

Sistema de filtro para la identificación temprana de la pérdida auditiva.



D.I. Ma. Georgina Aguilar Montoya

Tesis para obtener el grado de: Maestría en Diseño

Línea de Investigación en Nuevas Tecnologías

Universidad Autónoma Metropolitana - Azcapotzalco

División de Ciencias y Artes para el Diseño

Posgrado en Diseño

Director de Tesis: MDI. Octavio García Rubio

Jurado: Dra. Martha Zanabria Salcedo

Dr. Luis Gerardo Vela Valdés

MDI Antonio Abad Sánchez

Mtro. Carlos Angulo Álvarez

ÍNDICE

	Pág.
Sinopsis	3
Introducción	5
CAPITULO I	
Marco Teórico	7
1.1 Antecedentes Históricos	7
1.2 Deficiencia Auditiva	11
1.3 Detección Temprana de la Pérdida Auditiva	25
1.4 Panorama de la detección	31
1.5 Métodos de diagnóstico y evaluación	44
CAPITULO II	
Planteamiento del Problema	57
2.1 Problema de investigación	59
2.2 Objetivos de la investigación	60

2.3 Justificación	61
2.4 Hipótesis	63
2.5 Tareas de Investigación	64
CAPITULO III	
Sistema de filtro para la identificación temprana de la hipoacusia	66
3.1 Objetivos del sistema	67
3.2 Requerimientos de diseño del sistema	67
3.3 Diseño del sistema	71
CAPITULO IV	
Análisis de resultados	95
4.1 Diseño del estudio	96
4.2 Análisis de los resultados del estudio	103
Conclusiones	106
Recomendaciones	111
Anexo – Dibujos constructivos	113
Anexo – Desarrollo de la propuesta electrónica	119
Anexo – Manual de uso del producto	139
Índice de figuras	143
Bibliografía	147
Glosario de términos	153
Glosario de siglas	155

SINOPSIS

La gran mayoría de los problemas o secuelas generados por la discapacidad auditiva, como son los problemas de comunicación y desarrollo, la desintegración educativa, social y/o laboral, etc., se deben principalmente a la falta de un diagnóstico temprano, todo ello producto del descubrimiento tardío de una deficiencia auditiva. Esto podría minimizarse al generar un diagnóstico precoz a través de un mecanismo de filtraje auditivo en edad temprana, que permita identificar el mayor número de casos con algún posible déficit auditivo y con ello poder canalizarlos a otras pruebas que permitan indicar el tratamiento a seguir y favorecer el desarrollo “normal” del niño.

Por ello la presente investigación tiene como objetivo generar una propuesta de equipo que permita realizar el filtraje auditivo en edad temprana y que pueda aplicarse como instrumento de apoyo al filtraje universal es decir, que por sus características sea posible emplearlo en diferentes centros o comunidades, es decir pudiera ser trasladado con facilidad y utilizarlo sin que requiriera una infraestructura sofisticada ni personal con alta especialidad.

Para realizar el proyecto se conformó un grupo multidisciplinario en el que se integraron profesionistas de las áreas de rehabilitación neurológica, física, electrónica y diseño industrial, de la Universidad Autónoma Metropolitana y del Centro Nacional de Investigaciones y Desarrollo Tecnológico perteneciente a la Secretaría de Educación Pública.

En colaboración con el centro se realizó un modelo constituido por un sistema electrónico que permite enviar una señal sonora al niño a través de unos audífonos, recibir

la respuesta mediante unos sensores, captarla y amplificarla, para posteriormente traducirla a una señal luminosa que sea de fácil lectura para la persona que realice el examen.

Con este modelo se llevaron a cabo algunas pruebas para comprobar el funcionamiento del sistema propuesto detectando algunos detalles que deberán abordarse con mayor detenimiento para que en un futuro puedan corregirse y el proyecto no se quede sólo en el papel, sino que el equipo pueda producirse y servir de apoyo a diferentes centros de salud en el filtraje universal, favoreciendo las necesidades de las personas que presenten discapacidad auditiva.

INTRODUCCIÓN

En el contexto de este trabajo, la comunicación es el proceso mediante el cual entendemos lo que se nos dice y decimos o expresamos nuestros pensamientos, necesidades y sentimientos. La gente que puede oír se comunica sobre todo a través del habla. Para el niño la comunicación temprana con los padres y la familia, es una experiencia importante y

crucial para desarrollar las características de su personalidad, la cual se puede ver afectada si no escucha.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) considera que existen más de 42 millones de personas en el mundo con problemas auditivos (Díaz y Balanza, 1999), y ellos enfrentan día a día múltiples problemas ocasionados por su limitación auditiva. Las secuelas de esta discapacidad podrían reducirse hasta en un 90% si se detectaran y atendieran a tiempo.

Estas personas no pueden escuchar, por lo tanto no pueden comunicarse como los demás, viven en un mundo silencioso. Muchos de ellos no hablan, pero no porque sean mudos, la mayoría podría hablar; sin embargo, la adquisición del lenguaje se da por retroalimentación; el pequeño emite sonidos y al escucharlos los repite; pero si no hay retroalimentación dejará de emitir sonidos y con el paso del tiempo su forma de hablar no será adecuada.

La deficiencia auditiva es difícil de identificar a simple vista, a menos que la persona utilice un aparato auditivo y que éste sea visible; por tal motivo, es común que se les considere con cierto grado de retraso mental y se les rechace, porque no ponen atención cuando se les llama o porque tienden a perder el equilibrio.

Además, la hipoacusia (disminución de la percepción auditiva) entorpece el desarrollo normal del individuo, puesto que le dificulta la localización e identificación de sonidos e interfiere con el desarrollo de la voz, el lenguaje y el habla, y por ende afecta la comunicación con las personas que se encuentran a su alrededor.

