



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

COMPARACIÓN DE DOS MÉTODOS DIFERENTES DE EVALUACIÓN DE
PÉRDIDA AUDITIVA: ACUMETRÍA Y AUDIOMETRÍA

Trabajo de Titulación presentado en conformidad con los requisitos
establecidos para optar por el título de Ingeniero de Sonido y Acústica

Profesor guía
Ing. Miguel Ángel Chávez Avilés

Autor
Juan Esteban Araque Valdez

Año
2016

DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA

“Declaro haber dirigido este trabajo a través de reuniones periódicas con el estudiante, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación”

Miguel Ángel Chávez Avilés

Ingeniero Acústico

C.I.: 1710724848

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

“Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondiente y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes.”

Juan Esteban Araque Valdez

C.I.: 171999907-8

AGRADECIMIENTOS

A mi madre por ser mi guía, a mi padre por ser mi amigo, a mi hermana por llenarme de vida y su incesante apoyo. A mi padrino Gerard; sin tu ayuda quizás estas líneas no hubiesen sido escritas. A mis maestros, amigos y todos quienes hicieron parte de este camino de aprendizaje e inolvidables experiencias.

DEDICATORIA

A Dios, por llenar mi vida de sosiego y paz, un día a la vez. A mi abuelita; su incondicional amor han sido el motor para sacar este proyecto adelante.

RESUMEN

El presente trabajo de Titulación tiene como principal objetivo la comparación de dos métodos distintos para realizar una evaluación auditiva. El primero de ellos: la acumetría; un método diseñado en 1855 por el otólogo alemán Adolf Rinne, y que en la actualidad ha quedado relegado y desplazado por diferentes métodos considerados de mayor precisión. El segundo método: la audiometría, utilizado ampliamente en la actualidad para evaluar la capacidad auditiva de las personas de forma cuantitativa.

La comparación entre ambos métodos está realizada en términos de precisión, tiempo de ejecución y costo; además se hace un análisis de las ventajas y desventajas que cada uno presenta.

Es así que se realizó las dos pruebas de forma consecutiva (tanto acumetría y audiometría) a un total de 72 personas de manera indistinta. En el proceso se recopiló datos de su edad, género, el tiempo de cada una de las pruebas y los resultados obtenidos.

Tras realizar el análisis de resultados correspondiente, se encontró que la acumetría no es un método capaz de reemplazar a una audiometría formal bajo ningún concepto y que debe ser usada únicamente como un examen exploratorio previo; sin embargo presenta varias ventajas a tomar en cuenta como son: bajo costo, alta precisión en pacientes sin afecciones del sistema auditivo, facilidad de transporte, entre otros.

Por otra parte, la principal ventaja de la audiometría es que los resultados obtenidos son de tipo cuantitativo, lo cual no deja lugar a incertidumbre como es el caso de la acumetría, y permite clasificar la audición del paciente dentro de rangos claramente definidos.

ABSTRACT

This paper's main objective is to compare two different methods of hearing test. The first one is called acumetry. It was designed by the German otologist Adolf Rinne in 1855, and nowadays, it has been relegated and displaced by different methods considered more accurate. The second method is called audiometry, which is widely used today in order to evaluate people's hearing quantitatively.

The comparison between these two methods is made in terms of precision, execution time and cost; besides, it has been done an analysis of the advantages and disadvantages that each one has.

Thus, the two tests (both acumetry and audiometry) took place consecutively to a total of 72 people. In the process, data of their age, gender, time of each test as well as the results was compiled.

After making the corresponding analysis results, it was found that acumetry cannot replace a formal audiometry and must be used only as a preliminary screening test; however, it offers several advantages to be considered, such as: low cost, high accuracy in healthy patients, high portability, among others.

On the other hand, the main advantage of audiometry is that the results are quantitative, which leaves no room for doubt as acumetry does; besides, it allows to classify the patient's hearing within clearly defined ranges.

ÍNDICE

Introducción	i
1. Marco Teórico	3
1.1 Sistema Auditivo	3
1.1.1. Sistema Auditivo Periférico	3
1.1.2. Sistema Auditivo Central	5
1.2. Pérdida de la audición	6
1.2.1. Clasificación cuantitativa	6
1.2.2. Clasificación topográfica	7
1.2.3. Causas frecuentes	7
1.2.4. Consecuencias y prevención	8
1.2.5. Tinnitus	9
1.3. El sonido	9
1.3.1. Propiedades del sonido	10
1.3.2. El decibel	11
1.3.3. Curvas de Fletcher y Munson	12
1.4. El ruido	12
1.4.1. Exposición máxima recomendada	13
1.4.2. Ruidos comunes y su equivalencia en dB	14
1.5. Pruebas de la audición	16
1.5.1. Impedanciometría	16
1.5.2. Emisiones otoacústicas	23
1.5.3. Potenciales auditivos evocados de tronco cerebral	25
1.5.4. Acumetría	27
1.5.5. Audiometría Tonal Liminar	33
2. Metodología	36
2.1. Acumetría	37
2.2. Audiometría	40
2.2.2. Método AMA	44

3. Análisis de resultados	46
3.1. Resultados de la acimetría	47
3.2. Resultados de la audiometría	48
3.3. Comparación global de los resultados	48
3.4. Casos Indeterminados	52
3.5. Comparación de resultados por grupos de edad.....	52
3.6. Tiempo de ejecución de ambos métodos	56
3.7. Análisis de agentes externos.....	57
3.8. Comparación de costos en el mercado actual	60
4. Análisis económico	63
4.1. Costos de la investigación.....	63
4.2. Costos de la investigación en el mercado actual.....	63
5. Conclusiones y recomendaciones	65
5.1. Conclusiones	65
5.2. Recomendaciones.....	67
Referencias.....	69
ANEXOS	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. El Oído humano: Oído externo, medio e interno.....	3
Figura 2. Curvas de Fletcher y Munson.	12
Figura 3. Tiempo máximo de exposición (en minutos) en función del nivel de exposición (en dBA).	14
Figura 4. Resultado de una timpanometría	17
Figura 5. Timpanograma Tipo A, Ad y As	18
Figura 6. Timpanograma tipo B con volumen normal del canal auditivo	19
Figura 7. Timpanograma tipo B con bajo volumen del canal auditivo	19
Figura 8. Timpanograma tipo B con alto volumen del canal auditivo	20
Figura 9. Timpanograma de curva amplia.....	21
Figura 10. Timpanograma tipo C (con presión negativa)	21
Figura 11. Timpanograma de presión positiva alta.....	22
Figura 12. Equipo utilizado para el examen de emisiones otoacústicas	24
Figura 13. Potenciales auditivos evocados de tronco cerebral - Paciente sano.....	26
Figura 14. Diapasones de 128, 256, 512, 1024 y 2048 Hz (izq. a der.) utilizados para las pruebas acumétricas.....	27
Figura 15. Audiograma y sus diferentes zonas	35
Figura 16. Diapasones utilizados. De izq. a der.: 512, 256 y 128 Hz	37
Figura 17. Ejecución prueba de Rinne	39
Figura 18. Ejecución prueba de Weber	40
Figura 19. Audiómetro MAICO MF7	40
Figura 20. Audiómetro MD Systems MD-4.....	42
Figura 21. Resultado audiometría clínica	43
Figura 22. Audiograma correspondiente a la tabla 3.....	43
Figura 23. Distribución gráfica de los participantes según su edad.....	46
Figura 24. Distribución gráfica de los participantes según género	46
Figura 25. Porcentajes de comparación de resultados para ambos oídos por frecuencia entre los dos métodos.....	51

Figura 26. Porcentajes de comparación de resultados entre los dos métodos según la edad de los participantes (promedio de las 3 frecuencias).....	54
Figura 27. Porcentajes de comparación de resultados entre ambos métodos según el género de los participantes (promedio de las tres frecuencias).	56
Figura 28. Porcentaje de pérdida global de la audición en función del tiempo de uso de audífonos semanal	58
Figura 29. Media del porcentaje de pérdida global en función de la exposición al ruido diaria	60

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Lista de sonidos comunes, su equivalencia en dB y potenciales efectos en el ser humano.....	15
Tabla 2. Signos utilizados en el audiograma	35
Tabla 3. Resultados de audiometría usando MAICO MF7	43
Tabla 4. Diferencia de valores de pérdida.....	44
Tabla 5. Distribución de las pruebas según edad y género.....	47
Tabla 6. Recuento de resultados de las acumetrías	48
Tabla 7. Recuento de resultados de audiometrías	48
Tabla 8. Comparación de resultados para el oído izquierdo en 125Hz y porcentajes por grupo	49
Tabla 9. Porcentajes globales en 125Hz.....	50
Tabla 10. Porcentajes de comparación de los resultados entre los dos métodos	51
Tabla 11. Resultado de la audiometría de casos "Indeterminados"	52
Tabla 12. Porcentajes de comparación de resultados entre los dos métodos según frecuencia y grupo de edad	52
Tabla 13. Promedio de las tres frecuencias según grupos de edad.....	53
Tabla 14. Porcentajes totales por género.....	55
Tabla 15. Porcentajes de comparación de resultados entre ambos métodos (promedio de las tres frecuencias) según el género de los participantes.....	55
Tabla 16. Tiempo de ejecución de las pruebas (en segundos)	56
Tabla 17. Pérdida global en función del uso de audífonos.....	58
Tabla 18. Tiempo de uso de audífonos en función de grupos de edad.....	58
Tabla 19. Pérdida global en función de la edad	59
Tabla 20. Pérdida global en función de la exposición diaria al ruido	59
Tabla 21. Exposición diaria al ruido en función de grupos de edad	60
Tabla 22. Costos audiometría clínica	61
Tabla 23. Precio de diferentes audiómetros profesionales.....	61
Tabla 24. Precio de diapasones de uso médico.....	61

Tabla 25. Comparación de costos promedio	62
Tabla 26. Costos de la investigación	63
Tabla 27. Análisis de costos en el Mercado actual.....	64

Introducción

Según la Organización Mundial de la Salud (2015), alrededor de 1100 millones de jóvenes en todo el mundo pueden estar en riesgo de sufrir pérdida de audición causada por prácticas auditivas perjudiciales y más de 43 millones de personas entre 12 y 35 años ya padecen de una pérdida auditiva incapacitante. Además, la OMS sugiere someterse a revisiones periódicas del estado de la audición para reconocer posibles daños de manera oportuna.

A la fecha se conocen cuatro métodos diferentes para realizar evaluaciones auditivas en una persona, las cuales se denominan: Impedanciometría, Evaluación de Emisiones Otoacústicas, Audiometría y Acumetría. (Bustos, L. 2001). Los dos últimos son parte de la comparación que se desarrolla en el presente proyecto.

Si bien la Audiometría y la Acumetría son métodos utilizados para la evaluación auditiva, es importante indicar que los elementos utilizados y la forma en que se obtienen los resultados son muy diferentes.

Justificación

No se han encontrado registros en el país de que se haya realizado anteriormente una comparación entre ambos métodos. La comparación desarrollada en esta tesis pretende establecer similitudes y diferencias entre los resultados obtenidos por medio de la Audiometría y la Acumetría e identificar las ventajas y desventajas que cada uno de los métodos tiene.

Objetivos:

Objetivo General:

Realizar una evaluación comparativa entre la acumetría y la audiometría, con el fin de identificar principalmente los beneficios y desventajas de ambos métodos.

Objetivos específicos:

- Identificar el método más eficiente en términos de costo, precisión y tiempo.
- Reconocer ventajas y desventajas entre los dos métodos estudiados.
- Conocer detalladamente la forma correcta de realizar ambos métodos.
- Determinar si la acumetría puede reemplazar a una audiometría formal.

1. Marco Teórico

1.1 Sistema Auditivo

Se conoce como sistema auditivo a la agrupación de órganos encargados de la captación de variaciones de presión de las ondas sonoras, la transformación de dichas variaciones en impulsos eléctricos y su transmisión al cerebro para la decodificación del mensaje recibido.

Para que el proceso de la audición sea llevado a cabo es necesaria la intervención de las dos partes que conforman el sistema auditivo: el periférico y el central.

1.1.1. Sistema Auditivo Periférico

De acuerdo con Maggiolo (2003), es la parte encargada de los procesos fisiológicos de la audición, es decir: la captación de las ondas sonoras y la transformación de las mismas en impulsos eléctricos, además de desempeñar un rol importante en el sentido del equilibrio.

Está compuesto básicamente por el oído, el cual se subdivide en 3 partes importantes:

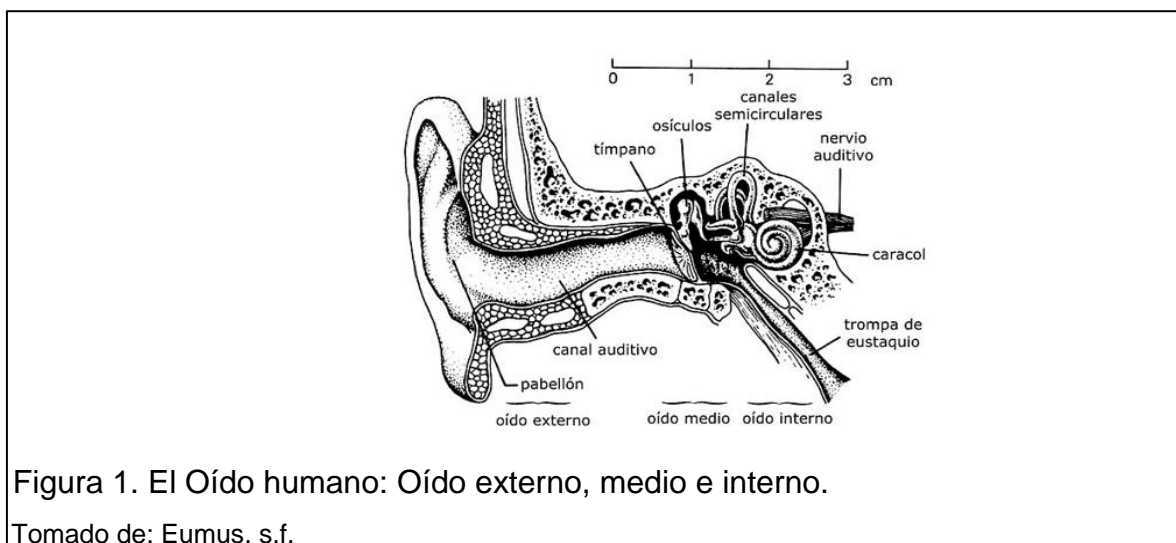


Figura 1. El Oído humano: Oído externo, medio e interno.

Tomado de: Eumus, s.f.

- **Oído externo:**

Su función radica esencialmente en la captación de ondas sonoras que recibe del ambiente y transmitirlo hacia el oído medio. Consta de dos partes: el pabellón auricular y el canal auditivo externo.

El pabellón auricular u oreja, es un cartílago elástico recubierto de piel que permite que el sonido sea captado de forma eficaz y orientado hacia el conducto auditivo externo, el cual es un tubo de 3 cm de largo aproximadamente, que llega a comunicarse con la membrana timpánica.

- **Oído medio:**

Encargado de convertir la energía acústica recibida en energía mecánica, que será amplificada y transmitida hacia el oído interno.

Se separa del oído externo gracias a la membrana timpánica o tímpano. A continuación se encuentra la caja timpánica que contiene a los huesecillos del oído (martillo, yunque, estribo) y sus respectivos músculos (tensor del tímpano y el stapedius), y a la trompa de Eustaquio, encargada de regular la presión dentro del oído medio así como protegerlo frente a cambios bruscos de presión.

- **Oído interno:**

Es aquí donde finalmente la energía acústica que ingresó por el oído externo es transformada a impulsos eléctricos.

Se compone de dos partes:

El sistema vestibular, donde se encuentra el vestíbulo y los tres canales semicirculares (anterior, posterior y lateral)

La cóclea (o laberinto anterior), llamado también caracol. En su interior se encuentra el “Órgano de Corti” que posee alrededor de 24 mil células ciliadas

encargadas de emitir estímulos eléctricos en función de vibraciones mecánicas recibidas.

Estas células son altamente sensibles y carecen de capacidad regeneradora, es por eso que si llegan a dañarse la audición de la persona se ve afectada de forma irreversible. Sin embargo, por mucho cuidado que una persona tenga, dichas células se van perdiendo de forma natural según la edad de la persona. Esta pérdida natural de la audición es conocida también como presbiacusia.

1.1.2. Sistema Auditivo Central

Es el encargado de procesar los impulsos eléctricos recibidos para asignar significado y dar interpretación a los sonidos.

Se compone de dos partes principales: los nervios auditivos (compuestos de alrededor de 30 mil neuronas) que transmiten los impulsos eléctricos al cerebro; y las zonas del cerebro dedicadas a la audición. Una vez que recibe la información del sonido, el cerebro lo compara con aquellos que tiene almacenado en la memoria para intentar identificarlos.

En caso de que la información no se corresponda directamente con la almacenada en la memoria, el cerebro procede a intentar asociarla a algún patrón similar. Si el cerebro no encuentra similitud alguna puede almacenar el nuevo patrón y compararlo en nuevas experiencias, o simplemente desechar la información recibida.

El cerebro puede realizar el procesamiento de la información que recibe en tres escalones diferenciados:

Primeramente busca identificar el lugar del que proviene el sonido, tomando en cuenta la escucha binaural de los humanos (recepción simultánea de dos señales diferentes de un mismo sonido).

Como un segundo proceso, analiza el sonido como tal y sus características tímbricas. Finalmente, el cerebro procede a determinar las propiedades temporales de los sonidos y la relevancia de cada uno. Además aquí se dan diversos procesos psicoacústicos (efecto Haas, entre otros) que pueden afectar la manera en la que el cerebro percibe e interpreta. (Facultad de Medicina de Universidad de La Frontera, 2007)

1.2. Pérdida de la audición

Hace referencia a una reducción importante en la sensibilidad a los sonidos que un ser humano normalmente puede escuchar. Constituye un problema de salud crónico recurrente y que puede afectar a personas de todas las edades y niveles socioeconómicos indistintamente; sin embargo, su incidencia es mayor cuando la edad de la persona aumenta.

Según datos del “Instituto Nacional de Sordera y Otros Desórdenes de la Comunicación” (NIDCD, por sus siglas en inglés) cerca del 30 al 35 por ciento de los adultos de entre 65 a 75 años de edad presentan un grado de pérdida de la audición, mientras que de un 40 a 50 por ciento de las personas con más de 75 años de edad padecen de algún nivel de pérdida de su audición.

Existen diversas formas de clasificar la pérdida de la audición, sin embargo entre las más comunes se encuentran las siguientes: clasificación cuantitativa y clasificación topográfica.

1.2.1. Clasificación cuantitativa

El Centro para el Control y la Prevención de Enfermedades (2014) establece 5 diferentes niveles en función del nivel de pérdida de audición de la persona. Estos niveles se miden en dB HL (del inglés *hearing loss*, o pérdida de la audición)

- Normoaudición: Condición en la que la persona no supera los 20dB HL dentro de la gama de frecuencias en las que oscila una conversación normal.
- Hipoacusia leve: Cuando el nivel de pérdida es mayor a las 20dB HL pero no supera los 40 dB HL dentro de las frecuencias mencionadas.
- Hipoacusia moderada: El rango de pérdida de la audición se encuentra entre 50 a 70 dB HL.
- Hipoacusia grave: Rango que va desde los 70 hasta los 90 dB HL.
- Hipoacusia profunda: Si la pérdida de la audición supera los 90 dB HL.

1.2.2. Clasificación topográfica

Ordena los tipos de pérdida de la audición en función de la parte del oído afectada, de la siguiente manera:

- Pérdida auditiva conductiva: Producida cuando existe algún impedimento que no permite el paso normal del oído externo al medio de las ondas sonoras. En la mayoría de los caso puede ser causado por infecciones, exceso de cerumen, daños en el tímpano, entre otros. Por lo general puede ser tratado con medicamentos o cirugías.
- Pérdida auditiva neurosensorial: Ocurre cuando existe algún daño en el oído interno o en el nervio auditivo. Puede ser provocado por la edad, traumatismos, medicamentos, entre otros.
- Pérdida auditiva mixta: Denominada así cuando la pérdida de la audición es el resultado de la combinación de las dos descritas anteriormente.

1.2.3. Causas frecuentes

Entre las causas más frecuentes de la pérdida de la audición se encuentre la exposición al ruido, el cual puede provenir de diversas fuentes: el entorno laboral, ruido de motores, exagerados niveles de presión sonora en conciertos o eventos, centros de diversión, o el uso inapropiado de audífonos, entre otros.

Otras causas comunes son infecciones virales, tumores, trastornos inmunológicos, e incluso medicamentos o insecticidas, entre otras. Éstas pueden causar una condición conocida como pérdida de audición súbita, que a pesar de haber sido diagnosticada por primera vez hace algo más de cien años, su tratamiento y causas definitivas aún son una interrogante en el mundo de la medicina mundial.

