los temas sobre los cuales desarrollen peritajes. Es por esto mismo que al abordar problemáticas de reconocimiento de voz en el ámbito forense, se haga en un marco multidisciplinar, en donde participen fonetistas, lingüistas e ingenieros especialistas en audio. Ya que cada uno por sí sólo no puede abarcar todas las aristas de este tipo de análisis.

- Si bien es cierto, hoy en día en Chile existe una sección de acústica forense perteneciente al LACRIM de la Policía de Investigaciones de Chile, en donde trabajan ingenieros acústicos y en sonido, es preciso que entidades académicas presten colaboración en investigación, desarrollo e innovación en el área, debido a que por su carácter operativo y no investigativo, los profesionales de dicha sección especializada de la policía, no pueden desarrollar estudios que apunten al desarrollo de la acústica forense.
- Las nuevas aplicaciones del reconocimiento automático de hablantes, utilizada en Chile a través del programa computacional BATVOX, permiten una agilidad comparativa ante grandes cantidades de información a procesar, sin embargo aun se deben superar varios inconvenientes de dicha técnica. Por el momento resulta complicado predecir si algún día llegará a materializarse una automatización completa en el reconocimiento de voz en el ámbito forense.
- Uno de los grandes inconvenientes en el desarrollo de la acústica forense, especialmente en el reconocimiento de hablantes, es el elevado costo de los programas de reconocimiento automático como BATVOX de la empresa española AGNITIO. En Chile sólo la policía de investigaciones cuenta con dicho sistema instalado en la sección de sonido del LACRIM. Dicho programa computacional debería ser facilitado a universidades para realizar estudios conducentes a analizar sus reales alcances, limitaciones y posibles mejoras. Son las universidades las que pueden desarrollar estudios de tesis por parte de alumnos de pregrado, en especial los alumnos de las carreras relacionadas con el sonido y la acústica.
- Es preciso que a futuro se creen protocolos de investigación para así abordar de forma objetiva las investigaciones en acústica forense en sus distintas áreas de interés. También es necesario que tanto los peritos policiales como los no policiales, conozcan las normativas legales que regulan la actividad. Un manejo poco ético o direccionado por intereses o ideales arbitrarios podrían significar en la vulneración de los derechos fundamentales de una persona imputada por un delito.

14. BIBLIOGRAFÍA

1. Arango M, (2007). "Teoría de Micrófonos", Publicación perteneciente a la página web www.ingenieriadesonido.com.
2. Bernal, J., Bobadilla, J., Gómez, P. (2000) "Reconocimiento de Voz y Fonética Acústica". Editorial Rama, Madrid, España. ISBN 84-7897-398-2.
3. Bolt, R.H., Cooper, F.S., Green, D.M., Hamlet, S.L., Hogan, D.L., McKnight, J.G., Pickett, J.M., Tosi, O. y Undergood, B.D., (1979). "On the theory and practice of Voice Identification", Washington, DC, National Academy of Sciences.
4. Código Procesal Penal, Texto actualizado por la Academia Judicial de acuerdo con las leyes N° 19.762 (D.O. 13/10/2001); 19.789 (D.O. 30/1/2002); 19.806 (D.O. 31/05/2002); y 19.815 (D.O. 11/07/2002).
5. Delgado, C. (2001). "La identificación de locutores en el ámbito forense". Departamento de Comunicación y Publicidad II. Facultad de Ciencias de la Información. Universidad Complutense de Madrid. España. ISBN: 84-669-2185-0.
6. Delgado, C. (2004). "Comentarios sobre el contexto actual de la identificación forense de locutores". Comisaría General de Policía Científica. Dirección General de la Policía, Madrid. España.
7. Figueredo, E. y López, M. (1986). "Post-Título en los trastornos del habla, voz y lenguaje". Logopedia Tomo II. Facultad de Humanidades y Tecnologías de la Comunicación Social. Universidad Tecnológica Metropolitana.
8. Fletcher H., Munson W. (1933) "Loudness, It's Definition, Measurement and Calculation", JASA, Vol. 5 N° 2, pp. 82-108.
9. Ganong, W. (1978). "Manual de Fisiología Médica". Traducción al castellano, título original "Review of Medical Physiology" (1977). Editorial El Manual Moderno. Sexta Edición. ISBN 968-426-019-9.
10. Guerrero, L. (1996). "Anatomofisiología del aparato fonoarticulador, sus patologías y sugerencias de tratamiento". Tesis de Educación Diferencial. Universidad de los Lagos.
11. Herrera, F. (2003). "El laboratorio de Criminalística, su relación con el Procedimiento Penal y la Prueba Pericial". Memoria de Prueba, Escuela de Derecho. Universidad Austral de Chile.

12. Koval, S., Kaganov, A. y Khitrov, M., (2000). "The chart of the standard expert actions and decision-making principles of forensic speaker identification".
13. Koenig B.E., (1.986) "Spectrographic voice identification: a forensic survey". Journal of Acoustical Society of America, 79 :2088-2090.
14. Koval, S. y Krynov, S., (2000). "Practice of usage of spectral analysis for forensic speaker identification".
15. Lucena, J. (2004). "La Acústica Forense". Instituto Universitario de Investigación sobre Seguridad Interior. Madrid. España.
16. Marrero, V. (2004). "Fonética Perceptiva - ADDENDA". Departamento Lengua Española y Lingüística General. Facultad de Filología. Universidad Nacional de Educación a Distancia. España.
17. Ministerio de Justicia de Chile. Unidad Coordinadora de la Reforma Procesal Penal.
18. Miyara. F. (2000). "¿Ruido o Señal?. La otra información. En defensa del registro digital de ruido Urbano". Universidad Nacional de Rosario (UNR).
19. Ochoa, F. (2004) "Desafíos de la Acústica aplicada a la Criminalística en la Policía de Investigaciones de Chile". Sesión Técnica. VI Jornadas de Estudiantes de Ingeniería Acústica. INGEACUS 2004, Valdivia. Chile.
20. Piedrabuena G. (2004). "Orientaciones sobre el registro de llamadas telefónicas e interceptación telefónica". Fiscalía Nacional del Ministerio Público, Republica de Chile.
21. Poblete, J. (1984) "Manual de alta fidelidad y sonido profesional". Serie Mundo Electrónico. Editorial Marcombo. 2da. Edición. ISBN 84-267-0541-3.
22. Pollack I., Pickett J. (1957) "Cocktail Party Effects", JASA, Vol. 29, pp. 1262.
23. Rabiner, L.R., Schafer, R.W. (1978) "Digital Processing of Speech Signals". Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.
24. Rule 702, "Testimony by Experts". Federal Rules of Evidence. United State of America.
25. Sánchez, L.M. (2004) "Programación, aplicación y análisis de un reconocedor automático de palabras aisladas utilizando el Método Alineamiento Temporal Dinámico". Tesis Ingeniería Acústica. Escuela de Ingeniería Acústica, Universidad Austral de Chile.

26. Solzhenitsyn, A., (1968). ‘‘The first circle’’. Traducción del ruso al inglés por T. Whitney. Harper and Row. New York.
27. Tosi, O., Oyer, H., Lashbrook, W., Pedrey, C., Nicol, J. y Nash, E., (1.972) ‘‘Experiment on voice identification’’. Journal of Acoustical Society of America 51 , pp. 2030-2043.
28. Tosi, O., (1979). Voice Identification. Theory and legal applications.
29. WIKIPEDIA La Enciclopedia Libre.