Los avances tecnológicos permiten solucionar en parte esta problemática, al brindar a las personas con deficiencias auditivas los medios para que puedan escuchar a través de un amplificador o recibir algún tipo de habilitación para mejorar su audición, sin embargo, para lograr buenos resultados se debe actuar desde muy temprana edad. La detección oportuna de los problemas auditivos es fundamental para dar inicio al tratamiento necesario.

La presente investigación integra un estudio sobre la discapacidad auditiva (hipoacusia) y la propuesta de un producto o equipo (sistema de filtro) que facilite su detección temprana basado en el enfoque del diseño Industrial a través del uso de las nuevas tecnologías.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes Históricos

No existe manera de conocer lo que ocurría hace unos milenios con los primeros sordos. En la prehistoria, los hombres primitivos, animales racionales con mucho pelo, tenían costumbres increíbles y distintas.

Tales hechos están escritos en los libros de historia, pero ¿qué conocimientos tenemos de cómo vivían o existían entonces las personas sordas? Nos imaginamos a las personas sordas primitivas, quienes tal vez existían, como seres incógnitos, por que sus oídos no podían oír, ¿cómo se defendían?. Este era un gran problema, porque la vida en ese entonces era más peligrosa que la de ahora.

Así fueron pasando los años, creciendo las sociedades poco a poco, hubo más gente, y todo fue evolucionando hasta llegar a la época que conocemos como la edad antigua, modificándose las ideas, opiniones y costumbres religiosas.

En la edad media, se creía en brujerías operando dolorosamente los oídos y la lengua de las personas no-oyentes. Se puede suponer que estas personas sufrían castigos muy crueles, soportando toda clase de burlas y trabajos como esclavos clandestinos. Como resultado, la vida de los sordos definitivamente era imposible porque no alcanzaban triunfos, debían seguir marginados y aislados. Simplemente abandonados, errados y escondidos por vergüenza y apartados del público. (Romero Salazar, 1995. p.127)

Durante el renacimiento, hubo algunos pintores, escultores, poetas y músicos que fueron oyentes en su juventud, perdieron el oído debido a las enfermedades infecciosas o hereditarias, y sin embargo, lograron muchos éxitos y fama.

Otros individuos “sordo-mudos” de nacimiento o de la primera infancia eran tan diferentes a esos hombres triunfadores, tal vez servían para labrar las tierras, ayudar a llevar cargas y tipos de trabajos manuales, cuya comunicación y cultura estaban muy limitadas. Algunas personas oyentes de ese período gozaban de la pantomima y otras formas de expresión hechas por los no oyentes. (Ibidem,1995. p.128)

Algunos religiosos y filósofos de la época dieron a conocer la vida del sordomudo, a través de trabajos a mano, actitud física y moral. Con un principio básico de conocimiento pudieron darse cuenta de que esas personas tenían disminución auditiva y no como se pensaba antes, que eran retrasados mentales o personas muy raras. Asimismo, adquirieron el compromiso de seguir la enseñanza pacientemente. (*Ibidem*,1995. p. 128)

Unos pocos sordos se vieron salvados de la injusticia y encontraron la posibilidad de demostrar que eran capaces de aprender el habla, la escritura y lectura gracias a la ayuda de esos hombres.

El primer paso de la terapia del sordo, fue inventado y dilucidado por Fray Pedro Ponce de León, en España en el año de 1544. Este fraile desempeñó esta labor gratuitamente enseñando a los “sordo-mudos”. En un instante descubrió y aplicó el primer método oral de enseñanza. A él deben los sordos la luz de su prestigioso invento, su desenvolvimiento social desde la soledad e incapacidad de los sordos del aprendizaje y participación de los oyentes, el paso de la oscuridad a la claridad. (*Ibidem*,1995. p.128)

El desarrollo educativo para el sordo no surgió de repente ni tampoco el cambio en la forma de pensar de los gobiernos. Después de la muerte de Fray Pedro Ponce de León, hubo un paréntesis de cerca de cuarenta años en que nadie volvió a ocuparse de la educación del sordo.

Para el año 1620, Juan Martín Pablo Bonet escribió el libro “Reducción de las letras y el arte para enseñar a hablar a los mudos”. En la primera parte de este texto se describía la reducción fonética, y en la segunda el alfabeto manual, base de la dactilografía moderna. Bonet abogó para que todas las personas que tuviesen a su cargo un niño sordo, utilizaran dicho alfabeto.

Entre los años 1712-1789 vivió el Abate Carlos Miguel de l'Epee, considerado por muchos historiadores como el padre de la educación del sordo, la más directa y la más natural. Para él, la lectura labial y el lenguaje articulado eran posibles de enseñar al niño

sordo, pero requerían demasiado tiempo y esfuerzo con muy pobres resultados. Su trabajo se centraba en el deletreo y el lenguaje de señas. (*Ibidem*,1995. p. 128)

Más adelante Samuel Heiniche, creía que el lenguaje hablado era la base de todo el proceso de aprendizaje. Los ojos del sordo tienen que ver la boca. Defendió la posición del método oral. Para él, el pensamiento solo puede crecer con la verbalización. Tras la muerte de Heiniche, se inventó la combinación de los métodos de Alemania. El método silencioso creció y se perfeccionó mucho desde entonces al igual que el método oral.

En el año de 1897, fue dado a conocer otro método, su impulsor fue Max Golstein. La base del método acústico como se llamó, estaba centrado en el entrenamiento auditivo, más adelante en el año 1900 se empezó a utilizar el método simultáneo o método multisensorial y en esta modalidad se incluían las siguientes técnicas: lectura labial, habla, articulación, entrenamiento kinestésico, lenguaje y escritura de la clave Fitzgerald. (*Ibidem*,1995. p.129)

En una época las sociedades señalaban, etiquetaban fuertemente a los niños ciegos, sordos y parálíticos, considerando que no eran aptos para la escuela, sin embargo las sociedades modernas han dado muestras de su evolución y actualmente a nivel internacional, los gobiernos se preocupan por regresar lo que a cada individuo le corresponde desde su nacimiento: “el derecho a la educación”.