Cabe mencionar que, tarde o temprano y en mayor o menor grado, todos pierden su capacidad auditiva de forma natural a causa del envejecimiento. A esta condición se la conoce bajo el nombre de presbiacusia. Dicha pérdida generalmente afecta por igual a ambos oídos y especialmente en la percepción de los sonidos de alta frecuencia, por lo cual sonidos como “s” o “ch” se vuelven difíciles de distinguir o escuchar. Debido a que la afectación se produce de forma paulatina, en muchas ocasiones la persona no puede darse cuenta de que su audición está disminuyendo. (NIDCD, 1999).

1.2.4. Consecuencias y prevención

Las formas en que la pérdida de la audición afecta a una persona son muy diversas, especialmente cuando no es tratada, sin embargo se las puede clasificar en tres diferentes grupos:

- Psicológicas: Vergüenza, problemas de concentración, depresión, ansiedad, baja autoestima, y en algunos casos incluso paranoia.
- Físicas: Cefalea, vértigo, contracturas musculares, estrés, aumento de presión arterial, fatiga.
- Sociales: Aislamiento, falta de concentración, pérdida de atención, dificultad de relacionarse con la familia, amigos o en el trabajo, problemas de intimidad o sexuales.

Por otra parte, aunque el ruido esté presente en el diario vivir de la sociedad actual, es posible tomar ciertas medidas preventivas que

ayudarán a tener una mejor salud auditiva a largo plazo, como por ejemplo:

- Evitar permanecer expuesto a ruidos muy elevados por un tiempo prolongado.
- Utilizar tapones o protección auditiva adecuada en caso de que se requiera estar en este tipo de situaciones.
- Evitar el uso prolongado de audífonos a niveles altos de presión sonora.
- Adoptar hábitos de aseo saludables para el sistema auditivo.

1.2.5. Tinnitus

También conocido como acúfenos. Aunque no es propiamente un tipo de pérdida de la audición, si es una afectación seria a los oídos que se manifiesta generalmente como un pitido o zumbido que se puede escuchar en uno o en los dos oídos, y que no proviene de ninguna fuente externa sino que se genera dentro de la cabeza de quién lo padece. La gran mayoría de las personas han experimentado alguna vez en su vida este inconveniente después de haber permanecido expuestos a altos niveles de ruido, sin embargo después de unas horas la molestia cesa. El tinnitus se convierte realmente en un problema cuando se hace permanente e incluso limita a la persona en su capacidad de escuchar normalmente conversaciones o sonidos presentes en la vida diaria.

La causa más frecuente es la exposición prolongada a altos niveles de ruido, sin embargo, puede ser causado también por golpes fuertes en la cabeza, altas dosis de determinados fármacos, infecciones en el oído, entre otros. (Hain, 2012)

1.3. El sonido

Desde un punto de vista físico, el sonido es una vibración que se propaga en un medio elástico. Para la producción de un sonido es necesaria la existencia

de un cuerpo vibrante (el emisor del sonido) y un medio elástico que transmita las ondas sonoras (Miyara, 2002).

Los parámetros más importantes que describen la naturaleza de un sonido son: longitud de onda, periodo, frecuencia, amplitud y fase.

Por otra parte, la velocidad a la que viaje el sonido dependerá directamente del medio de transmisión y su temperatura. Por lo general se considera una velocidad de 340 m/s si el sonido viaja en el aire a una temperatura de 15°C.

Cuando se superponen múltiples ondas sonoras se da lugar a un sonido complejo o incluso un sonido musical que tendrá las siguientes cualidades o propiedades:

1.3.1. Propiedades del sonido

- **La altura:** Relacionada directamente con la frecuencia. Permite identificar si el sonido es grave (frecuencias bajas), medio o agudo (frecuencias altas). El valor de estas frecuencias debe estar comprendido entre los 20 hasta los 20000 Hz (hercios) para que sea audible por el ser humano.
- **La intensidad:** Hace referencia al volumen o fuerza con la que se percibe un sonido. Está vinculada directamente con la amplitud del sonido, sin embargo guarda relación con la frecuencia también. Esto se debe a que si dos sonidos son de igual frecuencia, aquel que tenga mayor amplitud se percibirá con mayor intensidad. Sin embargo, si se aumenta la frecuencia del sonido de menor amplitud se puede percibirlo como más sonoro. (Miyara, 2004, p.22).
- **El timbre:** Esta propiedad hace que sea posible diferenciar entre dos sonidos de igual frecuencia y/o amplitud que son emitidos por dos focos diferentes. Por ejemplo, el timbre permite identificar cuando un

sonido proviene de uno u otro instrumento musical o incluso la voz de una u otra persona.

- **La duración:** Hace referencia al intervalo temporal durante el cual el sonido se mantiene de manera continua (Elejalde, Franco, Janariz y Macho; 2003).

1.3.2. El decibel

El decibel (dB) es usado para medir niveles sonoros, aunque es ampliamente empleado también en la electrónica, señales y comunicación. Es una unidad relativa que establece una relación logarítmica entre la magnitud estudiada y una magnitud de referencia. Debido a esta relación logarítmica, las operaciones con decibeles deben ser realizadas de la misma manera. Es decir, que cuando un nivel sonoro tiene el doble de potencia que otro, solo será 3 dB mayor a éste debido a que la diferencia entre ambos mantiene la siguiente relación (Wolfe, 2005):

$$10 \log (P2/P1) = 10 \log 2 = 3 \text{ dB}; \quad \text{(Ecuación 1)}$$

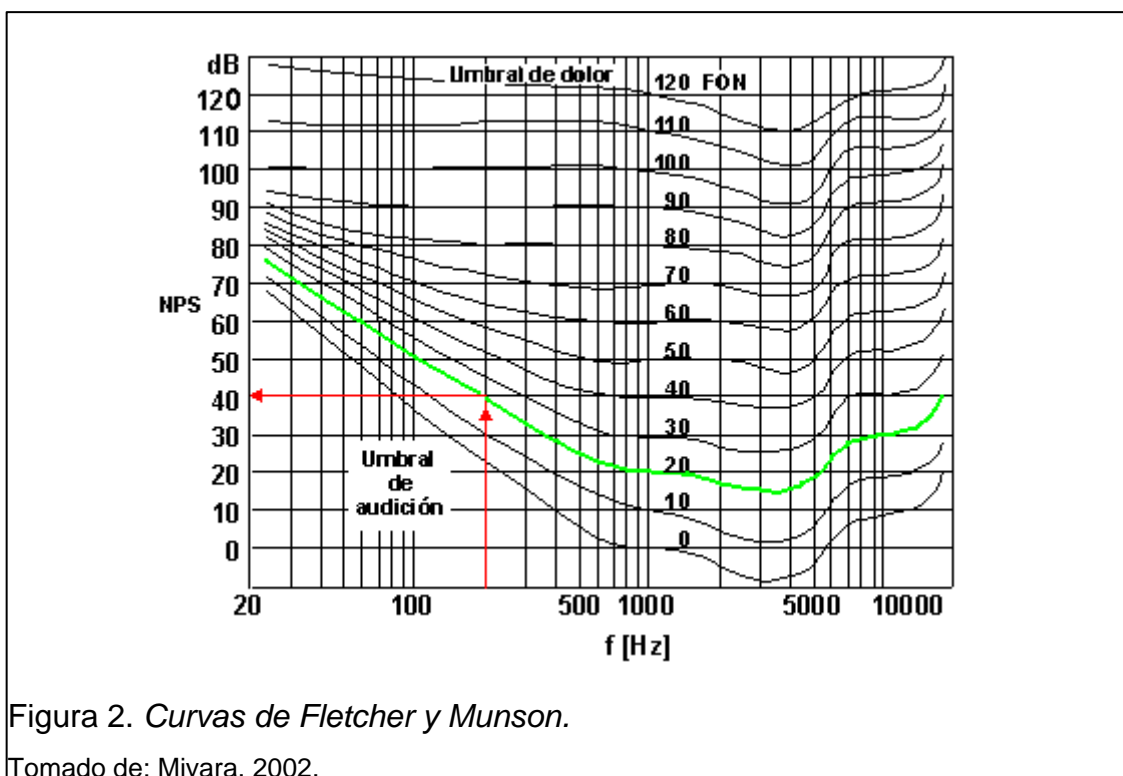
Dónde $P2=2P1$

Existe una amplia lista de variaciones del dB como son los siguientes: dBA, dBC, dBm, dBu, dBV, entre otros. Cada uno de ellos es utilizado aplicando diversas correcciones o a su vez estableciendo una diferente magnitud de referencia.

En lo que respecta a la audición humana, el más utilizado es el dBA. Esta escala aplica un filtro que simula la respuesta del oído humano y las variaciones de respuesta que éste tiene a las diversas frecuencias, especialmente a las muy altas o muy bajas. (Wolfe, 2005)

1.3.3. Curvas de Fletcher y Munson

También conocidas como curvas de igual nivel de sonoridad. Debido a que el oído humano no es igualmente sensible a todas las frecuencias, especialmente en la parte más alta y más baja del rango audible, ha sido necesario establecer un gráfico de curvas que detallan niveles de presión sonora de tonos puros de forma que éstos sean percibidos con igual sonoridad. Estas curvas fueron establecidas originalmente por Fletcher y Munson en 1933, con revisiones y modificaciones posteriores por otros autores (Truax, 1999).



1.4. El ruido

Tiene una gran variedad de significados, sin embargo los más importantes son los siguientes:

- **Sonido no deseado:** Es probablemente la definición más antigua y ampliamente aceptada, no obstante es muy subjetiva: los sonidos que

un individuo considera musicales podrían ser sonidos no deseados (ruido) para otro.

- **Sonido no musical:** En el siglo 19, el físico Hermann von Helmholtz empleó el término ruido para describir sonidos compuestos de vibraciones no periódicas; y diferenciarlos de los sonidos musicales que consisten en vibraciones periódicas.
- **Cualquier sonido muy fuerte:** Es la forma más usada del término “ruido” en la actualidad y hace referencia a aquellos sonidos fuertes capaces de generar molestia auditiva.
- **Perturbación en cualquier comunicación:** En el campo de la electrónica y la telecomunicación se utiliza el término “ruido” para referirse a cualquier alteración que no representa parte de la señal original.

1.4.1. Exposición máxima recomendada

De acuerdo con el Instituto Nacional de Salud y Seguridad Ocupacional (NIOSH, por sus siglas en inglés), la exposición al ruido debería ser controlado de modo que la exposición sea menor a la combinación del nivel de exposición “L” y la duración “t” (National Institute for Occupational Safety and Health [NIOSH], 1999, p.17)

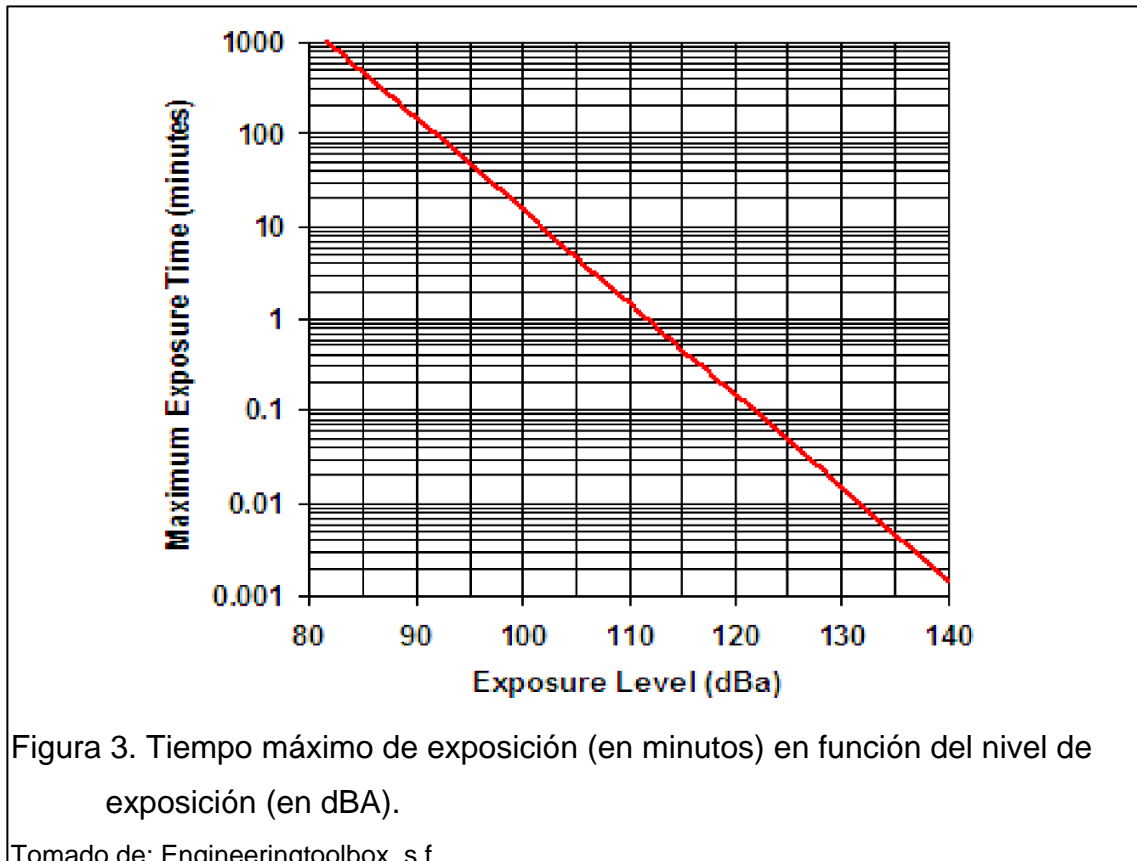
Además recomienda calcular el máximo tiempo de exposición de la siguiente forma:

$$t = 480 / 2(L - 85)/3 \quad \text{(Ecuación 2)}$$

Dónde: t = máximo tiempo de duración en segundos

L = nivel de exposición en dBA

En la siguiente figura es posible visualizar los máximos tiempos de exposición (en minutos) en relación al nivel de exposición en dBA:



1.4.2. Ruidos comunes y su equivalencia en dB

La siguiente tabla muestra en su primera columna algunos de los sonidos más comunes, así como su nivel en dB y el posible efecto que podría causar:

Tabla 1. Lista de sonidos comunes, su equivalencia en dB y potenciales efectos en el ser humano

Sonido	Nivel de Ruido (dB)	Efecto
Esteréo de alto sonido en automóviles	145	
Motores de avión (cerca)	140	
Disparo de escopeta	130	
Despegue de avión (100–200 pies)		
Conciertos de rock (varía)	110–140	Umbral del dolor empieza alrededor de 125 dB
Antorcha de oxígeno	121	
Discoteca/estéreo portátil	120	Umbral de la sensación empieza alrededor de 120 dB
Trueno (cerca)		
Equipos estereofónicos (más de 100 vatios)	110–125	
Orquesta sinfónica		
Sierra mecánica (motosierra)	110	La exposición regular al sonido de más de 100 dB por más de un minuto, puede provocar pérdida de audición permanente
Taladro neumático/martillo picador		
Moto de nieve	105	
Vuelo de avión Jet (1.000 ft.)	103	
Caldera eléctrica de área		
Camión de basura/Mezclador de cemento	100	No se recomienda más de 15 minutos de exposición sin protección para los sonidos entre 90–100 dB
Tractor agrícola	98	
Prensa de periódico	97	
Metro, motocicleta (25 ft.)	88	Muy molesto
Cortadora de césped, licuadora	85–90	
Vehículos recreativos, televisión	70–90	85 dB es el nivel en que se comienza a dañar la capacidad auditiva (8 horas)
Camión diesel (40 mph, 50 ft.)	84	
Tránsito de la ciudad		
Triturador de basur	80	Molesto; interfiere con la conversación; exposición constante puede causar daño
Lavadora	78	
Lavaplatos	75	
Aspiradora, secador de pelo	70	Molesto; interfiere con las conversaciones telefónicas
Conversación normal	50–65	
Oficina tranquila	50–60	Los niveles con capacidad auditiva cómodos son menos de 60 dB
Zumbido de refrigerador	40	
Susurro	30	Muy tranquilo
Estudio de difusión (TV y radio)	30	
Murmullo de hojas	20	Justo audible
Respiración normal	10	

Tomado de: Nidcd, s.f.

1.5. Pruebas de la audición

Una evaluación auditiva es un procedimiento que permite conocer el funcionamiento general de la audición de un individuo. Por medio de los diversos métodos es factible identificar si existe algún daño en el oído y la sección afectada, así como una posible solución tal como audífonos, cirugías, entre otros.

A continuación se describe algunos de los métodos de evaluación auditiva:

1.5.1. Impedanciometría

1.5.1.1. Descripción

Llamada también “timpanometría”. Permite conocer la rigidez de la membrana del tímpano, es decir el funcionamiento del oído medio. Se la realiza introduciendo una sonda suave en el canal auditivo, la cual aplica valores variables de presión y posteriormente registra los movimientos de la membrana timpánica en respuesta a los estímulos emitidos gracias a un diminuto micrófono incorporado en la sonda.

1.5.1.2. Información obtenida y consideraciones

Una vez finalizada la prueba, la información que se obtiene del “timpanómetro” es la siguiente:

- **Volumen estimado de aire frente a la sonda**

Es el “Volumen equivalente del canal auditivo” y está expresado en cm³. El rango normal depende de la edad del paciente.

- **Máxima compliancia (movilidad) del sistema auditivo medio (admisión estática)**

Se considera máxima a la movilidad de la membrana timpánica cuando la presión de aire es igual a ambos lados de ésta. La admisión estática

hace referencia a la mayor cantidad de energía acústica absorbida por el sistema auditivo medio.

- **Presión a la que el oído medio logra la mayor absorción de energía sonora, o movilidad.**

Conocida también como “presión máxima timpanométrica”. Este valor es una estimación de la presión existente en el oído medio y por lo general es alrededor de cero.

- **Ancho de la curva del timpanograma**

Es el gráfico que se obtiene de la prueba en el cual se trazan y calculan los parámetros anteriormente mencionados, indicando si el paciente está o no dentro de los límites normales dependiendo de su edad.

(Onusko, 2004, p.4)

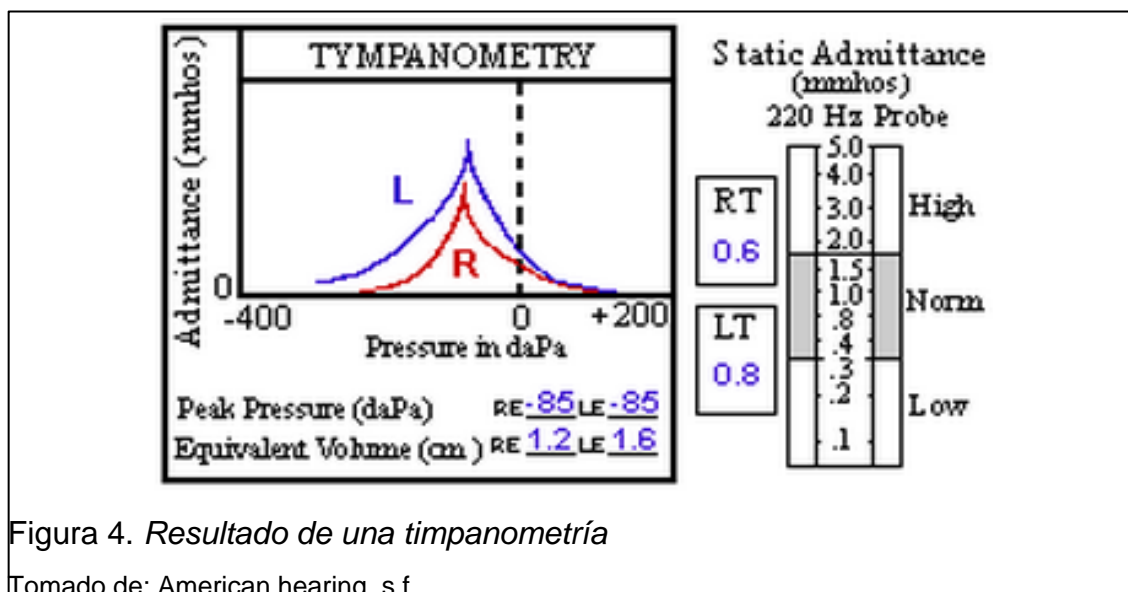


Figura 4. Resultado de una timpanometría

Tomado de: American hearing, s.f.

Esta prueba de la audición es principalmente útil para detectar la presencia de fluidos en el oído medio, el funcionamiento de la trompa de Eustaquio, presión negativa en el oído medio, posibles alteraciones en la cadena de huesecillos, perforación en la membrana timpánica e incluso otosclerosis, entre otros (Hain, 2012).

1.5.1.3. Resultados

Los resultados que se obtienen de este examen son muy variados, sin embargo, según Onusko (2004) los más frecuentes son los siguientes:

- **Tipo A:** Muestra un funcionamiento correcto del oído y que el volumen del canal auditivo es normal.
- **Tipo Ad:** Muestra un valor de pico más alto del normal, generalmente debido a un valor alto de admisión estática del oído, es decir una membrana timpánica que se mueve más de lo normal a causa de una discontinuidad en la cadena de huesecillos del oído medio o una membrana timpánica que está recuperándose tras una perforación y todavía es muy delgada.
- **Tipo As:** Su valor pico es menor al normal. Generalmente indica la presencia de fluido en el oído medio o una fijación de la cadena osicular; condiciones que generan una gran resistencia al paso del sonido.