En México, durante el gobierno del presidente Benito Juárez, se iniciaron las instituciones pioneras de la educación pública. La visión liberal republicana no fue ajena al compromiso de la educación del discapacitado. Fue así como el gobierno federal expidió el decreto que diera origen a la Escuela Nacional de Sordomudos en 1867. (*Ibidem*,1995. p. 131)

Ya en la etapa contemporánea; muchos son los pioneros que han demostrado en sus vidas el inmenso potencial que late tras el silencioso mundo de las personas no-oyentes. Gracias a grandes personajes, investigadores, pensadores, fundadores de centros educativos, deportivos y sociales, se ha dado un gran empuje a la promoción y extensión de las posibilidades en los diferentes campos profesionales y educacionales para las personas

no-oyentes, aunque se han expresado diferentes opiniones referentes al método educacional en general.

El audífono de mesa fue un adelanto técnico que se puso en servicio a partir de 1932, y desde 1950 a la fecha se han llevado a cabo grandes investigaciones científicas en Estados Unidos de Norteamérica. Uno de los mayores adelantos fue dado por Furth, en su libro "Pensamiento sin lenguaje", donde demuestra la tesis opuesta al ortismo; el pensamiento puede desarrollarse sin el lenguaje oral. (*Ibidem*, 1995. p.129)

Con el aporte de pensadores y pedagogos de la calidad de Piaget, se dieron las bases para una nueva concepción de la educación del sordo, estableciendo una teoría sobre el proceso de adquisición del lenguaje. En su libro Piaget afirma que "el aprendizaje del lenguaje es un proceso que tiene sus raíces en el período sensoriomotor". (*Richmond*, 1974) La formación de símbolos mentales se deriva de la imitación. Ante un fenómeno inexplicable, se limita la acción y se crea así la base para un simbolismo mental posterior. Conforme el niño va superando el período sensoriomotor, su imitación se va "sumergiendo" en sí mismo de manera que los movimientos que representan el objeto o su acción, se van interiorizando y constituyendo en ese mismo esfuerzo de representación corporal, el símbolo mental.

Así encontramos que la mayor parte de los educadores y la casi totalidad de los sordos adultos, defienden la necesidad de introducir precozmente sistemas gestuales en la educación y vida diaria de los sordos, tanto para su desarrollo personal, afectivo y cognitivo, como para su adquisición del lenguaje oral, que se ve así facilitado si se mantiene por supuesto una estimulación adecuada en ambos sistemas de comunicación.

A lo largo de los años se han diseñado y puesto en marcha distintos modelos de atención y éstos han evolucionado de manera muy significativa, encontrando avances tecnológicos en áreas asistenciales, terapéuticas y educativas.

1.2 Deficiencia Auditiva

La deficiencia auditiva se refiere a la pérdida parcial del sentido de la audición.

Al hablar de hipoacusia o deficiencia auditiva, es necesario conocer las características técnicas de la audición, del órgano auditivo, de la percepción auditiva, los niveles de pérdida auditiva, etc., para con ello, poder establecer los requerimientos de diseño relacionados específicamente con la función del objeto a diseñar (filtro).

1.2.1 Importancia de la audición.

La audición no sólo es importante para captar sonidos sino también para poder comunicarnos, nos provee de grandes cantidades de información del entorno, permite localizar fuentes sonoras y objetos por reflexión, sin necesidad de observarlos; nos permite intercambiar con los demás sensaciones, sentimientos, información, necesidades, etc.; por lo que cualquier patología, dificultad o trastorno en la audición podría alterar el proceso de adquisición y desarrollo del lenguaje.

A través de la audición se realiza la percepción de ciertas clases de estímulos vibratorios, que captados por el órgano del oído impactan el área cerebral correspondiente, haciendo que el individuo sea consciente de ello. Esto depende de una serie de eventos que cambian las ondas sonoras en el aire en impulsos eléctricos que el nervio auditivo lleva al cerebro.

Cuando escuchamos, no estamos sólo interpretando datos auditivos, sino también nos relacionamos con el entorno para generar estrategias de supervivencia.

Lo anterior es significativo para tener un buen desarrollo motriz, educativo, recreativo y posteriormente social y laboral. Asimismo la audición y lenguaje son importantes para lograr una integración completa en la comunidad.

1.2.2 Anatomía de la audición

El sistema auditivo está conformado por tres secciones descritas como: oído externo, oído medio y oído interno. La audición no está delimitada solamente al órgano sensorial periférico u oído, sino que es una función mucho más compleja de elaboración neurológica. El oído cumple la función de “micrófono”, capaz de captar el sonido, pero la elaboración y reconocimiento del mismo es una función puramente cerebral. (Bergmann, Bertora, Claussen, 2000)

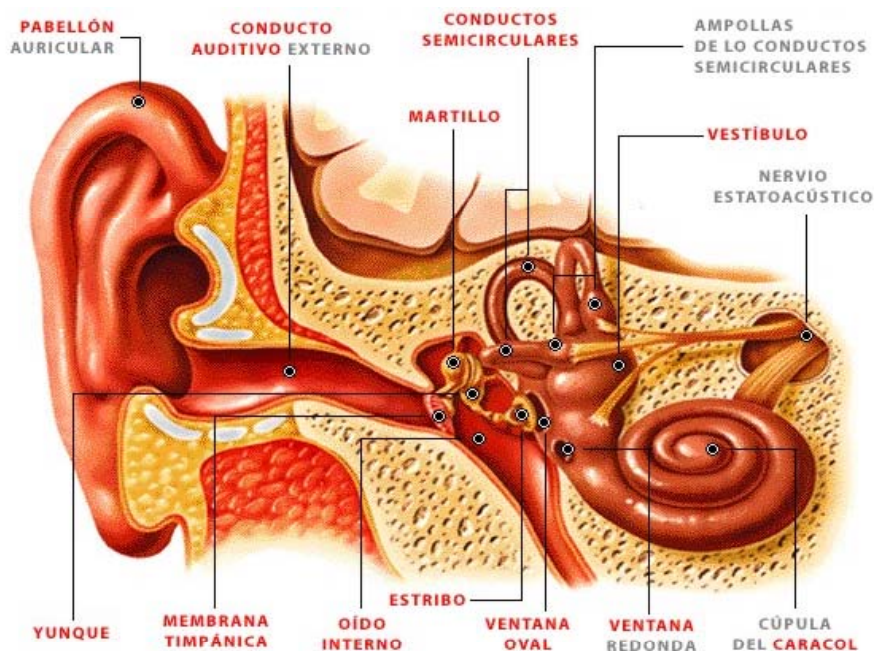


Fig. 1. Anatomía del oído. (Enciclopedia multimedia de los seres vivos)