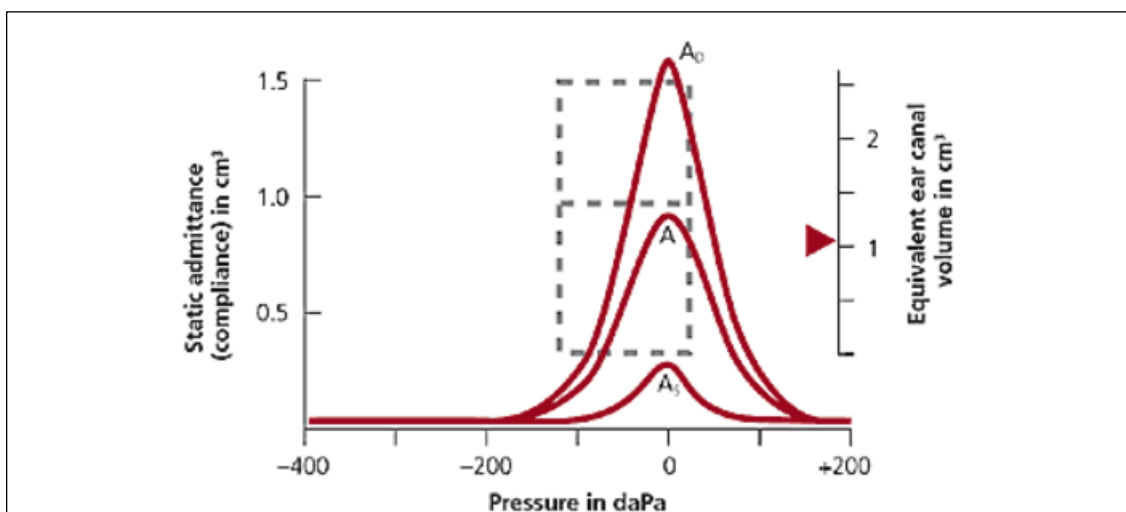
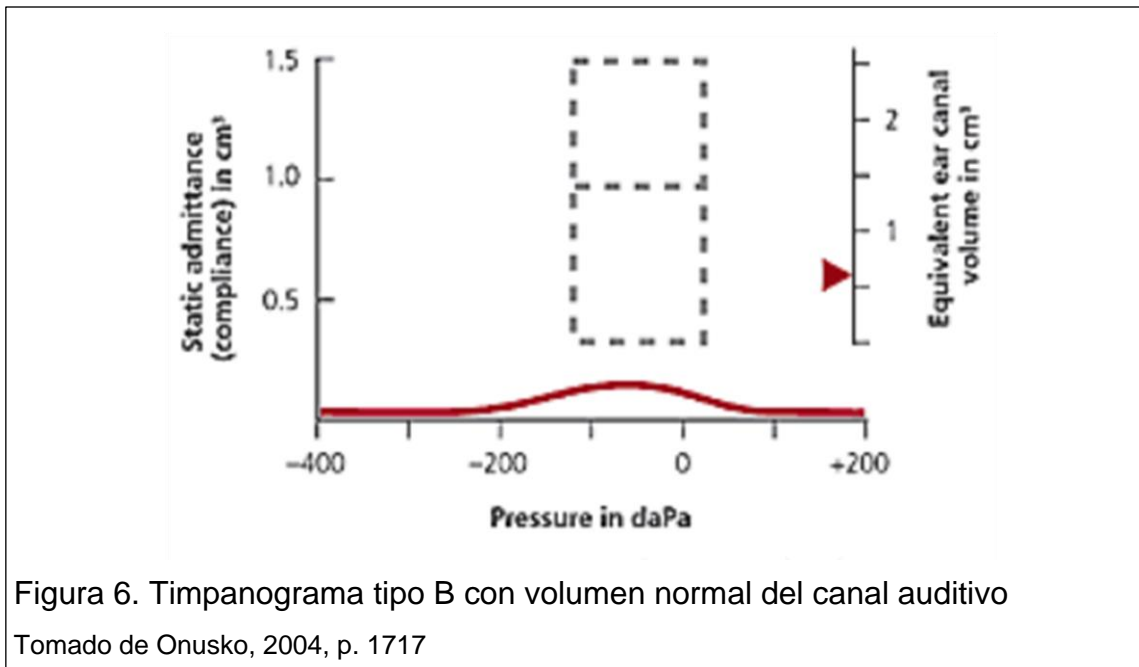


Figura 5. *Timpanograma Tipo A, Ad y As*

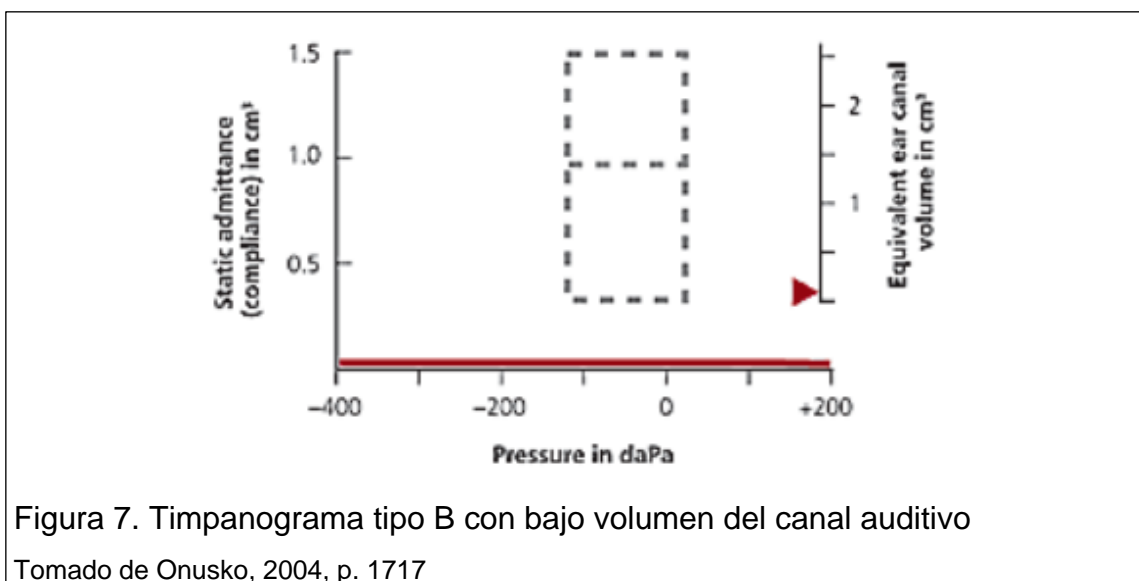
Tomado de: Onusko, 2004, p. 1716

- **Tipo B:** Con curva achatada. Muestra una admisión estática baja a pesar de que el volumen del canal auditivo es normal. Las causas más

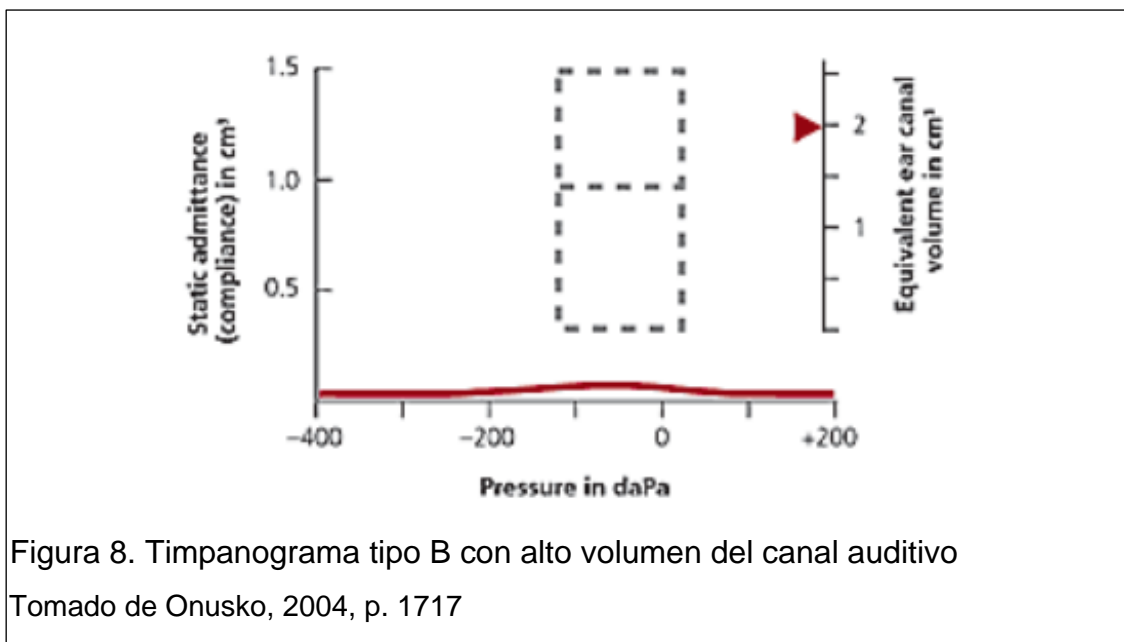
frecuentes de este resultado son: reducida movilidad de la membrana timpánica en cicatrización tras haber sufrido una perforación, otitis media con efusión (OME), timpanoesclerosis, o tumor en el oído medio.



- **Tipo B (Con trazo plano):** Indica un volumen del canal auditivo bajo que sugiere una oclusión parcial por acumulación de cerumen en el canal auditivo o una incorrecta colocación de la sonda.



- **Tipo B (Con alto volumen del canal auditivo):** Sugiere una perforación en la membrana timpánica. Esta condición permite que mayor energía acústica sea absorbida y por ende que se mida un mayor volumen en canal auditivo del normal.



- **Curva amplia:** La altura del pico se encuentra dentro del rango normal, no obstante la curva del timpanograma es notablemente más ancha que los casos antes descritos. Aunque este resultado puede sugerir una enfermedad del oído medio, la mayoría de autoridades médicas no consideran un diagnóstico que evidencie patologías del oído medio. Es posible que se genere este resultado cuando el paciente ha sido afectado recientemente por patologías como la otitis media con efusión o timpanoesclerosis, o como síntoma de las mismas.

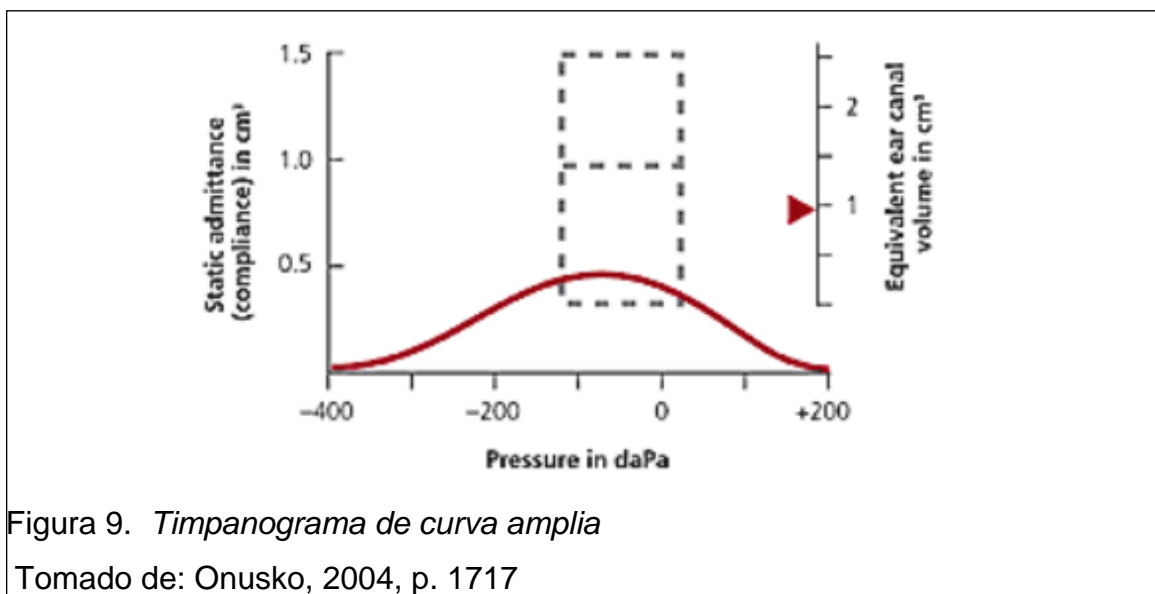


Figura 9. *Timpanograma de curva amplia*

Tomado de: Onusko, 2004, p. 1717

- **Tipo C:** Demuestra una presión negativa en el oído medio posiblemente causada por una membrana timpánica retraída. Otra causa de este resultado son las infecciones virales respiratorias, las cuales pueden deteriorar el normal funcionamiento de la trompa de Eustaquio e incluso derivar en otitis media aguda (AOM, por sus siglas en inglés). Si este tipo de curva se obtiene de un paciente con infección respiratoria pero que no presenta evidencia de AOM, señala un alto riesgo de padecer dicha enfermedad próximamente.

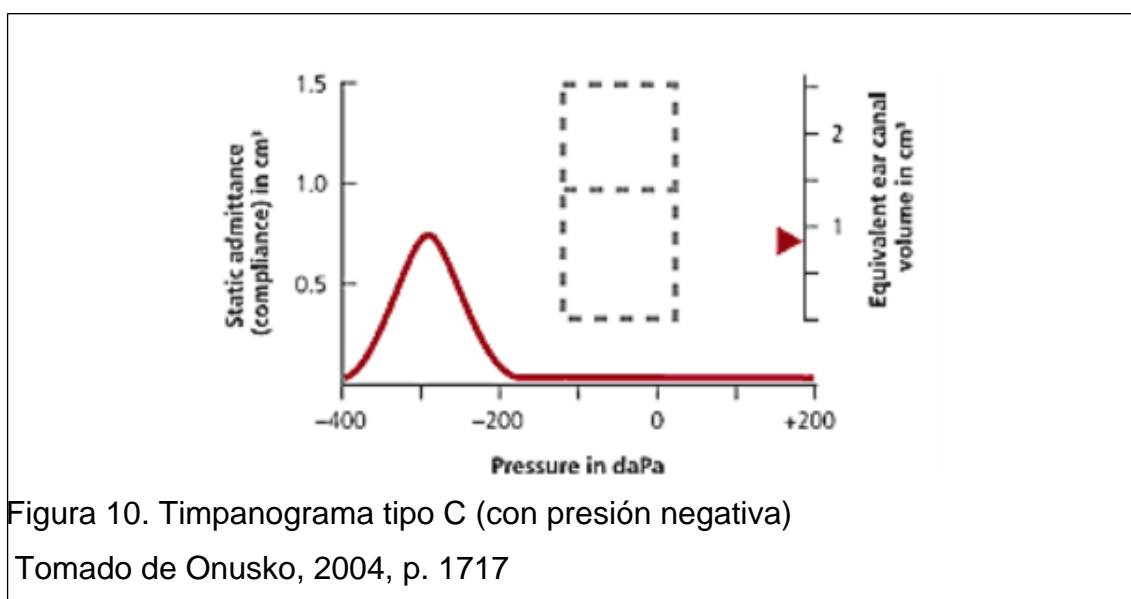


Figura 10. *Timpanograma tipo C (con presión negativa)*

Tomado de Onusko, 2004, p. 1717

- **Presión positiva:** Este trazo sugiere altos valores de presión positiva en el oído medio, generalmente causada por una membrana timpánica abultada que ocurre en pacientes que padecen otitis media aguda.

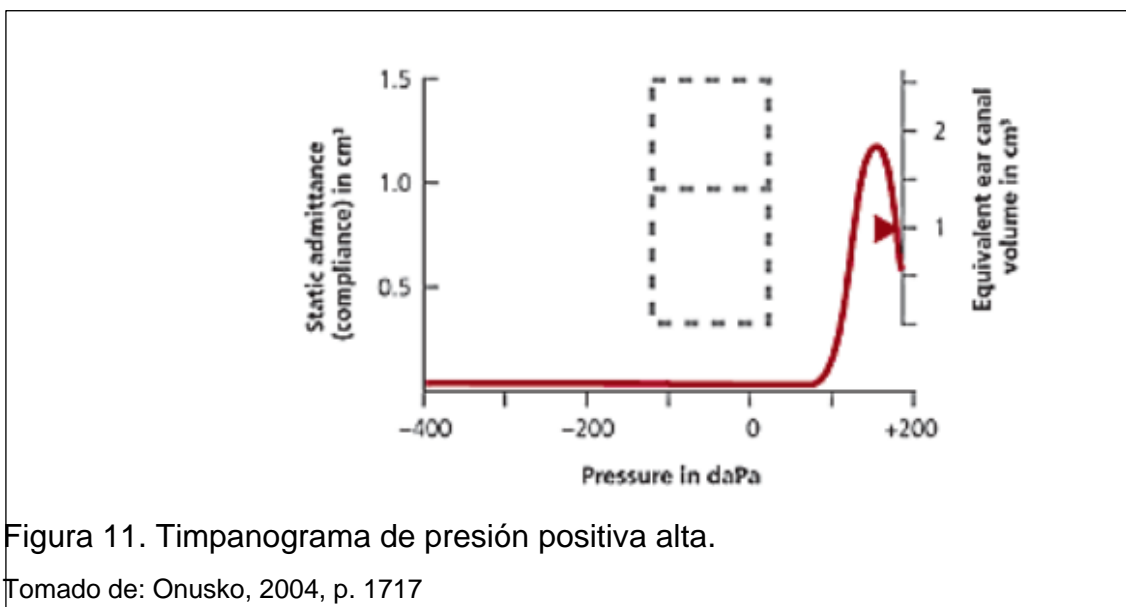


Figura 11. Timpanograma de presión positiva alta.

Tomado de: Onusko, 2004, p. 1717

Como información adicional es necesario mencionar que el timpanómetro es capaz de generar tres mensajes de error diferentes en caso de que esté siendo utilizado incorrectamente o que no sea posible procesar de forma adecuada los datos.

El primero es el mensaje de “Bloqueado”: cuando el volumen del conducto auditivo es muy bajo, lo que señala que la punta de la sonda no ha sido insertada de manera apropiada o que el canal se encuentra obstruido por la presencia de cerumen.

El mensaje “Abierto”: advierte un valor muy alto del volumen del conducto auditivo equivalente. Esto puede ser causado ya sea porque la punta de la sonda está sellada de modo inadecuado o ser síntoma de una membrana timpánica perforada.

El último mensaje “Fuga”: evidencia que el dispositivo no ha sido capaz de generar las presiones necesarias en el canal auditivo que puede ser causado, al igual que el anterior caso, por un sello inadecuado de la punta de la sonda igualmente.

1.5.2. Emisiones otoacústicas

1.5.2.1. Descripción

Son sonidos de origen coclear; producidos particularmente por las células ciliadas externas en respuesta a estimulación auditiva. Son estos sonidos los que se evaluarán clínicamente para elaborar un adecuado diagnóstico del paciente.

Este examen permite conocer el estado de la cóclea de una forma eficiente y no invasiva. Es altamente utilizado para evaluar la salud auditiva en recién nacidos, ya que no requiere la colaboración del paciente (Bustos, 2001).

La evaluación es realizada introduciendo en el canal auditivo una pequeña sonda que contiene un altavoz y un micrófono. Posteriormente se emiten tonos leves desde el altavoz, los cuales viajan a través del oído medio y estimulan los cilios de la cóclea. Estas células ciliadas responden a la estimulación generando su propio sonido, el cual es captado por el diminuto micrófono de la sonda.

En caso de que exista pérdida auditiva los cilios de la cóclea no serán capaces de generar dichos sonidos o lo harán de forma anormal (Hain, 2012).



Figura 12. Equipo utilizado para el examen de emisiones otoacústicas

Tomado de: Medicaexpo, s.f.

1.5.2.2. Información obtenida y consideraciones

Por otra parte, si bien la evaluación de emisiones otoacústicas es relativamente sencilla, hay algunas pautas que se deben tomar en cuenta para su correcta realización:

- Realizar la prueba en un ambiente silencioso; se sugiere un nivel de ruido de fondo menor a 40dB.
- Verificar que la sonda encaje bien en el canal auditivo de forma que ayude a bloquear el ingreso de ruido externo.
- El movimiento del paciente no generará ruido de rozamiento con el cable de la sonda, pero se sugiere evitar movimientos de mandíbula, vocalizaciones, ya que pueden generar ruidos en el canal auditivo.
- Examinar que el canal auditivo del paciente se encuentre libre de obstrucciones (cerumen, fluidos) que puedan causar fallos en la grabación de las emisiones otoacústicas.

Cabe mencionar que esta prueba es muy útil para diferenciar correctamente el diagnóstico audiológico, así como para evaluar y controlar efectos del tratamiento sobre un paciente e incluso para la selección correcta de audífonos.

1.5.2.3. Resultados

Además, las emisiones otoacústicas suelen mantenerse estables con el tiempo, lo que permite monitorear minuciosamente cambios en la cóclea o el oído medio.

Los valores obtenidos al evaluar las emisiones otoacústicas varían de forma drástica incluso entre dos pacientes completamente sanos, sin embargo, los resultados del oído izquierdo y derecho de una misma persona deberían ser similares; caso contrario indicaría la existencia de una patología. (Hain, 2012)

1.5.3. Potenciales auditivos evocados de tronco cerebral

1.5.3.1. Descripción

Al igual que las emisiones otoacústicas, es un examen no invasivo que no requiere la colaboración del paciente, lo cual lo hace ideal para el estudio de hipoacusia en pacientes neonatos, niños pequeños, o pacientes con enfermedades mentales que por su condición no podrían colaborar con alguna otra forma de examinar su audición. Sin embargo, por ser más extenso y complejo, la mayoría de los casos requiere sedación (Bustos, 2001).

Para la ejecución de la prueba se coloca electrodos (pequeños discos metálicos) usualmente en el vértice craneal (punto medio de la parte superior del cráneo) y en el lóbulo de cada oreja; así como un audífono en el canal auditivo.

1.5.3.2. Información obtenida y consideraciones

A continuación se emiten estímulos auditivos tipo “click” (de corta duración y alta intensidad 70-90dB) e inmediatamente comienza la recolección de datos que genera en respuesta el cerebro. Estos datos son clasificados según su

latencia e intensidad y graficados como 7 formas de onda por el sistema; aunque cabe recalcar que son las 5 primeras las más constantes y que tras su análisis se puede inferir el estado del oído (Bhattacharyya, 2015)

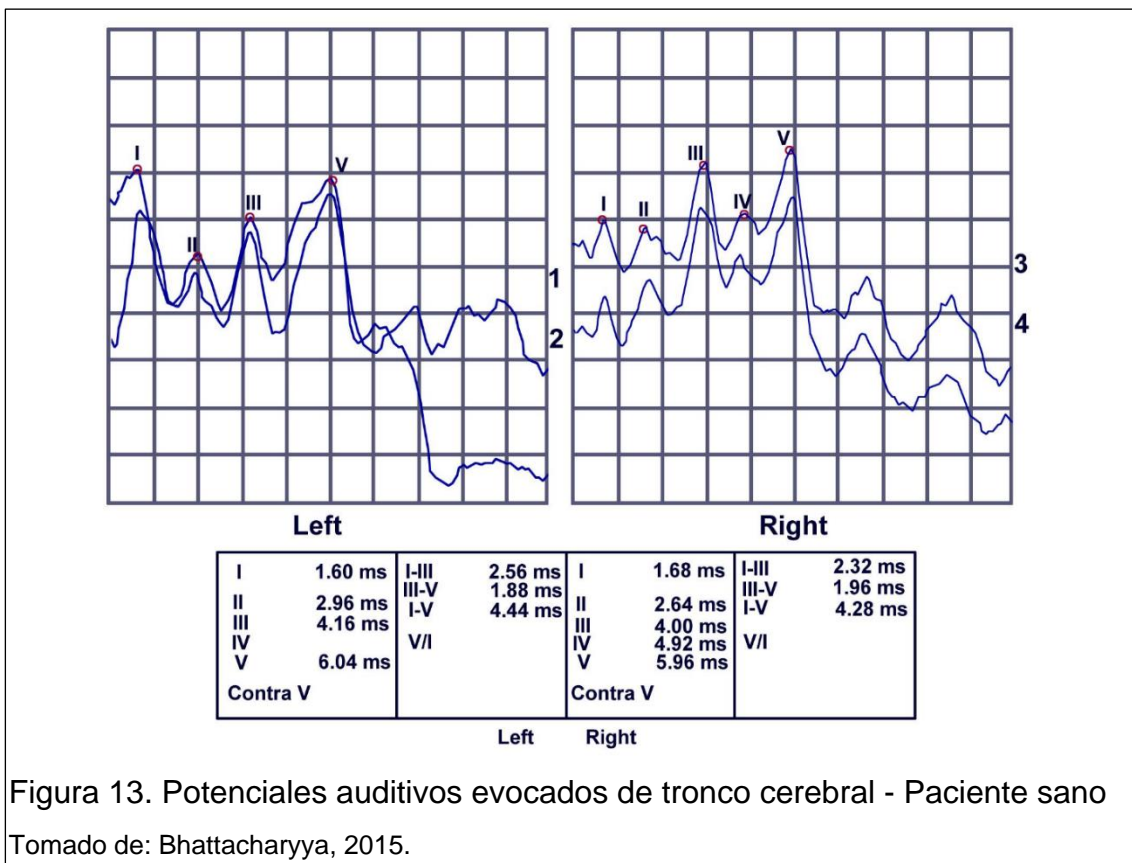


Figura 13. Potenciales auditivos evocados de tronco cerebral - Paciente sano
Tomado de: Bhattacharyya, 2015.

Estas señales son recibidas y grabadas desde ± 2 ms hasta ± 10 ms después de que se emitió el estímulo auditivo.

1.5.3.3. Resultados

A partir del gráfico y los tiempos de latencia obtenidos en cada una de las formas de onda es posible empezar a elaborar diferentes diagnósticos.

Por ejemplo, un tiempo de latencia superior a 2ms para la onda I sugiere hipoacusia de conducción. Así también, si el tiempo entre el pico de la onda I y la onda V es mayor a 4ms es posible que haya un obstáculo en el nervio auditivo (neurinoma) u otras enfermedades degenerativas.

Este examen además permite conocer el umbral auditivo, que será el menor estímulo auditivo con el que se logra que aparezca la onda V; no obstante la ausencia total de ondas no señala ausencia de audición ya que este examen no considera las frecuencias graves. (Bhattacharyya, 2015)

1.5.4. Acumetría

1.5.4.1. Descripción

Es un conjunto de pruebas llevadas a cabo mediante el uso de diapasones; los cuales son aparatos metálicos capaces de generar un tono puro tras ser golpeados y empezar a vibrar. Dependiendo del tamaño y grosor del diapasón, éste emitirá una frecuencia diferente que puede ir desde los 128 hasta los 2048 Hercios. Sin embargo, los diapasones más usados son los de 128, 256 y 512.

Debido a que estos instrumentos son indispensables para la ejecución de estas pruebas, son conocidas también como “pruebas de/con diapasones”. (Trinidad, 2014)

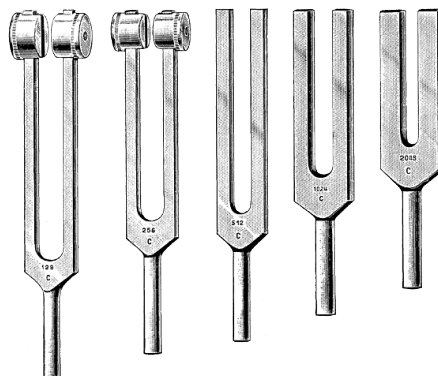


Figura 14. Diapasones de 128, 256, 512, 1024 y 2048 Hz (izq. a der.) utilizados para las pruebas acumétricas.

Tomado de: Laftansurgica, s.f.

Las dos técnicas más usadas y que permanecen vigentes son las siguientes:

- **Test de Rinne:** Nombrado así en honor al otólogo alemán Heinrich Adolf Rinne, quién estableció esta prueba en 1855.

Permite evaluar y comparar la audición por vía aérea y por vía ósea del paciente, en cada oído separadamente.

Se empieza por golpear de modo ligero al diapasón y enseguida se lo coloca en la apófisis mastoides (vía ósea). Se solicita al paciente que indique el momento en el que deja de percibir el tono que emite el diapasón, y de forma inmediata se procede a mover el diapasón y ubicarlo a aproximadamente 1 centímetro del canal auditivo del mismo oído (vía aérea).

Si el paciente señala que continúa escuchando el sonido por vía aérea, se puede inferir que su audición es normal en ese oído; y se conoce este resultado bajo el nombre de “Rinne positivo”.

Cabe mencionar que esta respuesta también puede presentarse en pacientes con hipoacusia sensorio neural (daño en el oído interno, cóclea o estructuras asociadas); condición que hace a la persona escuchar mejor por vía aérea.

Por otra parte, si el paciente no es capaz de escuchar el sonido una vez que se ha acercado el diapasón a su canal auditivo, es posible diagnosticar una hipoacusia conductiva, es decir que existe alguna anomalía en la transmisión del sonido causada por la presencia de fluido en el oído medio, fijaciones de la cadena de huesecillos, perforación timpánica, acumulación de cerumen, entre otros.

En caso de que el paciente presente una hipoacusia mixta (combinación de hipoacusia conductiva y sensorio neural), el resultado variará dependiendo de la situación específica de la persona, y se requerirá mayores estudios (Bustos, 2001).

- **Test de Weber:** Este test permite identificar si la pérdida auditiva del paciente, en caso de padecerla, es de tipo conductiva (daño en el oído medio) o sensorio neural (afectación del oído interno). Es muy útil y

recomendada cuando la hipoacusia se presenta de forma unilateral, es decir, el paciente reporta afectación auditiva solo en uno de sus oídos. La prueba debe su nombre al médico alemán Ernst Heinrich Weber. Al igual que el test de Rinne, es necesario el uso de diapasones para su ejecución.

Se procede a golpear ligeramente el diapasón, se lo coloca en la mitad de la frente del paciente, o en la parte superior media de la cabeza y se pide al paciente que identifique en cuál de los dos oídos escucha más fuerte el sonido.

1.5.4.2. Información obtenida y consideraciones

De acuerdo a De la Torre (2013), es importante tener en cuenta las siguientes consideraciones respecto al test de Weber:

- Es mucho más útil cuando el paciente puede identificar en cuál de los dos oídos padece la (mayor) pérdida auditiva. No obstante, no puede confirmar audición normal ya que no mide la sensibilidad al sonido de una forma cuantitativa.
- En términos generales, si el paciente escucha de igual manera el diapasón por ambos oídos se puede considerar una audición normal (o en su defecto, que la pérdida auditiva ha afectado por igual a ambos oídos).
- Si el paciente escucha mejor el diapasón por el oído que considera afectado, entonces se puede deducir que su pérdida es de tipo conductiva. Sin embargo, si el paciente escucha mejor por su oído normal o sano, indica que la pérdida auditiva en su oído afectado es de tipo sensorio neural.
- En caso de que el paciente desconozca o se haya acostumbrado a su pérdida auditiva, una prueba de Weber anormal solo permitiría saber, en teoría, que existe pérdida auditiva de tipo conductiva en el oído que escucha mejor, o a su vez, que su afectación es de tipo

sensorio neural en el oído por el que no puede escuchar igual de fuerte.

- Debido a que la prueba de Weber, en la gran mayoría de los casos es ejecutada junto con la prueba de Rinne, es posible realizar mejores diagnósticos si se los analiza en conjunto. Es así que en caso de que el oído al que “lateraliza Weber” (el oído en el que se escucha más fuerte al diapason) tenga un resultado de Rinne positivo (mejor transmisión por vía aérea que ósea), generalmente indica que no existe pérdida auditiva conductiva en ese oído, pero que la afectación puede ser de tipo sensorio neural en el otro oído. Sin embargo, si el oído al que lateraliza Weber, tiene un resultado negativo en Rinne (mejor conducción ósea que aérea) podría confirmar pérdida auditiva conductiva en ese oído.
- En caso de que el oído al que lateraliza Weber tenga Rinne positivo, y el otro oído tenga Rinne negativo, se puede concluir que el oído con Rinne negativo presenta pérdida de ambos tipos.

De la misma forma, De la Torre (2013) menciona consideraciones importantes relacionadas al test de Rinne:

- Permite conocer de forma rápida si la pérdida auditiva del paciente es de tipo conductiva o de tipo sensorio neural.
- Es importante que el paciente indique en cuál de los dos oídos padece la pérdida auditiva, ya que así es posible determinar el tipo de pérdida en ese oído.
- Si el paciente escucha mejor por vía ósea (BC) que por vía aérea (AC) en el oído que manifiesta como afectado, entonces se concluye que su afectación es de tipo conductiva (oído medio).
- Por el contrario, si en su oído afectado escucha mejor por vía aérea que por vía ósea, se señala que su pérdida es de tipo sensorio neural (daño en el oído interno).

- Es importante recalcar que para ambos test es necesaria la colaboración del paciente, y es ideal que indique con certeza el oído en el que siente la afectación auditiva.
- Las dos pruebas no pueden confirmar totalmente una audición normal, o en su defecto, descartar una pérdida auditiva. Esto sucede especialmente en casos como la presbiacusia, ya que el paciente tiende a perder la audición de forma simétrica, lo cual daría resultados aparentemente normales en ambos tests.
- A pesar de que con los test se puede establecer una idea clara de la localización del daño auditivo, no pueden funcionar como un reemplazo de una audiometría formal ni de análisis más completos y especializados del oído y las estructuras que lo componen.

1.5.4.3. Resultados

- **Test de Rinne**

Los resultados deberán indicar la frecuencia evaluada, la vía por la que el paciente escucha mejor y el oído evaluado, como los ejemplos que se muestra a continuación:

Rinne 125 Hz	A/C > B/C	AU
Rinne 125 Hz	A/C > B/C	AS
Rinne 250 Hz	A/C = B/C	
Rinne 1K Hz	B/C > A/C	AD

Donde A/C es “vía aérea”; B/C es “vía ósea”; AU es “ambos oídos”; AS es “oído izquierdo y AD es “oído derecho”.

El primer ejemplo describe un paciente que escucha la frecuencia de 125Hz mejor por “vía aérea” en “ambos oídos” (audición normal).

El segundo ejemplo muestra un paciente que también escucha mejor por “vía aérea” pero solamente en su oído izquierdo, de lo que se puede inferir una afectación de tipo conductiva en su oído derecho.

El tercer caso describe a un paciente que no ha sido capaz de identificar por cual vía escucha mejor el sonido. Este resultado podría sugerir una hipoacusia mixta (daño en oído medio e interno); sin embargo, será necesario aplicar estudios más profundos.

El último ejemplo muestra un paciente que escucha mejor la frecuencia de 1000Hz por vía ósea en su oído derecho. A este resultado se lo conoce como Rinne negativo.

- **Test de Weber**

En caso de que la audición del paciente sea normal, reportará que puede percibir el sonido igualmente por ambos oídos. Cuando se obtiene este resultado se dice que “Weber no lateraliza”.

En un paciente con patología auditiva se pueden dar dos casos diferentes: Si reporta que escucha más fuerte al diapasón por su oído defectuoso, se deduce que su hipoacusia es de tipo conductiva. Esto se debe a que dicho oído, al recibir únicamente el sonido por vía ósea y no por vía aérea, hará que el paciente perciba como más fuerte la señal en ese oído. Sin embargo, en caso de que escuchase mejor por su oído normal, es posible concluir que la pérdida auditiva en su oído afectado es de tipo sensorio neural.

Cuando la hipoacusia es bilateral los resultados son particularmente proclives al error.

1.5.5. Audiometría Tonal Liminar

1.5.5.1. Descripción

Es una prueba audiológica utilizada para evaluar de forma cualitativa y cuantitativa el estado de la audición de una persona, por dos vías distintas: vía aérea y ósea.

Para su ejecución es necesario el uso de un audiómetro, el cual es un equipo electrónico que por medio de sus auriculares integrados emitirá tonos puros, para las frecuencias desde 125 Hz hasta los 8000 Hz y así evaluar el umbral auditivo del paciente por vía aérea, es decir el mínimo nivel en decibeles que el paciente es capaz de percibir.

Por otra parte, para la evaluación por vía ósea se utiliza un vibrador óseo incorporado también en el audiómetro. Antes de iniciar el examen es necesario ajustar firmemente dicho vibrador en la apófisis mastoides del oído a evaluar. Es importante que éste no llegue a tocar la oreja ni esté sobre el cabello del paciente. Una vez hecho esto, se empieza a evaluar las frecuencias desde 500 Hz hasta los 4000 Hz.

La prueba, ya sea por vía aérea u ósea, se la hace de forma monoaural (un oído a la vez) empezando por el oído que el paciente reporta con mejor audición. Se sugiere empezar probando con la frecuencia de 1000 Hz e ir escalando hasta llegar a los 8000 Hz, para posteriormente evaluar desde los 500 hasta los 125 Hz.

1.5.5.2. Información obtenida y consideraciones

La duración de los estímulos emitidos debería variar entre 1 a 3 segundos; no obstante, es mandatorio que el evaluador se asegure que el tiempo de cada tono no sea predecible sino que varíe de forma aleatoria entre los tiempos recomendados.

La mayoría de audiómetros cuenta con un botón que el paciente deberá accionar si ha escuchado un sonido y deberá liberarlo tan pronto como deje de oír la señal. Dado que se intenta conocer el menor nivel sonoro que el paciente es capaz de escuchar, se sugiere comunicar a la persona que permanezca lo más quieto que le sea posible y en completo silencio. En caso de que el audiómetro no cuente con dicho botón, es menester pedir al paciente que comunique al evaluador cuando escuche el sonido por medio de una señal convencional (ej. levantando su mano) y que la retire una vez que ya no escuche el sonido (ej. bajar nuevamente la mano).

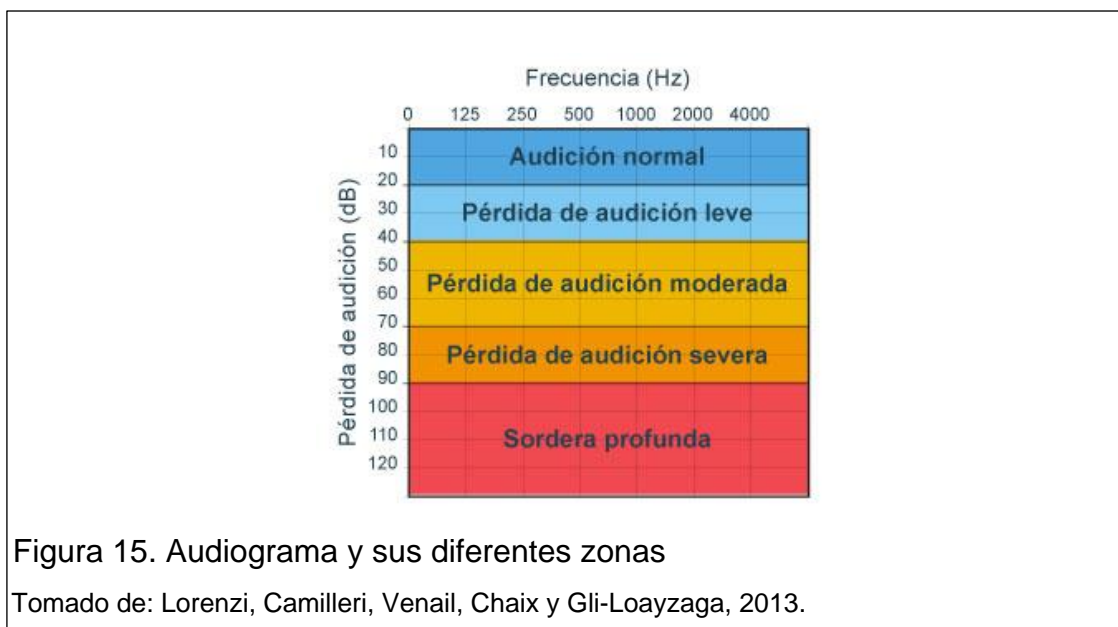
Para la evaluación por vía ósea hay que hacer énfasis en que el paciente comunique también por cuál de sus dos oídos ha percibido la señal, dado que si solamente la ha escuchado por el oído contrario al que se está evaluando, se podría sospechar daños auditivos en el oído interno evaluado. Por esta razón es altamente recomendable hacer uso de sonidos de enmascaramiento en el oído contralateral, de manera que el paciente pueda percibir el sonido únicamente por el oído de interés.

Además, para la evaluación por vía aérea, basta con que el paciente comunique cuando ha escuchado el sonido.

1.5.5.3. Resultados

Los resultados pueden ser directamente transmitidos a un computador capaz de graficar un audiograma o se lo puede elaborar de forma manual. El audiograma es un gráfico de dos ejes; el eje "Y" determina los dB HL (los decibeles de pérdida auditiva), mientras que el eje "X" determina la frecuencia de la pérdida. Es decir, muestra el umbral auditivo del paciente para cada una de las frecuencias evaluadas en cada oído de forma independiente, tanto por vía aérea como ósea.

Valores de hasta 20 dB HL son considerados como audición normal, mientras que niveles mayores implican ya una pérdida audición que puede ir desde leve, moderada, severa hasta sordera profunda.



Si ambas pruebas han sido realizadas (por vía ósea y aérea), es factible elaborar un solo audiograma que muestre todos los resultados obtenidos, utilizando color azul para los trazos del oído izquierdo y color rojo para los que correspondan al oído derecho. La forma y signos en la que el audiograma debe ser representado están normados por la "British Society of Audiology" (Sociedad de Audiología Británica) y son los siguientes:

Tabla 2. Signos utilizados en el audiograma

Descripción	Oído Derecho	Oído Izquierdo
Vía aérea	○	×
Vía ósea	⌊	⌋

Tomado de: British Society of Audiology, 2011

Es importante señalar que la evaluación por vía ósea no es igualmente utilizada que la que realizada por vía aérea. Es así, que incluso se suele considerar bajo el nombre de audiometría solamente a la prueba realizada por medio de los auriculares del audiómetro.