1.2.3 Fisiología de la audición.

La audición se basa en la percepción de ondas sonoras, las que siguen un proceso bastante complejo. Los sonidos son movimientos vibratorios que originan las fuentes sonoras. Estas vibraciones se caracterizan por tener:

- **Frecuencia:** Definida como el número de vibraciones que se pueden producir en un tiempo determinado. El número de ciclos completados es la frecuencia, que se mide en *Hercios* (Hz). Dependiendo de esta frecuencia, los sonidos pueden ser graves y agudos. El espectro humano detecta sonidos que van desde los 60 hasta los 16,000 Hz. (Domingo y Peñafiel, 1998)
- **Intensidad:** La unidad de intensidad física es el *watt* acústico por centímetro cuadrado. El nivel de intensidad del sonido se ha adaptado a las propiedades del oído, es decir, la unidad audiométrica es el decibelio, décima parte del *belio*. “Los rangos de ésta varían desde los -5 hasta los 140 dB. El umbral del dolor llega a los 140 dB, mientras que el umbral de discomfort llega a los 120 . En una conversación normal a 1 metro de distancia, la intensidad sonora puede alcanzar los 60 dB”. (Domingo y Peñafiel, 1998)

En la fig. 2 se pueden apreciar las frecuencias e intensidades de algunos sonidos comunes, dentro de los cuales se encuentran los sonidos que se emiten en una conversación.

- **Tímbre:** Se produce por la combinación del tono fundamental y los armónicos. (Muscarsel, 1995)

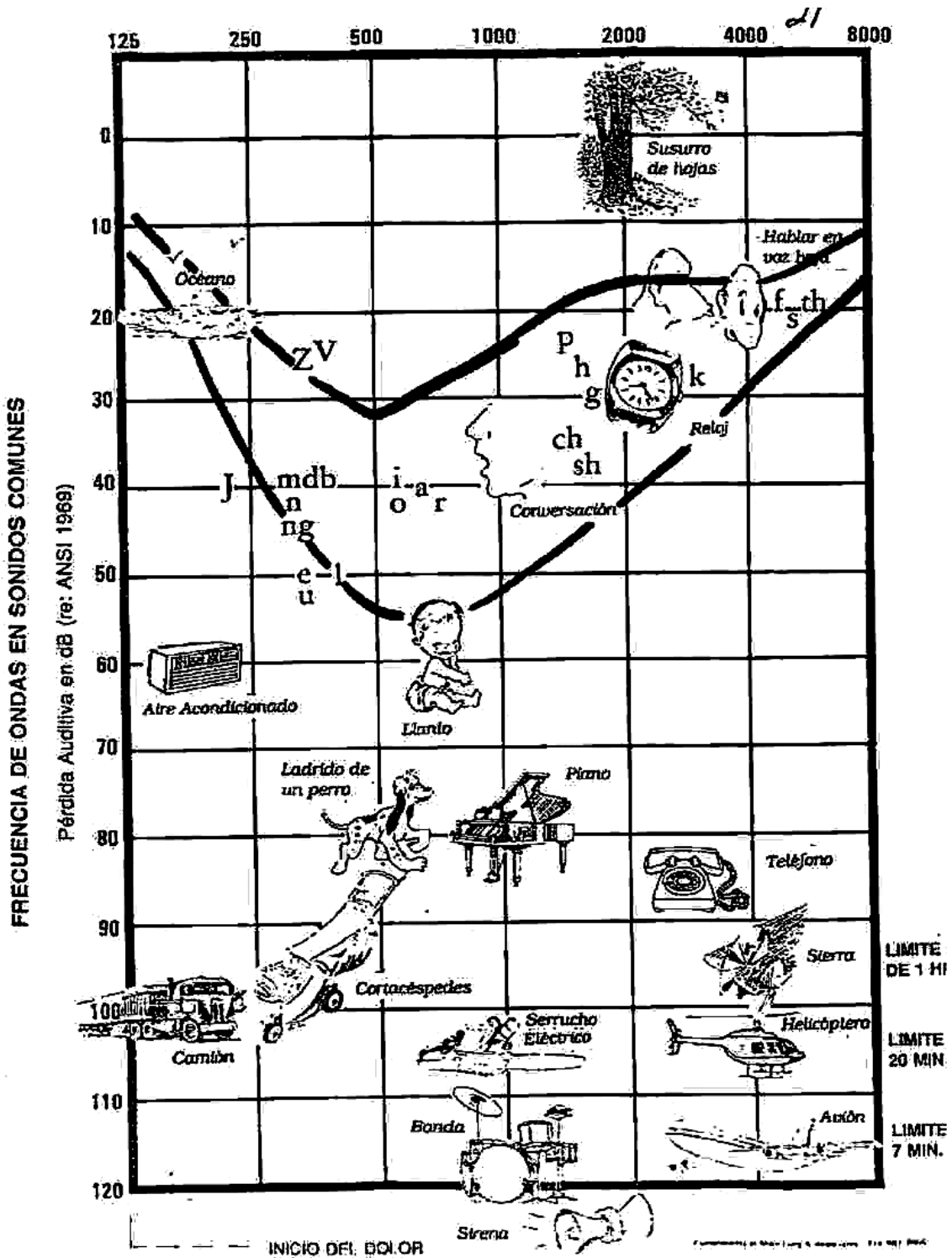


Fig. 2 Gráfica de frecuencias e intensidades en sonidos comunes. (Ayala, María 1998)