2. Metodología

La investigación ha sido desarrollada por medio del método comparativo, el cual marca la pauta para la elaboración correcta de la comparación entre dos objetos de estudio diferentes; en este caso la audiometría y la acumetría.

A pesar de que ambos son métodos de evaluación auditiva, arrojan resultados de forma distinta y son realizados con instrumentos y procedimientos muy diferentes. Es por esta razón que el objetivo de la presente investigación es establecer ventajas y desventajas de cada uno de ellos; principalmente en términos de costo, el tiempo requerido así como la información obtenida y su confiabilidad.

En la realización de las pruebas participaron un total de 72 personas. A cada uno de estos participantes se le realizó tanto la audiometría como las dos pruebas correspondientes a la acumetría. Además, de forma previa a las pruebas, se les solicitó información sobre el entorno tales como: estado de su audición, exposición diaria al ruido, tiempo de uso de audífonos/semana, así como información personal como su edad y género. Dicha información fue registrada de forma individual en una hoja de papel preparada con anterioridad para el efecto y que será útil para obtener datos adicionales sobre los pacientes. La encuesta sirvió además como filtro para descartar a cualquier paciente que pudiese haber tenido un trauma acústico o craneal, ya que esta condición habría afectado directamente en los resultados obtenidos del participante.

En este apartado se presentará únicamente el proceso y equipos utilizados para la realización de las evaluaciones; para posteriormente hacer un análisis de los resultados y la comparación de los mismos.

2.1. Acumetría

Las pruebas con los diapasones han sido ejecutadas tomando en cuenta los estándares recomendados por la British Society of Audiology (1987, p. 229) quienes sugieren realizar siempre las dos pruebas (Weber y Rinne) de manera conjunta ya que trabajan complementariamente. Además recomienda que se utilice al menos el diapasón de 512 Hz; e idealmente los 3 diapasones (128, 256 y 512 Hz) tal como se ha hecho en la presente investigación.



Figura 16. Diapasones utilizados. De izq. a der.: 512, 256 y 128 Hz

Los diapasones utilizados son un producto de la “American Diagnostic Corporation”, y están certificados para el uso clínico en las pruebas de Rinne y Weber.

Asimismo, se sugiere realizar las pruebas en un cuarto “moderamente silencioso” y hacer una interrogación previa al paciente pidiéndole que describa su audición. No se establecen niveles máximos de ruido de fondo para el cuarto de pruebas.

La totalidad de las pruebas fue realizada en la sala “AcusLab” ubicada en el subsuelo 1 de la Universidad de las Américas, campus Granados; la cual resultó ideal para el objetivo, debido a su bajo ruido de fondo.

Por otra parte, para la excitación de los diapasones (vibración) se los golpeó contra el codo del evaluador (BSA, 1987, p. 229)

2.1.1. Prueba de Rinne

Para la ejecución de las pruebas de Rinne se siguió el proceso que se muestra a continuación (BSA, 1987, p. 229-230).

- Explicar brevemente al participante la prueba que se le realizará y pedir que por medio de una señal (levantar la mano) indique cuando deje de escuchar el sonido del diapasón.
- Para registrar el tiempo de evaluación usando un cronómetro, se lo activa justo un momento antes de tomar el diapasón y empezar la prueba propiamente dicha.
- El evaluador sujeta el diapasón de 128 Hz por su extremo inferior con sus dedos índice y pulgar y procede a golpearlo firmemente contra su codo para ponerlo en vibración.
- Inmediatamente se coloca la punta inferior del diapasón contra la apófisis mastoides del participante, y se pide que levante su mano el momento en que deje de escuchar al diapasón.
- Una vez que el paciente ha levantado la mano, se procede a mover el diapasón hacia su conducto auditivo externo (a ± 0.02 m de distancia) y se solicita que indique si puede seguir escuchándolo o no.
- Repetir el proceso con los diapasones de 256 y 512 Hz.
- Pausar el cronómetro y registrar los datos obtenidos en la hoja de datos preparada para el participante.

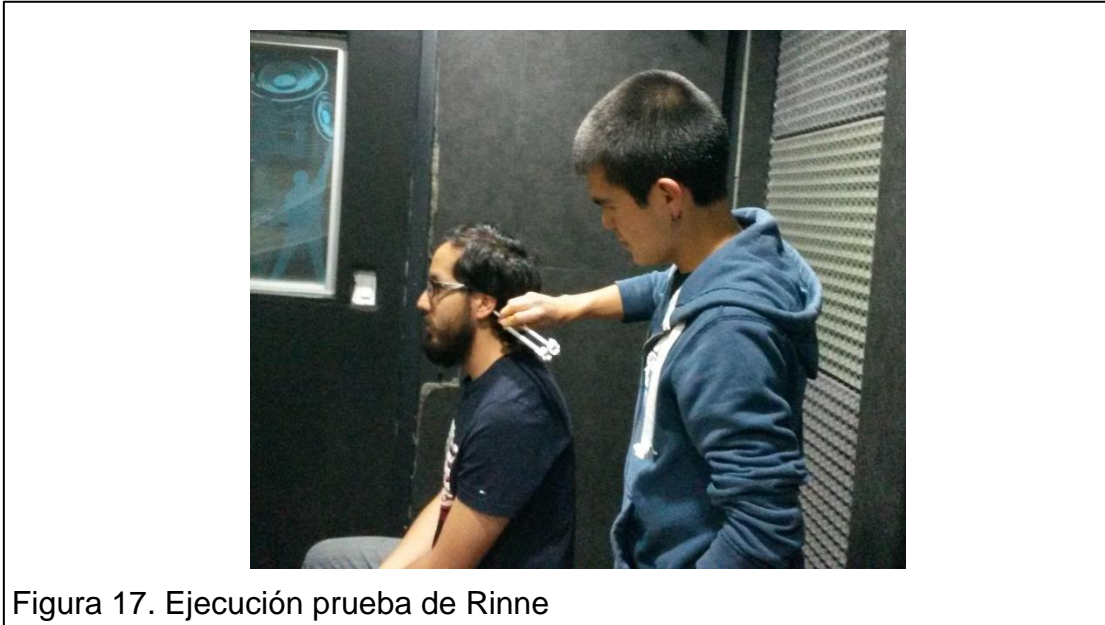


Figura 17. Ejecución prueba de Rinne

2.1.2. Prueba de Weber

Las pruebas de Weber fueron ejecutados siguiendo el siguiente procedimiento (BSA, 1987, p. 229-230)

- Explicar brevemente al participante la prueba que se le realizará.
- Activar nuevamente el cronómetro para que continúe registrando a partir del tiempo en el que se lo pausó anteriormente.
- El evaluador sujeta el diapasón de 128 Hz por su extremo inferior con sus dedos índice y pulgar y procede a golpearlo firmemente contra su codo para ponerlo en vibración.
- Colocar la punta inferior del diapasón contra la parte superior media de la cabeza del paciente y solicitar que indique cuando deje de escucharlo.
- Una vez que el participante ha manifestado que ya no escucha el diapasón, consultar si lo escuchó al centro (en ambos oídos por igual) o en su defecto, en que oído lo escuchó más fuerte.
- Repetir el proceso con los diapasones de 256 y 512 Hz.
- Detener el cronómetro y registrar los datos temporales (el tiempo total empleado para las dos pruebas), así como los resultados de la prueba.



Figura 18. Ejecución prueba de Weber

2.2. Audiometría

Para la ejecución de las audiometrías se utilizó el equipo MAICO MF7:



Figura 19. . Audiómetro MAICO MF7

Tomado de: Nuevos Anuncios, s.f.

El audiómetro fue utilizado con: Audífonos circunaurales profesionales, Nivel de los estímulos de 0 a 100 dB, Frecuencias de los estímulos: 125 a 8000 Hz (bandas de octava), Graduación mínima de la intensidad del estímulo: 5 dB

Para la ejecución de las audiometrías se empleó el siguiente procedimiento (BSA, 2011, p. 7-9):

- Solicitar al participante que tome asiento cómodamente, de preferencia de espaldas al evaluador y el audiómetro, y que se retire cualquier objeto que pueda dificultar el correcto uso de los audífonos (gafas, gorras, bufandas, entre otros)
- Explicar brevemente al paciente los sonidos que escuchará y solicitar que levante la mano cada vez que escuche un sonido, por muy bajo que sea el nivel al que lo percibe. Además, comentar que se empezará evaluando su oído derecho y que será oportunamente informado cuando se comience la evaluación de su oído izquierdo.
- Colocar los audífonos al participante de forma que queden cómodos pero firmemente ubicados.
- Arrancar el cronómetro justo un momento antes de emitir el primer estímulo.
- Emitir el primer estímulo hacia su oído derecho en la frecuencia de 1000 Hz a 20 dB, tal como lo recomienda la British Society of Audiology. Mantener el estímulo por un tiempo variable entre 1 a 3 segundos.
- Si el paciente informa que puede escuchar, disminuir el nivel 10 dB cada vez hasta que no sea capaz de percibir la señal. Cuando no escuche el sonido, comenzar a subir el nivel en 5dB cada vez hasta obtener nuevamente una respuesta.
- Registrar los datos de la primera frecuencia en un audiograma impreso preparado previamente para el paciente.
- Repetir el proceso para las frecuencias restantes en el orden siguiente: 2000, 4000, 8000, 125, 250 y 500 Hz.
- Al terminar la evaluación del oído derecho, informar al paciente que se comenzará la evaluación de su oído izquierdo.
- Repetir el proceso realizado, comenzando de igual manera en 1000 Hz a 20 dB.

- Detener el cronómetro y registrar los datos temporales junto al audiograma del participante.

2.2.1. Validación de las audiometrías realizadas

Con el propósito de validar los resultados de las audiometrías realizadas en la presente investigación con el audiómetro MAICO MF-7, se realizó una evaluación clínica, a cargo de un profesional de la salud, a uno de los participantes.

La audiometría fue realizada en la clínica especializada, el día 21 de diciembre del 2015.

En la audiometría clínica se utilizó el audiómetro MD-4 de MD Systems y se evaluaron las siguientes frecuencias: 250, 500, 1000, 2000, 3000, 4000, 6000 y 8000 Hz.



A continuación se muestra el resultado obtenido en la audiometría clínica:

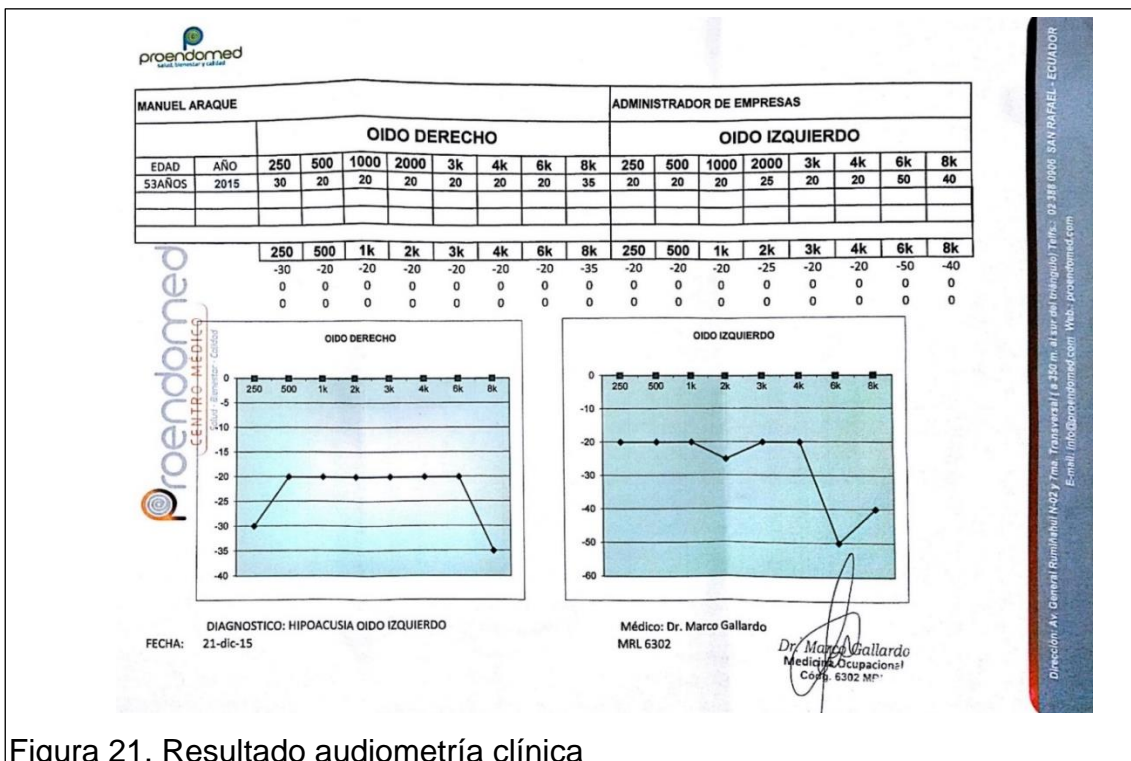


Figura 21. Resultado audiometría clínica

Paralelamente, el resultado obtenido con el audiómetro MAICO MF-7 para el mismo participante fue el siguiente:

Tabla 3. Resultados de audiometría usando MAICO MF7

	OÍDO DERECHO							OÍDO IZQUIERDO						
Frecuencia [Hz]	125	250	500	1K	2K	4K	8K	125	250	500	1K	2K	4K	8K
dB HL	30	30	15	15	15	20	30	25	20	20	15	20	20	35

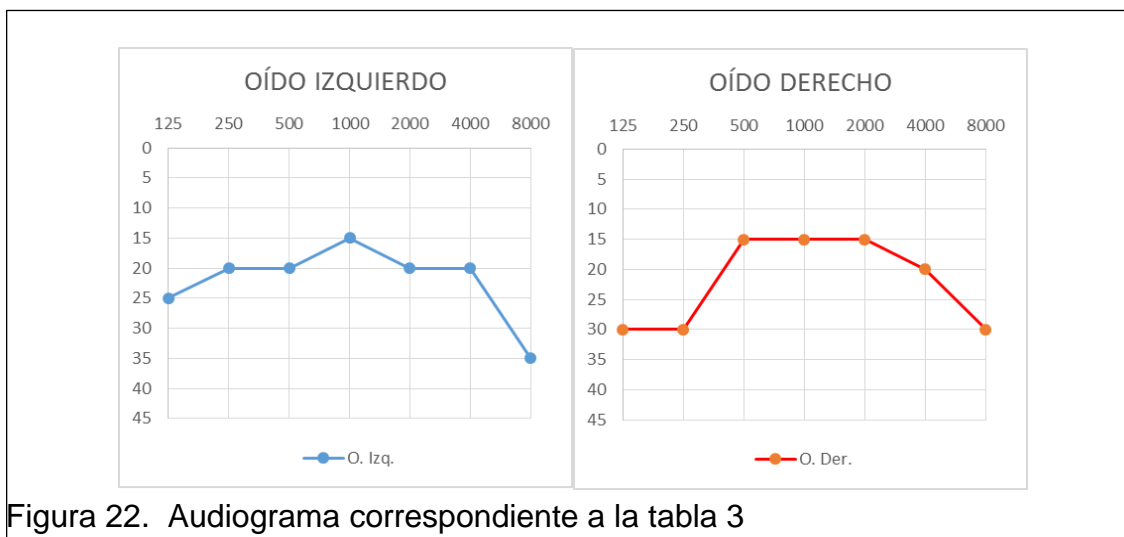


Figura 22. Audiograma correspondiente a la tabla 3

Al comparar los resultados de ambas pruebas es posible observar como primera diferencia importante que la frecuencia de 125 Hz no fue evaluada en la prueba clínica. Por otra parte, la diferencia existente de los valores de pérdida para las demás frecuencias entre ambas pruebas se expresa en la tabla 4:

Tabla 4. Diferencia de valores de pérdida

Frecuencia [Hz]	Diferencia [dB]	
	O. Izq.	O. Der.
250	0	0
500	0	5
1000	5	5
2000	5	5
4000	0	0
8000	5	5

Nota: La tabla 4 muestra el resultado de la resta aritmética del valor de pérdida obtenido en la audiometría clínica menos el valor obtenido en la audiometría con el equipo MAICO MF7.

Como se observa en la tabla 4, las diferencias entre ambas pruebas no llegan a superar los 5dB en ninguno de los casos. Estas diferencias se consideran aceptables teniendo en cuenta que tanto la audiometría clínica como la audiometría de la investigación fueron realizadas con una resolución máxima de 5dB; por ende no era posible que las diferencias fuesen menores a la resolución de los equipos.

Además, considerando que las pruebas fueron realizadas en días diferentes e incluso horarios diferentes, se puede considerar totalmente normal estas ligeras variaciones. Por ese motivo se decidió no realizar ningún ajuste en las demás pruebas hechas para la investigación. Se concluye que los resultados obtenidos en la prueba audiométrica fueron positivos para el avance de la investigación ya que efectivamente reforzaron los datos logrados en la misma.

2.2.2. Método AMA

Como se ha mencionado anteriormente, una audiometría evalúa la capacidad auditiva de una persona y cuantifica los resultados en decibeles de forma

individual para cada frecuencia y por cada oído. Si bien esto la convierte en una prueba muy completa, por su propia naturaleza, sus resultados no hacen posible cuantificar de forma concreta y comprensible el grado de pérdida auditiva que pudiera tener una persona (en caso de que exista).

El método A.M.A. ha sido diseñado para poder transformar el resultado completo de la audiometría (ambos oídos; frecuencia por frecuencia), en un solo número que representa el porcentaje global de pérdida de una persona; y que en la presente investigación ha sido aplicado a los resultados obtenidos a través del audiómetro MAICO MF-7 para establecer una relación entre la pérdida global de la audición de los participantes y factores externos (uso de audífonos, exposición al ruido, entre otros) que pudieron haber influenciado directamente a la misma.

Lo que se hace es reemplazar cada uno de los valores de pérdida en dB por un coeficiente dado por una tabla que el método establece. Una vez hecho esto se hace una sumatoria de dichos coeficientes para obtener un porcentaje de pérdida de cada oído, y finalmente se procede a reemplazar estos valores en la fórmula descrita a continuación, para obtener el porcentaje global de pérdida auditiva (A.M.A., 1979):

$$\text{Pérdida global \%} = [7(\% \text{pérdida mejor oído}) + 1(\% \text{pérdida peor oído})] / 8 \quad \textbf{(Ecuación 3)}$$

3. Análisis de resultados

Se ha tomado como patrón de comparación a la audiometría debido a que es el método más vigente y ampliamente conocido en la actualidad. Además, el audiómetro entrega resultados de forma numérica (cuantitativos), mientras que la acumetría lo hace de forma cualitativa.

Las pruebas fueron realizadas a un total de 72 personas distribuidas, según su edad y género, de la siguiente forma:

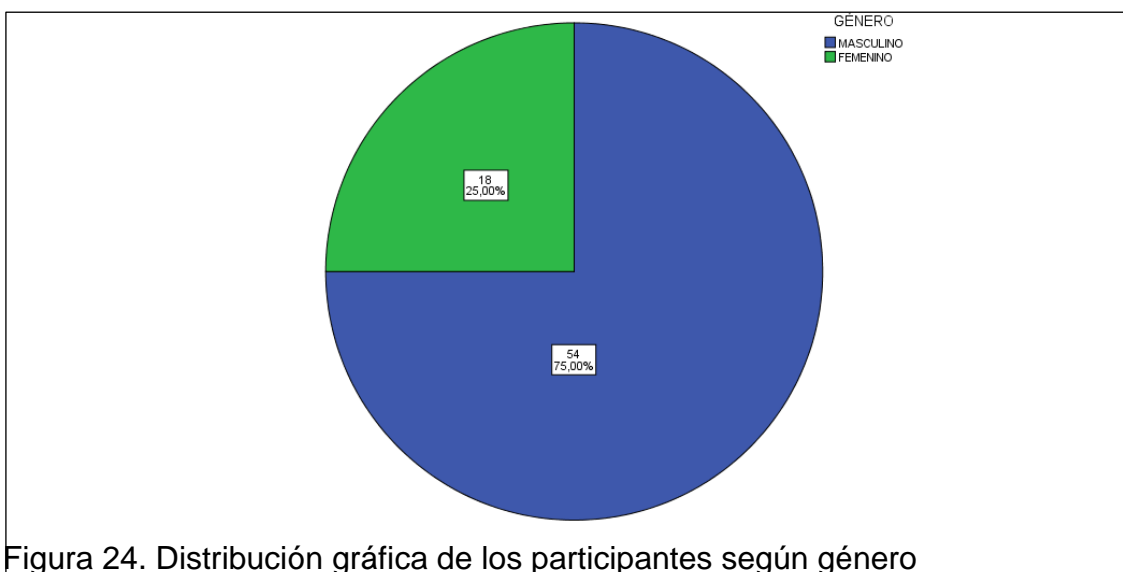
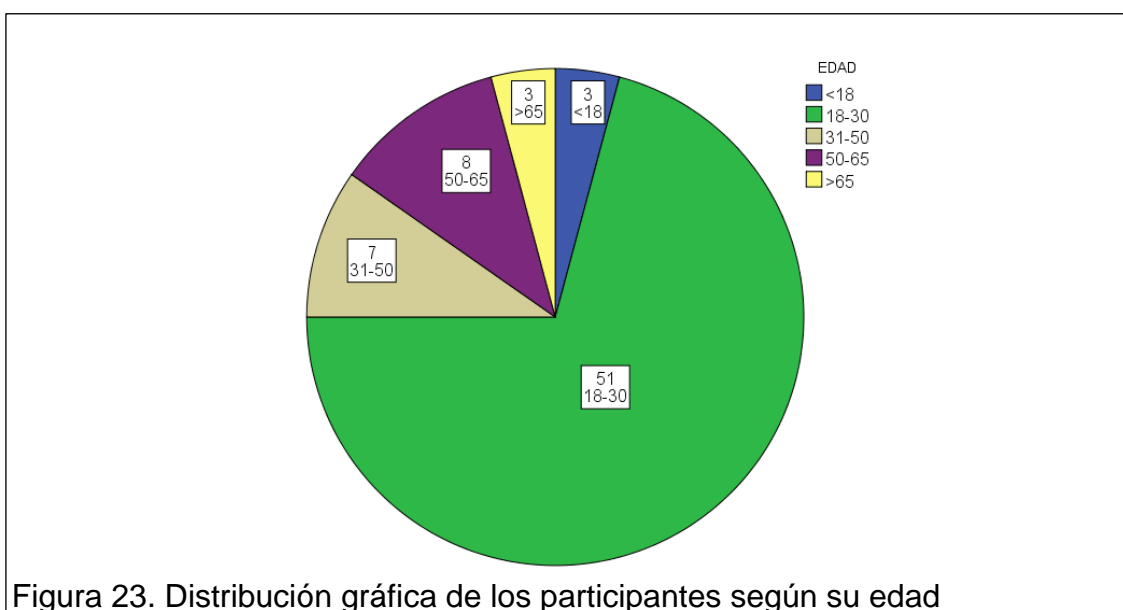


Tabla 5. Distribución de las pruebas según edad y género

		GÉNERO	#	% del Total
EDAD	<18	MASCULINO	3	4,2%
		FEMENINO	0	0,0%
	18-30	MASCULINO	39	54,2%
		FEMENINO	12	16,7%
	31-50	MASCULINO	6	8,3%
		FEMENINO	1	1,4%
	50-65	MASCULINO	4	5,6%
		FEMENINO	4	5,6%
	>65	MASCULINO	2	2,8%
		FEMENINO	1	1,4%

3.1. Resultados de la acumetría

A continuación se presentan los resultados obtenidos a través de los dos métodos, para después proceder a realizar la comparación entre ambos.

Los resultados de las pruebas acumétricas se han dividido en tres grupos principales denominados como “Sano”, “Posible patología” y “Patología”, según lo establece la British Society of Audiology (1987, p. 7-9)

El primero de ellos hace referencia a todos los resultados en los que tanto la prueba de Rinne como la de Weber fueron positivas, es decir, denotaban audición completamente normal.

El segundo grupo, “Posible patología”, incluye todas las pruebas en las cuales la prueba de Rinne fue completamente normal, sin embargo la prueba de Weber lateralizó a uno de los dos oídos; condición que puede ser tanto normal como un síntoma de una potencial patología.

El grupo “Patología” engloba a todos los resultados en los que tanto la prueba de Rinne como la de Weber fueron negativas en al menos una de las 3 frecuencias evaluadas (BSA, 1987, p. 7-9)

En la tabla 6 es posible observar el recuento de los resultados de las pruebas acumétricas, en función de la frecuencia, el oído evaluado y el diagnóstico obtenido. Además se incluye el porcentaje en relación al total de las 72 pruebas.

Tabla 6. Recuento de resultados de las acumetrías

FRECUENCIA (Hz)	RESULTADO	O. IZQUIERDO		O. DERECHO	
		#	%	#	%
128	PATOLOGÍA	3	4,2%	2	2,8%
	SANO	62	86,1%	56	77,8%
	POSIBLE PATOLOGÍA	7	9,7%	14	19,4%
256	PATOLOGÍA	6	8,3%	5	6,9%
	SANO	59	81,9%	54	75,0%
	POSIBLE PATOLOGÍA	7	9,7%	13	18,1%
512	PATOLOGÍA	4	5,6%	3	4,2%
	SANO	64	88,9%	59	81,9%
	POSIBLE PATOLOGÍA	4	5,6%	10	13,9%

3.2. Resultados de la audiometría

A continuación, la tabla 7 muestra los resultados de las audiometrías, divididos de igual manera en función del oído evaluado, la frecuencia y la condición auditiva. Se ha categorizado como “Sano” a pérdidas menores a 10 dB ya que no afectan en el desempeño funcional de la audición y no aportan al porcentaje global de pérdida de una persona (A.M.A., 1979); mientras que en el grupo de “Pérdida” se han incluido todos los casos en los que ha existido una pérdida igual o mayor a 10dB.

Tabla 7. Recuento de resultados de audiometrías

FRECUENCIA (Hz)	RESULTADO	O. IZQUIERDO		O. DERECHO	
		#	%	#	%
125	PÉRDIDA	13	18,1%	12	16,7%
	SANO	59	81,9%	60	83,3%
250	PÉRDIDA	12	16,7%	13	18,1%
	SANO	60	83,3%	59	81,9%
500	PÉRDIDA	12	16,7%	9	12,5%
	SANO	60	83,3%	63	87,5%

3.3. Comparación global de los resultados

Es importante señalar que, por fines comparativos, en los resultados de las pruebas audiométricas se ha conservado únicamente los valores correspondientes a las frecuencias de 125, 250 y 500 Hz, debido a que la acumetría utiliza frecuencias relativamente idénticas (128, 256 y 512 Hz) en términos de sonoridad.

Una vez mostrados los datos arrojados por cada uno de los métodos por separado, se procede a compararlos frecuencia por frecuencia.

La tabla 8 muestra en sus columnas los 3 posibles resultados que se pueden obtener de la acumetría: patología, sano y posible patología. Mientras que en sus filas muestra los dos únicos resultados posibles de la audiometría: sano o pérdida (es decir, que el participante presentó afectación auditiva para alguna de las frecuencias evaluadas).

Se ha realizado una comparación caso a caso entre el resultado que cada participante obtuvo en la acumetría y en la audiometría y son precisamente esos datos los que se muestran a continuación. Tomando como ejemplo a los participantes que obtuvieron un resultado de "Patología" en la acumetría, es posible observar que 2 de ellos (66,7%) obtuvieron un resultado "Sano" en la audiometría; mientras que el participante restante (33,3%) ratificó la condición de "Patología" al obtener un resultado de "Pérdida" en la audiometría.

Tabla 8. Comparación de resultados para el oído izquierdo en 125Hz y porcentajes por grupo

	OÍDO IZQUIERDO - 125 Hz					
	ACUMETRÍA					
	PATOLOGÍA		SANO		POSIBLE PATOLOGÍA	
AUDIOMETRÍA	#	%	#	%	#	%
SANO	2	66,7%	51	82,3%	6	85,7%
PÉRDIDA	1	33,3%	11	17,7%	1	14,3%

Si se continúa con el análisis de esta comparación, es posible afirmar que el 82,3% de los pacientes cuyos resultados de la acumetría fueron clasificados como "Sano" obtuvieron el mismo resultado en la audiometría.

En el grupo de "Posible patología", correspondiente a las acumetrías, el 85,7% de los pacientes presentan la condición de "Sano" tras realizar la audiometría; mientras que para el 14,3% restante se ha confirmado una "Pérdida" en su oído izquierdo para los 125 Hz.

En la tabla 9, que se muestra a continuación, se procede a sumar los casos de los resultados coincidentes en relación al total de las pruebas (es decir, que han obtenido el mismo resultado tanto en la acumetría como en la audiometría) se obtiene que para la frecuencia de 125 Hz en el oído izquierdo el 72,2% de los resultados obtenidos en las acumetrías han sido confirmados por la audiometría. Mientras que el 18,1% muestra la cantidad de resultados de las acumetrías que no coincidieron con el obtenido en las audiometrías. El 9,7% corresponde al grupo de pruebas acumétricas cuyo resultado no cumple con las condiciones para ser clasificado como “Sano” o con “Patología”, nombrados hasta el momento como “Posible patología”, y que en adelante serán mencionados como “Indeterminado”.

Tabla 9. Porcentajes globales en 125Hz

AUDIOMETRÍA	OÍDO IZQUIERDO - 125 Hz					
	PATOLOGÍA		SANO		POSIBLE PATOLOGÍA	
	#	%	#	%	#	%
SANO	2	2,8%	51	70,8%	6	8,3%
PÉRDIDA	1	1,4%	11	15,3%	1	1,4%

Es así que el análisis se dividirá en tres grupos diferentes: “Coincidentes”, que hace referencia a los casos en que los resultados obtenidos por la acumetría (ya sea sano o con una deficiencia) y que fueron ratificados por la audiometría; “Indeterminados”, que engloba todos los casos en los que los resultados de la acumetría no pudieron definir si el paciente tenía audición normal o padecía de pérdida auditiva; y “Divergentes”, que son todos los casos en los que el resultado de la acumetría fue refutado por medio de la audiometría.

Una vez que se ha explicado la forma en la que se realizará la comparación de las pruebas, se procede a mostrar únicamente la tabla en la que se incluyen los porcentajes mencionados en el primer ejemplo. Tanto para la frecuencia de 250 como la de 500 Hz se siguió el mismo procedimiento explicado a detalle con la frecuencia de 125 Hz.

La tabla 10 muestra el resumen de los valores de interés obtenidos tras realizar el análisis de cada frecuencia entre ambos métodos.

Tabla 10. Porcentajes de comparación de los resultados entre los dos métodos

		125 Hz	250 Hz	500 Hz
OÍDO IZQUIERDO	Coincidente	72,2%	73,6%	79,20%
	Indeterminado	9,7%	9,7%	5,50%
	Divergente	18,1%	16,7%	15,30%
OÍDO DERECHO	Coincidente	65,3%	66,7%	75,0%
	Indeterminado	19,4%	18,1%	13,9%
	Divergente	15,3%	15,3%	11,1%
PROMEDIO DE AMBOS OÍDOS	Coincidente	68,8%	70,1%	77,1%
	Indeterminado	14,5%	13,9%	9,7%
	Divergente	16,7%	16,0%	13,2%

Como se puede observar en la figura 24, la frecuencia en la que mayor porcentaje de coincidencia (77,1%) y menor divergencia (13,2%) se obtiene es en la de 500 Hz. Mientras tanto, la frecuencia con menor porcentaje de resultados coincidentes (68,8%) y mayor porcentaje de divergencia (16,7%) es la de 125 Hz; la cual también posee la mayor cantidad de casos de indeterminación ("Indeterminado").

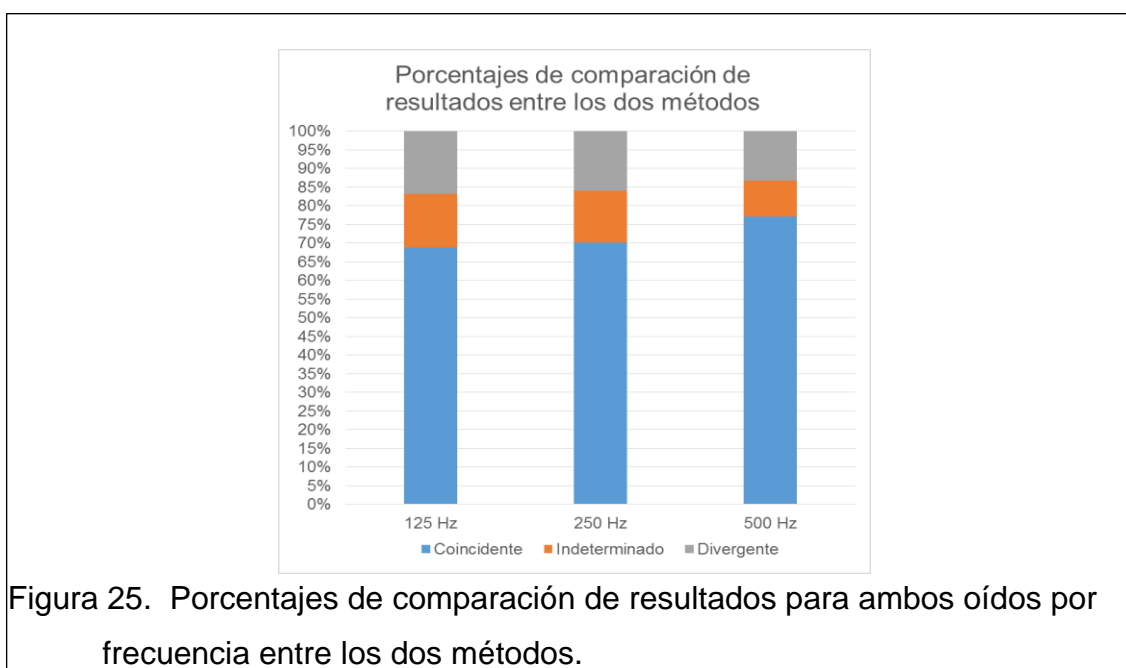


Figura 25. Porcentajes de comparación de resultados para ambos oídos por frecuencia entre los dos métodos.

Este resultado pudo haber sido causado por la sensación de sonoridad que el diapasón de 128 Hz genera en los participantes. En muchos casos reportaron que, según su criterio, no escuchaban en realidad un sonido y solo eran capaces de sentir la vibración; o que a su vez no podían distinguir claramente entre sonido o vibración que emitía el mencionado diapasón.

3.4. Casos Indeterminados

Se ha realizado un análisis de los resultados de todos los casos que quedaron “Indeterminados” según la acumetría. Para dicho fin se ha calculado el porcentaje promedio del total de casos “Indeterminado” que resultaron “Sanos” o con “Pérdida” tras el examen audiométrico.

Tabla 11. Resultado de la audiometría de casos "Indeterminados"

Resultado Audiometría	Porcentaje
Sano	85,42%
Pérdida	14,58%

Nota: La tabla 11 muestra el porcentaje de los resultados obtenidos en las pruebas audiométricas para todos los casos que fueron catalogados como “Indeterminados” en las acumetrías.

De esta forma es posible observar que en caso de presentar una “Posible patología” en la acumetría la probabilidad de tener una audición completamente sana es significativamente mayor que tener realmente algún tipo de pérdida.

3.5. Comparación de resultados por grupos de edad

Tras realizar el análisis del porcentaje de resultados de las acumetrías que coincidieron al compararlos con los resultados obtenidos en los exámenes audiométricos para el total de las pruebas, se ha considerado importante efectuar el mismo procedimiento para cada grupo de edad y género, para de este modo observar las tendencias de los resultados de las pruebas sobre los grupos mencionados.

Tabla 12. Porcentajes de comparación de resultados entre los dos métodos según frecuencia y grupo de edad

	COINCIDENTE			INDETERMINADO			DIVERGENTE		
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz
<18	100,0%	100,0%	83,4%	0,0%	0,0%	16,6%	0,0%	0,0%	0,0%
18-30	77,4%	79,4%	80,7%	16,7%	14,7%	9,9%	5,9%	5,9%	9,4%
31-50	85,6%	100,0%	85,7%	7,2%	0,0%	0,0%	7,2%	0,0%	14,3%
51-65	0,0%	18,7%	43,7%	18,7%	12,5%	0,0%	81,3%	68,8%	56,2%
>65	33,3%	33,3%	33,3%	0,0%	0,0%	0,0%	66,7%	66,7%	66,7%

Como es posible observar en la tabla 13 que se muestra a continuación, se ha obtenido el porcentaje más alto de resultados correctos para el grupo más joven (menores de 18 años); mientras que para los participantes de mayor edad, tanto el grupo de 51 a 65 y mayores de 65 años, el porcentaje de resultados erróneos aumenta significativamente (68,8% y 66,7% respectivamente)

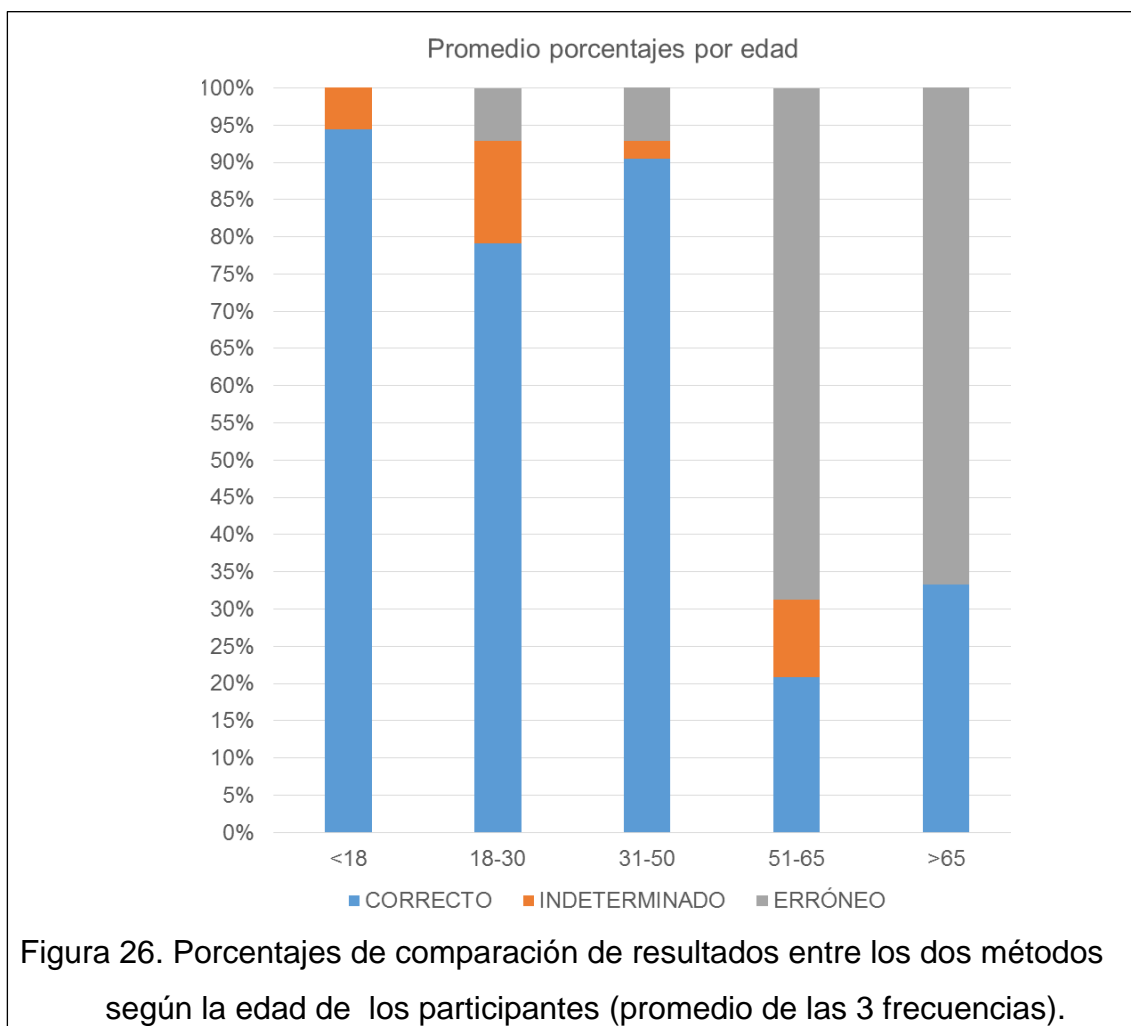
Esta condición pudo haber sido influenciada también por la dificultad que presentaron los pacientes de mayor edad en entender claramente las instrucciones previas a las pruebas de Rinne y Weber. A pesar de haber seguido los protocolos establecidos por la British Society of Audiology e incluso repetido las pruebas cuando fue necesario; a causa de que es una prueba altamente subjetiva, los resultados pudieron haberse visto afectados por lo que finalmente el paciente entendió que debía responder ante los estímulos de las pruebas.

Paralelamente, los participantes pertenecientes a los grupos de menor edad pudieron entender con mayor facilidad las instrucciones y las pruebas se desarrollaron sin contratiempos; lo que se traduce en una obtención de resultados más fiables.

La tabla 13 y la figura 25 muestran el promedio del porcentaje obtenido en las tres categorías para los distintos grupos de edad y en las 3 frecuencias.

Tabla 13. Promedio de las tres frecuencias según grupos de edad

	PROMEDIO		
	COINCIDENTE	INDETERMINADO	DIVERGENTE
<18	94,5%	5,5%	0,0%
18-30	79,2%	13,7%	7,1%
31-50	90,4%	2,4%	7,2%
51-65	20,8%	10,4%	68,8%
>65	33,3%	0,0%	66,7%



La tendencia de que el porcentaje de error sea directamente proporcional a la edad de los pacientes se puede explicar debido a que la gran mayoría de participantes de dichos grupos padecen de presbiacusia, patología que afecta generalmente de forma simétrica la capacidad auditiva de ambos oídos.