El proceso de audición se da de la siguiente manera:

Las ondas acústicas son recogidas por el pabellón auditivo, cuya misión consiste en recoger y localizar las fuentes sonoras. Posteriormente pasa al conducto auditivo externo, facilitando el paso de ciertas tonalidades, entre los 1000 y los 1500 Hz; y a la vez dificulta otras. Se puede pensar que este conducto tiene un calibre que actúa como filtro y de esta forma, el sonido llega a la membrana timpánica donde se ha perdido gran cantidad de intensidad. El sonido produce la vibración del tímpano, que moviliza la cadena de huesecillos de la caja timpánica. El tímpano y la cadena de huesecillos asumirán la función de amplificar las ondas sonoras que se van introduciendo. De ahí las ondas estimulan el Órgano de Corti, de esta forma vibran las distintas membranas de dicho órgano movilizand los líquidos que se encuentran en su interior, produciendo ondas eléctricas en las células ciliadas que conectan con el polo basal y de ahí envían la información que reciben a las áreas auditivas del sistema nervioso central.



Fig. 3. Conducción de las ondas sonoras al sistema nervioso central
(Enciclopedia multimedia de los seres vivos)

La percepción del sonido se lleva a cabo por la vía aérea o por la vía ósea.

Vía aérea: es aquella por la que oímos de forma habitual; es decir, los sonidos entran a través del conducto auditivo externo y tocan a la membrana timpánica, transmitiendo este movimiento a la cadena acicular y a su vez movilizan los líquidos del oído interno (dentro

del caracol), excitando los cilios de las primeras neuronas de la vía auditiva, que llegará al lóbulo temporal del cerebro, donde se localiza el área auditiva.

Vía ósea: No solo percibimos sonidos que llegan directamente por aire hasta el tímpano, sino que además las ondas que hacen vibrar el tímpano también chocan con el cráneo y las vibraciones que en él se producen son recogidas directamente por la cóclea.

Entre la conducción aérea y la ósea existe una diferencia de sensibilidad. La cóclea detecta con mayor intensidad los sonidos que llegan por vía aérea que los que llegan por vía ósea.

1.2.4 Trastornos de la audición.

Hipoacusia Se le llama así al padecimiento que presenta una persona con pérdida auditiva a diferentes niveles y que puede ser temporal o permanente. *Delgado Domínguez (1999)* define a la Hipoacusia como la disminución de la percepción auditiva.

Sordera: Es la pérdida total de la percepción auditiva, también se le conoce como anacusia. *Giménez Salinas F. (1998)* menciona que el término de "sordera" debería reservarse a los casos en que las lesiones de la audición son graves o totales. Él autor clasifica la pérdida de audición (hipoacusia) atendiendo a dos criterios: uno es el topográfico, que se refiere a la zona de ubicación del problema; y el otro es el grado de intensidad.

En el primer caso, la hipoacusia puede ser:

Conductiva.- presentan alteraciones en la transmisión del sonido a través del oído externo y medio.

Neurosensorial.- se da por lesiones en el oído interno o en la vía nerviosa auditiva.

Mixtas.- obedecen tanto a causas sensoriales como conductivas.

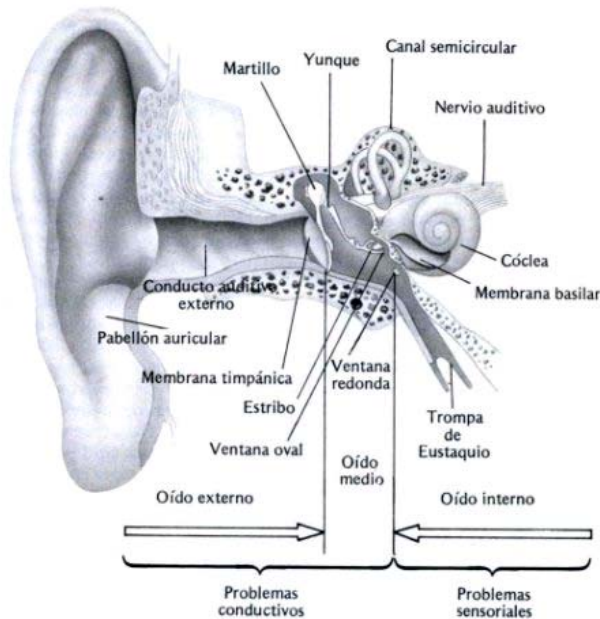


Fig. 4. Elementos anatómicos del receptor periférico de la audición. Zonas de ubicación del problema auditivo. (Flores, Berruecos, 1995)

En función del grado de intensidad, y tomando en cuenta las normas del A.N.S.I. (American National Standards Institute) de 1969, *Giménez Salinas F.* clasifica el grado de pérdida auditiva en cinco tipos:

- **Normoaudición:** el umbral de audición tonal no sobrepasa los 20 dB HL (decibelios de potencia) en la gama de frecuencias conversacionales.
- **Hipoacusia leve:** para umbrales auditivos situados entre 20 y 40 dB HL. No comporta alteraciones significativas en la adquisición y desarrollo del lenguaje.
- **Hipoacusia media:** la pérdida auditiva se sitúa entre 40 y 70 dB HL. No se percibe la palabra hablada, salvo que ésta sea emitida a una fuerte intensidad, lo que implica dificultades para la comprensión y desarrollo del lenguaje.
- **Hipoacusia severa:** la pérdida auditiva se sitúa entre 70 y 90 dB HL. No se escucha la voz, excepto a intensidades muy elevadas. Se utiliza regularmente la lectura labial y es imprescindible el empleo de audífonos y el apoyo logopédico (empleo de métodos para enseñar una fonación normal a quien tiene dificultades de pronunciación) para alcanzar el desarrollo del lenguaje.

- **Hipoacusia profunda:** en este caso, la pérdida auditiva supera los 90 dB HL y, como en el caso anterior, se dan importantes alteraciones en el desarrollo global del niño, afectando a las funciones de alerta y orientación, estructuración tiempo-espacio, desarrollo intelectual y social.

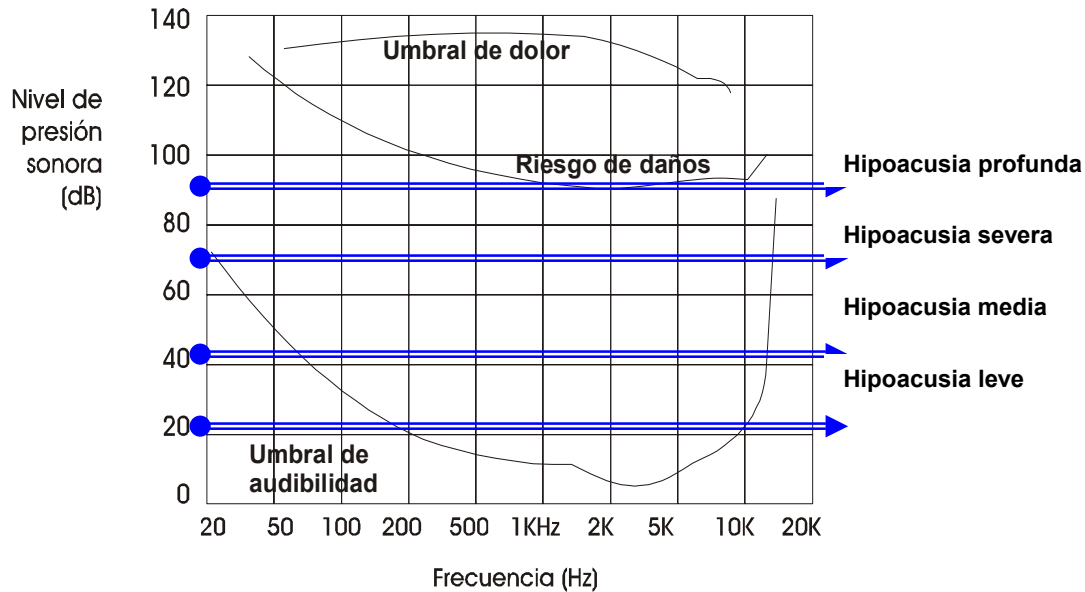


Fig. 5. Gráfica del problema auditivo de acuerdo al grado de intensidad.

La Fundación Canaria para la Prevención de la Sordera a partir de audiogramas establece los siguientes niveles de audición:

- ◆ **Audición Normal** (hasta 25 dB). No existen problemas para oír y entender.
- ◆ **Pérdida de audición mediana** (26-45 dB). Tienen algunas dificultades para escuchar y entender a alguien que les hable a cierta distancia o un poco bajo. Son capaces de oír conversaciones de una en una si ven la cara y están cerca del que esté hablando. Escuchar conversaciones con fondos ruidosos les resulta difícil.

- ◆ **Pérdida de audición moderada** (46-65 dB). Hay dificultades para entender conversaciones aunque no exista ruido de fondo. Tratar de escuchar conversaciones en fondos ruidosos les resulta extremadamente difícil.
- ◆ **Pérdida de audición severa** (66-85 dB). Tienen dificultades para escuchar en todas las situaciones. El habla solo se escucha si el locutor habla alto y muy cerca.
- ◆ **Pérdida de audición profunda**. (mas de 85 dB). No escuchan aunque se les grite o haya ruidos muy fuertes a su alrededor.

Otros autores como Delgado Domínguez (2000) o Northern & Downs (1991) catalogan las pérdidas auditivas como:

- ◆ **Sordera de conducción:** Está caracterizada por una pérdida auditiva de los conductos de aire auditivos mientras el sonido es conducido al oído interno directamente por la vía ósea. Interferencia de cualquier tipo en la transmisión del sonido del canal auditivo externo al oído interno.
- ◆ **Sordera de percepción:** La deficiencia auditiva ocurre cuando el daño ha sido sostenido por el órgano terminal sensorial o las células cocleares, o la disfunción puede ser por falta del nervio auditivo. Es difícil diferenciar si el daño es en el órgano sensitivo o si es un daño neuronal.
- ◆ **Sordera combinada:** Se presenta cuando se combinan la pérdida conductiva y la sensorineural.

La hipoacusia o sordera puede ser **congénita**, originada por factores heredo-degenerativos, en familias con taras somáticas, uniones consanguíneas, cretinismo, etc. Del mismo modo puede presentarse en familias “normales” como consecuencia de alguna enfermedad durante el embarazo.

Así también la sordera puede ser **adquirida**, ocasionada por alguna enfermedad o accidente.

De igual manera, el impedimento puede presentarse **bilateralmente** es decir en ambos oídos, y mostrar un problema diferente en cada uno, o de forma **unilateral** en un solo oído.

Según el momento en el que se presenta la pérdida de la audición, se denomina:

Hipoacusia prelocutiva. Desde el momento del nacimiento, hasta antes de adquirir el lenguaje.

Hipoacusia Postlocutiva. Se produce una vez que el niño ha adquirido el lenguaje.

Lo anterior se puede resumir en la tabla 1, en la que se describe de manera sintética las características de la deficiencia auditiva, como son la ubicación de la lesión, el tipo de deficiencia, y algunas causas y consecuencias de ella.