Como era posible esperarse con anterioridad, ante este tipo de pérdida las pruebas con diapasones resultan muy poco prácticas ya que, como ya lo manifestó Hain (2012), las mismas son mucho más útiles cuando la afectación auditiva se produce solamente en uno de los dos oídos, y por esta razón los resultados obtenidos por medio de la acumetría pueden denotar una audición normal. Sin embargo, tras realizar la audiometría, se denota fácilmente las afectaciones auditivas del participante.

De la misma manera, en la tabla 14, se procede a realizar la comparación de ambos métodos en función del género de los participantes.

Tabla 14. Porcentajes totales por género

FREC. (Hz)	COINCIDENTE		INDETERMINADO		DIVERGENTE	
	M	F	M	F	M	F
125	73,1%	55,6%	13,0%	19,4%	13,9%	25,0%
250	74,0%	58,3%	13,0%	16,7%	13,0%	25,0%
500	75,0%	83,4%	11,1%	5,6%	13,9%	11,0%

Nota: La tabla 14 incluye el porcentaje por género para las tres frecuencias. El género "Masculino" se representa con la letra "M"; el género "Femenino" con la letra "F".

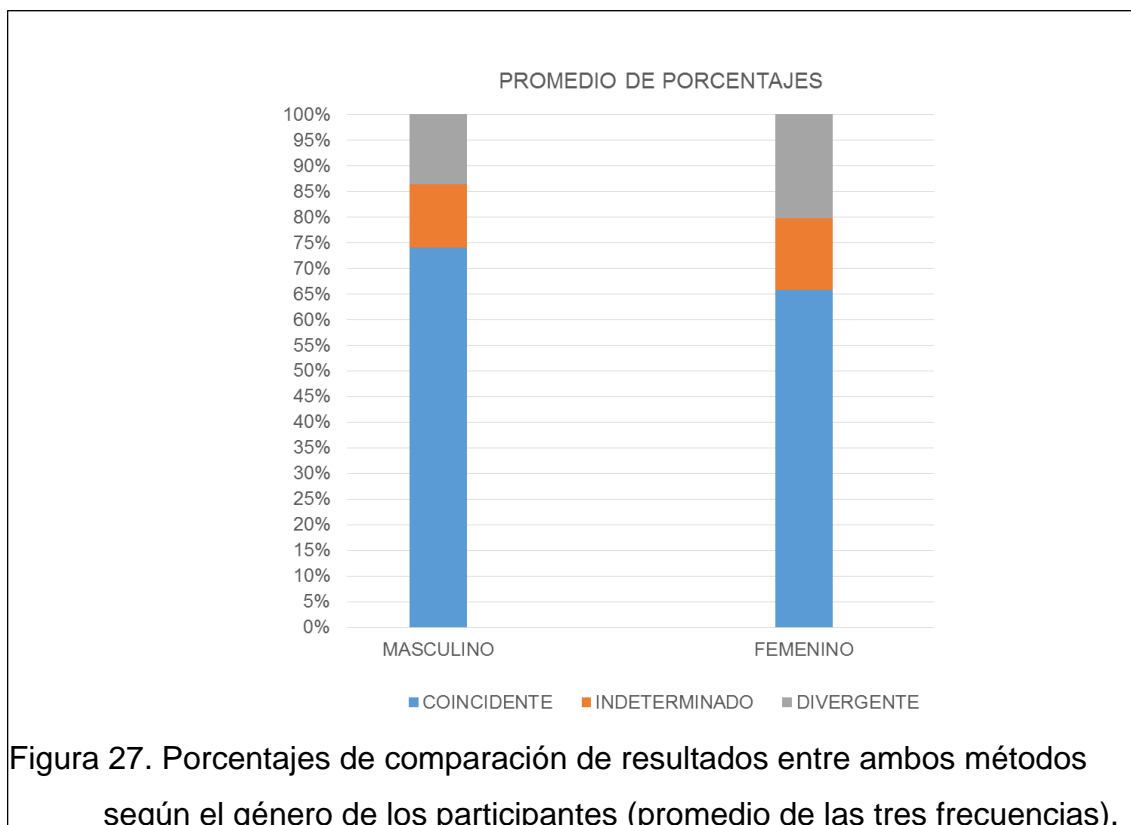
De la tabla 14 se observa que los porcentajes de coincidencia en los participantes son mayores en el género masculino (75%) en todas las frecuencias en relación al género femenino con excepción de los 500 Hz (~83%). En ambos grupos se observa además que el porcentaje de coincidencia aumenta con la frecuencia.

Se observa que el porcentaje de precisión se mantiene bastante regular para el género masculino en las tres frecuencias. Mientras que para el género femenino existe un mayor porcentaje de resultados divergentes para las dos primeras frecuencias (125 y 250 Hz) pero que aumenta significativamente para los 500 Hz.

El promedio de los porcentajes obtenidos en las tres categorías para las tres frecuencias por cada género, se muestra detalladamente en la tabla 15:

Tabla 15. Porcentajes de comparación de resultados entre ambos métodos (promedio de las tres frecuencias) según el género de los participantes.

	PROMEDIO		
	COINCIDENTE	INDETERMINADO	DIVERGENTE
MASCULINO	74,0%	12,4%	13,6%
FEMENINO	65,8%	13,9%	20,3%



3.6. Tiempo de ejecución de ambos métodos

La tabla 16 muestra la comparación del tiempo necesario para la ejecución de cada una de las pruebas. Todos los valores se encuentran expresados en segundos. De izquierda a derecha: el rango de variación del tiempo de las pruebas; el tiempo mínimo que tomó ejecutar al menos una de las pruebas con su método correspondiente; el tiempo máximo; la suma total del tiempo necesario para las pruebas; el valor promedio que tomó ejecutar la totalidad de los ensayos; y la variación estimada posible en función del valor promedio.

Tabla 16. Tiempo de ejecución de las pruebas (en segundos)

TIEMPO	Rango	Mínimo	Máximo	Suma	Media	Desviación estándar
ACUMETRÍA (s)	188	125	313	14524	202	41
AUDIOMETRÍA (s)	288	106	394	16076	223	68

Se aprecia una diferencia de 21 segundos entre el tiempo promedio (media) de ejecución de la acumetría y la audiometría. Es decir que en forma general la

acumetría puede ser ejecutada más rápidamente, sin embargo la diferencia es poco significativa. Incluso algunas de las pruebas audiométricas fueron ejecutadas en menor tiempo que las acumetrías y por esta razón su valor mínimo (de las audiometrías) llega a ser de 106 segundos (1 minuto y 46 segundos).

El tiempo total (72 participantes) de ejecución de las pruebas de las acumetrías fue de 14524 segundos (4 horas, 2 minutos y 4 segundos); mientras que para las audiometrías se necesitó un total de 16076 segundos (4 horas, 27 minutos y 56 segundos). Es decir fue necesario 9,65% más de tiempo (25 minutos y 52 segundos) para realizar el total de las pruebas audiométricas en relación al tiempo total de las acumetrías.

3.7. Análisis de agentes externos

Complementariamente, a cada uno de los pacientes se le aplicó una encuesta con el fin de obtener más información sobre su entorno sonoro. El cuestionario incluyó 2 preguntas específicas de opción múltiple (exposición diaria al ruido y tiempo de uso de audífonos semanal), además de preguntas sobre edad y género, como ya se analizó previamente.

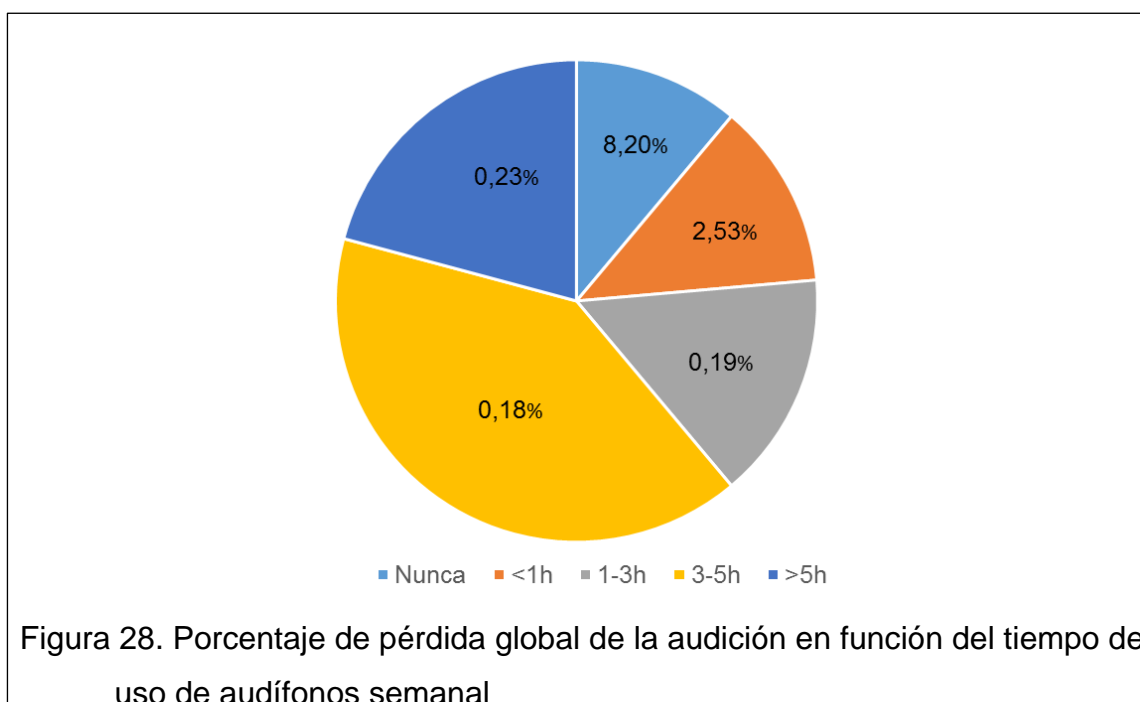
Las respuestas a estas preguntas permitieron dividir a los participantes en diversos grupos y realizar un breve análisis de forma paralela en relación a los resultados obtenidos por medio de las pruebas audiométricas.

Es necesario señalar que para la obtención de los valores de pérdida global se ha utilizado el método A.M.A.; que fue descrito en el capítulo de "Metodología".

Al analizar estos resultados es posible observar en las figuras que los participantes con poco o ningún uso de audífonos semanalmente; y con baja o ninguna exposición al ruido son los mismos con más alto porcentaje de pérdida global de la audición.

Tabla 17. Pérdida global en función del uso de audífonos

		PÉRDIDA GLOBAL		
		Media	Recuento	% del total
TIEMPO DE USO DE AUDÍFONOS (SEMANAL)	Nunca	8,20%	8	11,1%
	<1h	2,53%	9	12,5%
	1-3h	0,19%	11	15,3%
	3-5h	0,18%	29	40,3%
	>5h	0,23%	15	20,8%



En la tabla 18, que se muestra más adelante, se puede notar que el 100% de los participantes de >65 años ha respondido que “Nunca” utiliza audífonos y el 66,7% del mismo grupo ha dicho que su exposición al ruido es “Baja”.

Tabla 18. Tiempo de uso de audífonos en función de grupos de edad

		EDAD				
		<18	18-30	31-50	50-65	>65
		%	%	%	%	%
TIEMPO DE USO DE AUDÍFONOS SEMANAL	Ninguna	0,0%	2,0%	14,3%	37,5%	100,0%
	<1h	0,0%	9,8%	14,3%	37,5%	0,0%
	1-3h	0,0%	21,6%	0,0%	0,0%	0,0%
	3-5h	66,7%	47,1%	28,6%	12,5%	0,0%
	>5h	33,3%	19,6%	42,9%	12,5%	0,0%

Sin embargo, al revisar la tabla 19 se observa que el mencionado grupo de edad es aquel que posee el mayor porcentaje de pérdida auditiva.

Tabla 19. Pérdida global en función de la edad

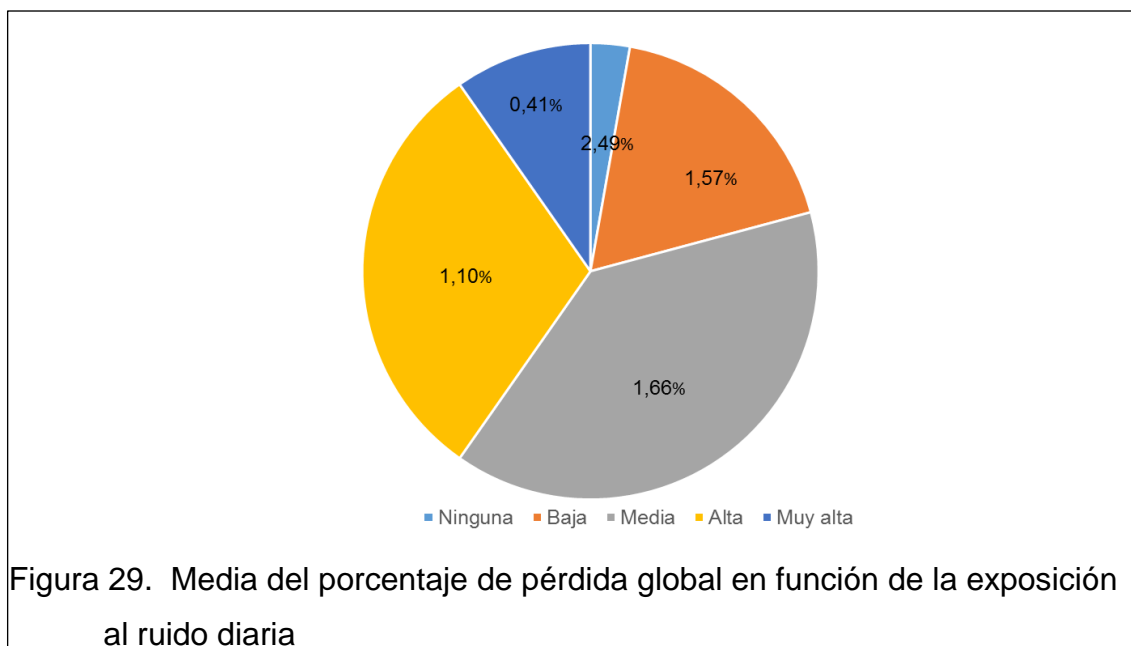
		PÉRDIDA GLOBAL
		Media
EDAD	<18	0,01%
	18-30	0,08%
	31-50	0,82%
	50-65	4,11%
	>65	18,69%

Es decir, el envejecimiento si se encuentra estrechamente ligado a mayor pérdida auditiva; mientras que no es posible establecer una relación directa entre la pérdida auditiva y el uso de audífonos o la exposición diaria al ruido; sino que se debería hacer estudios a mayor profundidad en los que se tome en cuenta los niveles de presión sonora a los que se utiliza los audífonos, niveles del ruido y tiempo total de exposición, entre otras variables.

Posteriormente se ha realizado también un análisis de la relación entre la exposición diaria al ruido que reportaron los participantes y su valor de pérdida global de la audición. Es posible observar los resultados en la tabla 20; la cual muestra un caso bastante similar al que se analizó anteriormente: las personas con menor exposición al ruido poseen un mayor porcentaje de pérdida global. Esto debido a que coincide nuevamente con que las personas de mayor edad fueron las que reportaron tener una exposición muy baja o nula al ruido diariamente.

Tabla 20. Pérdida global en función de la exposición diaria al ruido

		PÉRDIDA GLOBAL		
		Media	Recuento	% del total
EXPOSICIÓN DIARIA AL RUIDO	Ninguna	2,49%	2	2,8%
	Baja	1,57%	13	18,1%
	Media	1,66%	28	38,9%
	Alta	1,10%	22	30,6%
	Muy alta	0,41%	7	9,7%



La tabla a continuación permite observar de forma más detallada como las personas de los grupos de mayor edad, en su mayoría, reportaron bajos niveles de exposición al ruido.

Tabla 21. Exposición diaria al ruido en función de grupos de edad

		EDAD				
		<18	18-30	31-50	50-65	>65
		%	%	%	%	%
EXPOSICIÓN DIARIA AL RUIDO	Ninguna	0,0%	0,0%	14,3%	12,5%	0,0%
	Baja	0,0%	13,7%	14,3%	37,5%	66,7%
	Media	66,7%	41,2%	28,6%	25,0%	33,3%
	Alta	33,3%	33,3%	28,6%	25,0%	0,0%
	Muy alta	0,0%	11,8%	14,3%	0,0%	0,0%

3.8. Comparación de costos en el mercado actual

En este apartado se hace un análisis del costo que tiene en la actualidad someterse a cualquiera de las dos pruebas.

Para el efecto se ha consultado el costo de una audiometría en 3 diferentes clínicas, obteniendo las siguientes respuestas:

Tabla 22. Costos audiometría clínica

CLÍNICA	PRECIO
PROAUDIO	\$ 50,00
PROENDOMED	\$ 20,00
CENTRO MEDICO INTEGRAL SANGOLQUI	\$ 25,00

En las mismas clínicas se consultó el costo de una “acumetría”; sin embargo en ninguna de ellas conocían del tema y por ende no ofrecían ese servicio. Por lo tanto, como parámetro de comparación, se ha considerado analizar la inversión mínima inicial requerida para obtener los equipos necesarios para la ejecución de la prueba.

Para la audiometría el equipo básico necesario es evidentemente el audiómetro profesional (incluye audífonos) A continuación se cita cinco modelos distintos con su respectivo precio:

Tabla 23. Precio de diferentes audiómetros profesionales

AUDIÓMETRO	PRECIO
MAICO MA25	\$ 1.632,50
AMBCO	\$ 852,00
MONITOR INSTRUMENTS 5000	\$ 3.301,49
AMPLIVOX 170	\$ 1.348,00
AMPLIVOX 260	\$ 3.490,00

Adaptado de: Amazon, s.f.

Por otro lado, el precio de cada diapasón necesario para la ejecución de la acumetría, de tres proveedores diferentes, son los siguientes:

Tabla 24. Precio de diapasones de uso médico

Hz	DIAPASÓN	PRECIO
128	American Diagnostic Corporation	\$ 12,46
	Grafco	\$ 6,99
	Ajax Scientific	\$ 19,25
256	American Diagnostic Corporation	\$ 7,63
	Grafco	\$ 13,77
	Ajax Scientific	\$ 9,92
512	American Diagnostic Corporation	\$ 4,89
	Grafco	\$ 11,35
	Ajax Scientific	\$ 9,62

Adaptado de: Amazon, s.f.

La tabla 24 muestra los costos de inversión inicial en equipamiento para cada uno de los ensayos. Tomando en cuenta que existen muchas más ofertas de dichos equipos que pueden variar en su costo, se ha realizado un promedio de los precios consultados con el fin de realizar la comparación entre ambos.

Tabla 25. Comparación de costos promedio

ÍTEM	PRECIO
AUDIOMETRÍA	\$2.124,80
ACUMETRÍA	\$ 12,95

Según la tabla 25, el costo de los materiales necesarios para una acumetría representa únicamente el 0,61% del costo promedio de un audiómetro profesional. Evidentemente, el precio de un audiómetro profesional supera ampliamente el costo del material necesario para la acumetría; debido a que el primero representa un método más formal y sofisticado de evaluar la audición.

4. Análisis económico

4.1. Costos de la investigación

La tabla especifica los costos de cada material que se requirió para poder llevar a cabo la investigación.

En este punto es menester resaltar que el audiómetro MAICO MF7, con el que se realizaron la totalidad de las audiometrías, fue adquirido temporalmente

Tabla 26. Costos de la investigación

Ítem	Costo
Diapasón 128 Hz	\$ 12,46
Diapasón 256 Hz	\$ 7,63
Diapasón 512 Hz	\$ 4,89
Audiometría clínica	\$ 20,00
Audiómetro MAICO MF7	\$ -
TOTAL	\$ 44,98

Nota: El ítem “Audiometría clínica” hace referencia al pago que se realizó por la audiometría realizada a uno de los participantes en la clínica “Proendomed”.

4.2. Costos de la investigación en el mercado actual

Este apartado muestra el costo que la investigación significaría si la misma hubiese tenido fines profesionales en lugar de únicamente académicos.

Respecto a la tabla 27 que se muestra a continuación, es fundamental realizar las siguientes consideraciones:

- Los valores han sido calculados tomando en cuenta un tiempo total de desarrollo de la investigación de 6 meses; con un promedio de 4 horas de trabajo diarias de lunes a viernes.
- El valor del alquiler de la sala insonorizada ha sido tomado a partir del costo del alquiler de una sala de ensayo profesional, acondicionada acústicamente, misma que permitiría realizar las pruebas con niveles de ruido de fondo considerablemente bajos.

- El valor del audiómetro profesional y de los diapasones médicos toma en cuenta el costo de adquisición del equipo; debido a que fue imposible encontrar un valor de alquiler de un audiómetro o diapasones médicos, en el medio local.
- Para el valor de las pruebas audiométricas se ha hecho un estimado del costo de cada prueba tomando en cuenta que fueron aplicadas a grandes grupos de personas y que el valor mínimo por una prueba en el medio local es de \$20,00.
- Debido a que no es posible acceder al costo que tendría una prueba acumétrica actualmente, se ha estimado un valor económico bajo de solamente \$3,00 por cada prueba.
- El valor de costos indirectos incluye el uso del computador portátil y de escritorio, Internet, luz eléctrica, alimentación, material de oficina.
- El valor correspondiente a servicios profesionales toma en cuenta el estimado del costo por hora de trabajo que sería cobrado como Ingeniero titulado; pero no incluye el rubro correspondiente a la realización de cada una de las pruebas, el cual ha sido detallado oportunamente.