DESCRIPCION		ACTÚAN	ETIOLOGÍA
UBICACIÓN DE LA LESIÓN	Sordera de transmisión	Oído Medio	Malformaciones diversas. Otitis inflamatorias. Otosclerosis Perforaciones timpánicas. Obstrucciones tubáricas. Tumores.
	Sordera de Percepción	Cóclea	Trauma auditivo. Herencia. Supuraciones. Inflamaciones. Malformaciones.
		Nervio auditivo S.N.C.	Neurinoma (tumor). Procesos víricos o degenerativos. Tumores.
	Sorderas Mixtas	Medio e Interno	Anteriormente enumeradas.
DEFICIENCIA AUDITIVA	APARICION DE LA LESION	Sorderas hereditarias	Tara recesiva. Tara dominante.
		Sorderas adquiridas	Enfermedades infecciosas y ciertos antibióticos
		Sorderas Prenatales	Rubeola. Sífilis. Toxemia.
		Sorderas Perinatales	Anoxia Fórceps. Rh incompatible. Traumatismos obstétricos.
		Sorderas Postnatales	Meningitis. Otitis. Sarampión. Paperas. Encefalitis.
DEFICIENCIA AUDITIVA	Ligera	Pérdida entre 20 y 40 db. Dificultad articulatoria Identificación incompleta de las palabras.	
	Media	Perdida entre 40 y 70 db. Identificación incompleta sólo vocales. Articulación defectuosa. Estructuran su pensamiento verbal.	
	Severa	Pérdida entre 70 y 90 db. Sin lenguaje espontáneo. Son sordos medios. Requieren atención especial.	
	Profunda	Perdida superior a 90 db. Sin lenguaje oral. Son sordos profundos. Dificultades socioeducativas.	

Tabla 1. Descripción de las deficiencias auditivas (Domingo Segovia y Peñafiel Martínez, 1998)

1.2.5 Patología de la audición

Generalmente los trastornos o perturbaciones de la audición son provocados por una patología orgánica, que afecta diferentes áreas del conducto auditivo.

Entre las patologías que afectan al oído externo y provocan falta de audición se encuentran:

- ◆ Las malformaciones situadas en el conducto auditivo, como la ausencia de dicho conducto.
- ◆ Un tapón de cerumen.
- ◆ La otitis externa, que se presenta como una inflamación e infección del conducto auditivo externo. Generalmente es producida por una bacteria.
- ◆ Tumores

La patología del oído medio es básicamente la Otitis Media, y puede ser:

- ◆ Serosa. Producida por procesos inflamatorios a nivel de la faringe.
- ◆ Exudativa o Supurada. Producida por gérmenes, y puede llegar a la perforación de la membrana timpánica.

Las principales patologías que afectan el oído interno son:

- ◆ La otoposclerosis.- Consiste en la soldadura del estribo en los márgenes de la ventana oval.
- ◆ Ototoxicidad.- Toxicidad sobre el oído interno, provocada por productos farmacológicos y no farmacológicos.

Tomando como base las patologías que generan una disminución en la percepción auditiva, se han establecido algunos factores de riesgo para facilitar la identificación y seguimiento de los niños que pueden presentar un déficit auditivo.

La NIH Consens Declaration de 1993, publicó como **Factores de riesgo** de la pérdida auditiva adquirida durante la niñez temprana: la meningitis bacteriana, que es asociada con una incidencia del 5-30 por ciento de la pérdida profunda del oído. Otros factores son: traumas de cabeza, encefalitis viral, la exposición excesiva al ruido, la exposición a medicamentos ototóxicos, la infección citomegalovirus perinatal (CMV), deterioro auditivo familiar, los infantes con enfermedad del pulmón crónica, e infantes con episodios repetidos de medios de comunicación de la otitis con flujo persistente de la oreja media.

Martínez Cruz (1996) enumera ocho factores de riesgo para daño auditivo en el período neonatal, éstos son:

- ◆ Asfixia neonatal severa.
- ◆ Hiperbilirrubinemia neonatal
- ◆ Exposición a fármacos.
- ◆ Circulación fetal persistente
- ◆ Peso al nacer menor a 1.500 g.
- ◆ Hemorragia subependimaria/intraventricular.
- ◆ Dificultad respiratoria que ameritó ventilación mecánica.
- ◆ Septicemia y/o meningitis neonatal.

1.3 Detección Temprana de la Pérdida Auditiva.

Durante los primeros años de vida, la mente de un niño es como una esponja; aprende el lenguaje muy rápido. Si no se reconoce temprano que un niño tiene problemas para oír y no se le da ayuda efectiva, los mejores años para aprender las destrezas de la comunicación podrían perderse (de 0 a 7 años de edad).

En la primera infancia el niño aprende de los seres humanos que le rodean los mecanismos básicos de la comunicación a un nivel pre-verbal, mientras que va desarrollando una forma de expresión verbal. En esta fase de desarrollo, la identificación natural del estímulo auditivo juega un papel fundamental, sobretodo en la organización del lenguaje. (*Supalla, 1995*)

El recién nacido sordo presenta una producción vocal espontánea semejante a la de un bebé oyente, pero esa voz natural ante la falta de retroalimentación auditiva tiende a desaparecer progresivamente a partir de los seis o siete meses, si no se le estimula adecuadamente. No hay que olvidar que es, precisamente, hasta los tres años cuando se desarrollan en el ser humano las bases de la comunicación y del lenguaje. Se trata del llamado "período crítico" de desarrollo, durante el cual las estructuras cerebrales se encuentran en una situación óptima para ese aprendizaje. De ahí que sea absolutamente indispensable actuar para que el niño adquiera la mayor cantidad posible de estructuras comunicativas y lingüísticas durante el período en que se encuentra biológicamente mejor preparado para ello.

El desarrollo motor temprano y las primeras adquisiciones psicosociales e incluso el lenguaje expresivo hasta los 8 meses, pueden ser normales en niños hipoacúsicos. La valoración subjetiva de la audición es, por ello, difícil y poco sensible como método de detección durante los primeros meses de vida.