Tabla 27. Análisis de costos en el Mercado actual

	UNIDADES	COSTO / UNIDAD	COSTO TOTAL
Sala insonorizada (alquiler)	12 horas	\$15,00	\$180,00
Audiómetro profesional	1 audiómetro	\$1.700,00	\$1.700,00
Diapasones de 128, 256 y 512 Hz	1 juego	\$24,98	\$24,98
Pruebas audiométricas	72 pruebas	\$12,00	\$864,00
Pruebas acumétricas	72 pruebas	\$3,00	\$216,00
Transporte	20 horas	\$4,00	\$80,00
Costos indirectos	NA	NA	\$250,00
Servicios profesionales	480 horas	\$7,00	\$3.360,00
		TOTAL	\$ 6.674,98

De esta manera, es posible observar que el valor total necesario para llevar a cabo la presente investigación sería de \$6.675,00 aproximadamente; de los cuales \$4.440,00 corresponden a la ganancia neta como Ingeniero; lo que significa que se cobraría un estimado de \$740,00 mensuales por el trabajo.

5. Conclusiones y recomendaciones

5.1. Conclusiones

La acimetría, comparada con la audiometría, presenta una baja inversión inicial, mayor facilidad de ejecución e interpretación de los resultados.

La audiometría requiere de mayor conocimiento técnico para interpretar sus resultados numéricos en comparación a la acimetría.

La diferencia de tiempo encontrada entre realizar una acimetría frente a una audiometría no es significativa, ya que ambos métodos requieren en promedio 3,5 minutos por paciente. Contrario a lo que se pensaba inicialmente, en algunos casos incluso se pudo realizar más rápidamente la audiometría en relación a la acimetría.

La acimetría es mucho más útil para identificar un paciente con audición "Sana" que para diagnosticar una "Patología" en un paciente. Es decir; si una persona obtiene resultados normales por medio de la acimetría es mucho más probable que esté en realidad sano; mientras que si una persona obtiene resultados anormales ("Patología") es poco probable que en verdad padezca una enfermedad y será necesario exámenes posteriores más minuciosos.

La mayoría de los casos que quedaron catalogados como "Indeterminados" tras las pruebas de Weber y Rinne; mostraron resultados completamente normales y sanos tras completar la audiometría. Es decir, la probabilidad de ser diagnosticado con una patología es muy baja, en aquellos casos donde la acimetría no pudo determinar un diagnóstico.

El porcentaje de resultados coincidente de la acimetría (en relación a la audiometría) aumenta de manera directamente proporcional a la frecuencia estudiada.

Las acimetrías resultan mucho más precisas y arrojan resultados correctos en los grupos de menor edad. Al ser aplicadas en personas de 50 años o más, el porcentaje de resultados erróneos aumenta significativamente.

Las pruebas con diapasones muestran un porcentaje más alto de resultados correctos para los participantes del género masculino.

A pesar de que ambas pruebas son subjetivas, la acimetría requiere mayor colaboración y concentración de los pacientes debido a que sus instrucciones pueden resultar ligeramente más complejas de entender en comparación a las correspondientes a la audiometría.

Una de las principales desventajas de la acimetría es la posibilidad de que los resultados cataloguen el caso como una "Indeterminación", como lo señala la BSA (1987).

La principal ventaja de la audiometría es que sus resultados son de tipo cuantitativo; es decir es posible conocer el nivel de pérdida auditiva del paciente, frecuencia por frecuencia, en cada oído. Por otra parte, los resultados de la acimetría son únicamente de tipo cualitativo; es decir, solo permite conocer si existe o no una patología, mas no cuan grave o leve puede ser ésta.

La acimetría presenta la ventaja de ser fácilmente transportable, tal como lo menciona Trinidad (2014), especialmente si se compara con el audiómetro utilizado para las audiometrías. Los diapasones son muy ligeros y pequeños por lo cual son sencillos de movilizar; esto permite mayor versatilidad para realizar los exámenes y facilidad para llegar a pacientes que posiblemente no pudieren acercarse a una clínica de la audición.

La ventaja más relevante de la acimetría es que, gracias a su bajo costo y relativamente alta fiabilidad, es una forma muy accesible y válida de evaluar la

audición incluso para personas de bajos recursos económicos para quienes resulta costoso pagar por una audiometría formal.

La acumetría resulta ineficaz en detectar anomalías en la audición del paciente cuando la patología que éste padece es presbiacusia. Debido a que esta patología generalmente afecta a ambos oídos por igual, los resultados de la acumetría muestran que la audición es normal, dato que concuerda con lo estudiado por Bustos (2001); sin embargo, al realizar la audiometría se revelan las pérdidas (de leves a graves) que el paciente con presbiacusia padece en su audición.

La acumetría no es capaz de reemplazar a una audiometría. Se considera un método útil como examen previo en pacientes jóvenes.

5.2. Recomendaciones

Realizar las pruebas a una muestra más extensa de la población; especialmente a participantes menores de 18 años para observar si el porcentaje de eficacia de la acumetría se mantiene. En la presente investigación, el número de pruebas estuvo limitado por el corto período que se tuvo acceso al audiómetro; tiempo en el cual se realizaron tantas pruebas como fueron posibles.

Controlar y limitar la exposición al ruido de los participantes previo a las pruebas. De preferencia, realizar las pruebas durante la mañana (en lugar de la tarde/noche). De este modo se evita que los resultados se vean afectados por pérdidas temporales en los pacientes por posible exposición a elevados niveles de ruido en las horas previas (NIDCD, 2014). De igual manera, sería ideal realizar una exploración previa por medio de un otoscopio para cerciorarse que los resultados no se vean afectados por acumulación de cerumen en el canal auditivo.

En caso de tener acceso, se recomienda realizar todas las audiometrías a cargo de un profesional de la salud en una clínica auditiva y de este modo trabajar con datos aún más fiables.

Aplicar la acimetría únicamente como un examen previo a una exploración más formal y profunda de la audición, especialmente si el paciente es de edad avanzada y si hay indicios de que padece de algún tipo de patología auditiva o ha sufrido un trauma acústico reciente.

Implementar el aprendizaje de las técnicas y manipulación de los diapasones como parte del pensum de una de las materias afines en la carrera de Ingeniería de Sonido y Acústica, con el fin de que los estudiantes conozcan una forma confiable y económica de evaluar su audición.

REFERENCIAS

- Amazon, (s.f.). Consultas de precios de equipos profesionales (Audiómetros y Diapasones médicos). Recuperado el 07 de Enero de 2016 de http://www.amazon.com/ref=nav_logo/180-4493640-4518403
- Bhattacharyya, N. (2015). *Auditory Brainstem Response Audiometry*. Cambridge, Massachusetts, USA. MedScape.
- British Society of Audiology. (1987). *Recommended Procedure for Rinne and Weber tuning-fork tests*. Berkshire, UK. British Journal of Audiology.
- British Society of Audiology. (2011). *Recommended Procedure: Pure-tone air-conduction and bone-conduction threshold audiometry with and without masking*. Berkshire, UK. British Journal of Audiology. Recuperado el 18 de Agosto de 2015 de http://www.thebsa.org.uk/wp-content/uploads/2011/04/BSA_RP_PTA_FINAL_24Sept11_MinorAmend_06Feb12_dr.pdf
- Bustos, L (2001). *Emisiones otoacústicas*. Recuperado el 27 de Octubre de 2015 de http://escuela.med.puc.cl/paginas/publicaciones/otorrino/otorrino_a011.html
- Bustos, L (2001). *Evaluación auditiva*. Recuperado el 1 de Junio de 2015 de http://escuela.med.puc.cl/paginas/publicaciones/otorrino/otorrino_a011.html
- Centro para el Control y la Prevención de Enfermedades. (2014). *Tipos de pérdida auditiva (sordera)*. Atlanta, Georgia, USA.
- Croutch, H. (2010). *Tuning forks revisited: Theory, use, and interpretation of results*. Sidney, Australia. Hearing Review.
- Elejalde, Franco, Janariz, Macho (2003). *Características del sonido*. Recuperado el 9 de Julio de 2015 de <http://www.ehu.eus/acustica/espanol/basico/casoes/casoes.html>
- Facultad de Medicina Universidad de la Frontera. (2007). *El Oído*. Recuperado el 3 de Agosto de 2015 de http://www.med.ufro.cl/Recursos/neuroanatomia/archivos/fono_oido.htm

- Hain, T. (2012). *Hearing Testing*. San Francisco, California, USA. Recuperado el 28 de Agosto de 2015 de <http://american-hearing.org/disorders/hearing-testing/>
- Hoad-Robson, R. (2013). *Hearing tests (Audiometry)*. Recuperado el 23 de noviembre de 2015 de <http://patient.info/health/hearing-tests-audiometry>
- Laftansurgical (s.f). Diapasones de 128, 256, 512, 1024 y 2048 Hz (izq. a der.) utilizados para las pruebas acumétricas. Recuperado el 10 de Septiembre de 2015 de <http://www.eumus.edu.uy/docentes/maggiolo/acuapu/sap.html>
- Maggiolo, D. (2003). *Sistema auditivo periférico*. Recuperado el 17 de Agosto de 2015 de <http://www.eumus.edu.uy/docentes/maggiolo/acuapu/sap.html>
- Miyara, F. (2002). *Acústica y Sistemas de Sonido*. Rosario, Argentina. UNR. Recuperado el 12 de Octubre de 2015 de <http://www.fceia.unr.edu.ar/acustica/biblio/niveles.htm>
- National Institute for Occupational Safety and Health. (1999). *Criteria for a recommended standard: Occupational Noise Exposure*. Cincinnati, Ohio, USA.
- National Institute on Deafness and Other Communications Disorders. (2014). *Pérdida de audición inducida por el ruido*. Bethesda, Maryland, USA. Recuperado el 18 de Octubre de 2015 de http://www.nidcd.nih.gov/staticresources/health/spanish/lovehear/CommonSounds_sp.pdf
- National Institute on Deafness and Other Communications Disorders. (1999). *Presbiacusia*. Bethesda, Maryland, USA.
- Nuevos anuncios (s.f.). Audiómetro MAICO MF7. Recuperado el 09 de Septiembre de 2015 de http://colombia.nuevosanuncios.net/AUDIOMETRO_CLINICO_MAICO_MF7-1449766-2
- Onusko, E. (2004). *Timpanometry*. Wilmington, Ohio, USA. Am Fam Physician.
- The Engineering Tool Box. (s.f.). *Noise Exposure – Permissible Level and Duration*. Recuperado el 12 de Octubre de 2015 de

http://www.engineeringtoolbox.com/noise-exposure-level-duration-d_717.html

Trinidad, A. (2014). *Pruebas de audición con diapasones (acumetría)*. Recuperado el 15 de Septiembre de 2015 de <http://www.aprendeotorrino.com/2013/05/05/pruebas-de-audicion-con-diapasones-acumetria/>

Truax, B. (1999). *Handbook for Acoustic Ecology*. Recuperado el 19 de Septiembre de 2015 de <http://www.sfu.ca/sonic-studio/handbook/Noise.html>

Wolfe, J. (2005). *dB: What is a decibel?*. Recuperado el 19 de Septiembre de 2015 de <http://www.animations.physics.unsw.edu.au/jw/dB.htm#related>

ANEXOS

ANEXO 1. Certificado médico de los diapasones

Neurological Instruments
Neurological Hammers and Tuning Forks

A Special Thank You...

Thank you for choosing an ADC® Neurological Instrument. We're proud of the care and quality that goes into the manufacture of each and every product that bears our name. Only the finest materials are used to assure you of a timeless instrument designed for optimum performance. Please read the following instructions and general information which will prove helpful in allowing you to enjoy your ADC® product.

Sincerely, American Diagnostic Corporation

Device Description and Intended Use:

All ADC® Neurological Percussion Hammers are medical instruments used by healthcare practitioners to test deep tendon reflexes as part of a neurological physical examination in order to detect abnormalities in the central or peripheral nervous system.

All ADC® Tuning Forks are medical instruments used by healthcare practitioners to conduct auditory and neurological testing to identify underlying medical conditions. The Rinne and Weber tests can be conducted with these devices.

Contraindications:

Neurological Instruments should not be used on damaged or injured locations of a patient's body where the use of such a device may cause greater harm or injury.

Warnings and Cautions: ⚠

⚠ **WARNING:** Neurological hammers may contain sharp points or components. Do not leave this device unattended around children.

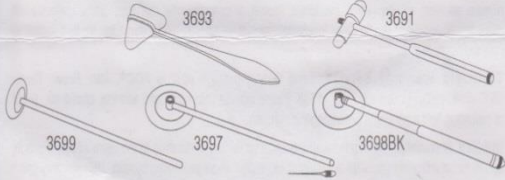
⚠ **CAUTION:** Some neurological hammers may have pointed tips that can cause serious injuries if used improperly. Care should be taken when handling these devices.

⚠ **CAUTION:** No form of sterilization has been validated for this device. Do not autoclave this device or expose it to extreme environmental conditions as damage to the device may result.

Operation (For all Neurological Hammers):

The Taylor Hammer (3693) is typically held at the end and then swung in an arc-like motion onto the tendon. The Queen's Square (3699) and Babinski Hammers (3697, 3698BK) are usually held perpendicular to the tendon and passively swung onto the tendon with the assistance of gravity. The Jendrassik maneuver can also be used to accentuate reflexes.

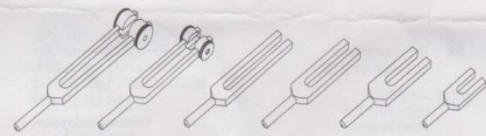
Select models (Buck Hammer - 3691 and Babinski Hammer - 3697) have concealed needles and/or brushes for additional reflex and neurological testing. To use these components, unscrew the base of the hammer's handle. For Buck Hammers, the concealed needle can be accessed by unscrewing the top of the device and pulling the needle free.



Operation (For all Tuning Forks):

To operate your tuning fork, hold it as close as possible to the end. For best results, strike the tuning fork gently against a hard surface near where the forks start. It is not necessary to strike the object very hard and care should be taken not to strike an object that can be easily damaged, such as a glass table top or other similar object.

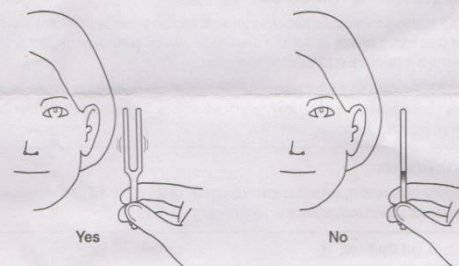
Alternately, the tuning fork may be activated by 'snapping' the tips of the forks. Place your thumb and index figure on the outside of each fork and then slide your fingers off the tip of each fork while moving them towards each other, as if you were snapping. The motion will set the two forks vibrating.



Helpful Tips when Holding the Tuning Fork:

- Keep your wrist relaxed and flexible.
- Keep your fingers firm, but don't press hard against the stem of the tuning fork.
- Your elbow should be bent and relaxed, and your arm should not be tense.
- Ensure that you are holding the tuning fork as close to the end as possible.
- Avoid touching the tines of the tuning fork during use.
- Avoid grasping the tuning fork tightly.
- Avoid having your arm in a stiff or locked position.
- Avoid activating the tuning fork by hitting it against your hand.

When using a tuning fork to examine a patient, the device should be held in such a way that it is in the same orientation as the patient. The tines of the tuning fork will give off more vibrations that the patient can hear when oriented like this. See the image below for more details.



Cleaning and Disinfection:

Your neurological instrument may be cleaned with a soft cloth or cotton swab. A low-level disinfectant comprised of 70% isopropyl alcohol may be used as necessary during the cleaning process. Chemical cleaners, excessive heat, cold, or oils may damage the instrument and reduce its lifespan.

This device may not be sterilized or autoclaved.

Important Note: Excessive cleaning solutions may leave a residue on the device which will impact the sound quality of tuning forks. These devices must be thoroughly cleaned and dried prior to use.

LIMITED WARRANTY:

American Diagnostic Corporation (ADC®) warrants its products against defects in materials and workmanship under normal use and service as follows:

1. Warranty service extends to the original retail purchaser only and commences with the date of delivery.
2. Your ADC Neurological Instrument is warranted for one year from date of purchase (all parts).

What is Covered: Replacement of parts, and labor.

What is Not Covered: Transportation charges to and from ADC®. Damages caused by abuse, misuse, accident, or negligence. Incidental, special, or consequential damages. Some states do not allow the exclusion or limitation of incidental, special, or consequential damages, so this limitation may not apply to you.

To Obtain Warranty Service: Send item(s) postage paid to ADC®, Attn: Repair Dept., 55 Commerce Dr., Hauppauge, NY 11788. Please include your name and address, phone no., proof of purchase, and a brief note explaining the problem.

Implied Warranty: Any implied warranty shall be limited in duration to the terms of this warranty and in no case beyond the original selling price (except where prohibited by law). This warranty gives you specific legal rights and you may have other rights which vary from state to state.



ADC
55 Commerce Drive
Hauppauge, NY 11788

ADC (UK) Ltd.
Unit 6, PO14 1TH
United Kingdom

Inspected in the U.S.A.
Neuro Hammers made in China
Tuning Forks made in U.S.A.
tel: 631-273-9600, 1-800-232-2670
fax: 631-273-9659

www.adctoday.com
email: info@adctoday.com



IB ph 93-NEURO-00

Printed in China

ANEXO 2. Tabla de coeficientes – Método A.M.A.

	500 Hzs.	1.000 Hzs.	2.000 Hzs.	4.000 Hzs
10 dBs.	0.2	0.3	0.4	0.1
15 dBs.	0.5	0.9	1.3	0.3
20 dBs.	1.1	2.1	2.9	0.9
25 dBs.	1.8	3.6	4.9	1.7
30 dBs.	2.6	5.4	7.3	2.7
35 dBs.	3.7	7.7	9.8	3.8
40 dBs.	4.9	10.2	12.9	5.0
45 dBs.	6.3	13.0	17.3	6.4
50 dBs.	7.9	15.7	22.4	8.0
55 dBs.	9.6	19.0	25.7	9.7
60 dBs.	11.3	21.5	28.0	11.2
65 dBs.	12.8	23.5	30.2	12.5
70 dBs.	13.8	25.5	32.2	13.5
75 dBs.	14.6	27.2	34.0	14.2
80 dBs.	14.8	28.8	35.8	14.6
85 dBs.	14.9	29.8	37.5	14.8
90 dBs.	15.0	29.9	39.2	14.9
95 dBs.	15.0	30.0	40.0	15.0

ANEXO 3. Realización de las pruebas





NEXO 4. Formato de encuesta utilizada

Trabajo de Titulación													
Comparación de métodos de evaluación de pérdida auditiva													
1.- Nombre y apellido: _____	2.-Edad: _____												
3.- Ocupación: _____													
Por favor, encierre en un círculo su respuesta:													
4.- ¿Considera que tiene algún tipo de pérdida auditiva?													
	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">Si</td> <td style="text-align: center;">No</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Pérdida auditiva</td> <td style="text-align: center;">1</td> <td style="text-align: center;">0</td> </tr> </table>		Si	No	Pérdida auditiva	1	0						
	Si	No											
Pérdida auditiva	1	0											
5.- ¿Cómo calificaría su exposición diaria al ruido?													
	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">Ninguna</td> <td style="text-align: center;">Baja</td> <td style="text-align: center;">Media</td> <td style="text-align: center;">Alta</td> <td style="text-align: center;">Muy alta</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Exposición al ruido</td> <td style="text-align: center;">0</td> <td style="text-align: center;">1</td> <td style="text-align: center;">2</td> <td style="text-align: center;">3</td> <td style="text-align: center;">4</td> </tr> </table>		Ninguna	Baja	Media	Alta	Muy alta	Exposición al ruido	0	1	2	3	4
	Ninguna	Baja	Media	Alta	Muy alta								
Exposición al ruido	0	1	2	3	4								
6.- ¿Qué tiempo semanalmente utiliza audífonos o equipos de audio similares?													
	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">Ninguna</td> <td style="text-align: center;"><1h</td> <td style="text-align: center;">1-3h</td> <td style="text-align: center;">3-5h</td> <td style="text-align: center;">>5h</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Frecuencia</td> <td style="text-align: center;">0</td> <td style="text-align: center;">1</td> <td style="text-align: center;">2</td> <td style="text-align: center;">3</td> <td style="text-align: center;">4</td> </tr> </table>		Ninguna	<1h	1-3h	3-5h	>5h	Frecuencia	0	1	2	3	4
	Ninguna	<1h	1-3h	3-5h	>5h								
Frecuencia	0	1	2	3	4								
<hr/>													
Rinne													
Frecuencia [Hz]	Resultado												
125													
250													
500													
Weber													
Frecuencia [Hz]	Resultado												
125													
250													
500													
Tiempo Audiometría: _____													
Tiempo Acumetría: _____													