Sin embargo, el período más importante para la adquisición del idioma y el desarrollo del discurso está en los primeros tres años de vida, por lo que si el niño presenta una disminución en su capacidad auditiva, la comunicación y el lenguaje se ven seriamente

afectados. Lo anterior genera una clara necesidad de que la hipoacusia o sordera se detecte a edad temprana y así evitar la alteración del desarrollo "normal" del niño. (NIH, 1993)

La edad promedio de identificación de la pérdida auditiva en muchos países, sigue siendo posterior a los 2 años en el caso de pérdidas profundas; aunque en el caso de niveles menores de pérdida pueden detectarse posterior a los tres años. El resultado es que los infantes pierden un período crucial para el aprendizaje del idioma y el discurso.

Uno de los problemas por los que no se identifica a tiempo la hipoacusia o sordera, es porque hasta el momento, la mayoría de los programas neonatales se han enfocado a los infantes que presentan uno o más de los criterios para la inclusión en el "registro de alto riesgo." (HRC por sus siglas en inglés). Sin embargo, este criterio limita y excluye aproximadamente al 50 por ciento de los infantes con pérdida auditiva. El método empleado para los niños de alto riesgo ha sido el ABR (Auditory Brainstem Response) que se explica más adelante, combinado con el seguimiento audiológico y/o diagnóstico. Sin embargo y a pesar de la eficacia de la prueba, diversos aspectos como son altos costos y falta de equipo en muchos hospitales, ha evitado la aplicación general de este método a toda la población con posible daño auditivo.

1.3.1 Identificación temprana.

Identificar tempranamente la limitación auditiva en recién nacidos es un problema, puesto que ellos no pueden indicarnos si pueden o no oír bien, y si no se detecta, no puede darse tratamiento.

Arnie, Loune (1982) señala que la identificación temprana significa el reconocimiento de una perturbación auditiva infantil y el comienzo de una educación auditiva en la iniciación fisiológica del desarrollo lingüístico, es decir entre los 6 y los 8 meses.

Por ello considera la identificación de un daño auditivo después del segundo año de vida como un diagnóstico tardío.

Asimismo, asegura que el éxito en la educación auditiva y lingüística de niños sordos se incrementa considerablemente si ésta comienza antes del término del octavo mes de vida. Por ello es importante la identificación temprana.

La detección temprana de la sordera o hipoacusia, en el período neonatal posibilita el brindar un tratamiento efectivo que reduzca significativamente el problema de audición; sin embargo esto no sucede porque en la mayoría de los casos la detección se retrasa; en primer lugar por la falta de información a los padres, que al desconocer el tipo de problema no solicitan al doctor aplicar las pruebas de audición a sus hijos, y en segundo, por los médicos que no revisan minuciosamente a los niños.

Delgado Domínguez (1999) señala que la hipoacusia, incluso la sordera profunda, es una entidad tratable. Los resultados del tratamiento, en términos de adquisición del lenguaje y de incorporación a la sociedad por parte de los niños afectados, dependen de lo precoz que sea el diagnóstico.

La importancia de la detección temprana es tanto para las hipoacusias severas y profundas como para las leves y moderadas; cuanto más precoz es el examen, mejores resultados se obtienen, por ello es primordial el filtraje auditivo. Este se refiere a evaluar a todos los niños identificando a los que tienen un posible daño auditivo, para que sean valorados posteriormente por el otorrinolaringólogo y se tenga un diagnóstico preciso.

El mayor beneficio derivado del filtraje auditivo vendría dado por la detección precoz de la sordera de moderada a grave antes de los tres meses en los recién nacidos cuando presentan sordera congénita, y cuanto antes entre el nacimiento y los tres años en los casos adquiridos o de aparición tardía, dado que los estímulos auditivos durante este período son críticos para el desarrollo del habla y el lenguaje y de ahí muchas otras funciones humanas posteriores.

Si el filtraje se produce cerca del nacimiento, seguido de un diagnóstico definitivo, la elección de un tratamiento y el éxito del mismo dependerán de la causa. Existen diferentes formas de tratar los problemas de audición dependiendo del grado de hipoacusia: medicamentoso, quirúrgico, protésico, tratamiento funcional, estimulación auditiva, rehabilitación y habilitación auditiva.

En el caso de la sordera neurosensorial, el tratamiento puede ir desde la amplificación, en la mayoría de los casos; hasta la intervención quirúrgica para realizar un implante coclear en los niños con sordera profunda, que de acuerdo con el diagnóstico del médico sean buenos candidatos, ya que no a todas las personas que presentan sordera neurosensorial profunda se les puede intervenir.

Las sorderas conductivas también se pueden tratar con la implementación de un auxiliar auditivo, o a través de una pequeña intervención cuando se trata de un bloqueo por cerumen del canal auditivo; sin embargo en el caso de una membrana timpánica perforada es muy difícil que se puede reparar.

El factor tiempo en el caso de la pérdida auditiva, es decisivo, ya que en la niñez temprana es en la que se dan los mayores progresos en el campo lingüístico e intelectual y si faltan los impulsos educativos oportunos el niño no tendrá un desarrollo intelectual adecuado.

En la declaración de 1993 de los Institutos Nacionales de Salud (NIH por sus siglas en inglés) de E.E.U.U, se recomienda que el filtraje se realice en todos los infantes dentro de los primeros 3 meses de vida. Para ello se utilizan técnicas como: la emisión de sonidos con diversos objetos, ejemplo una campanita, éstas pruebas son rápidas, fiables, muy sensibles, específicas, y fáciles de utilizar por personal especializado.

El descubrimiento de la sordera o de una pérdida de audición debería realizarse antes de que el bebé deje el hospital al nacer; así también deberían existir lugares adecuados donde se pueda realizar de manera óptima la identificación de la pérdida

auditiva entre los dos y tres años. En algunos países los programas de filtraje auditivo se realizan en centros preescolares.

Por otra parte, también es importante la educación de padres o tutores, personal médico, y otros profesionales que atienden y pueden observar al niño, ellos podrán reconocer factores que ponen al niño en alto riesgo de tener una pérdida auditiva y las señales conductuales de un posible cambio auditivo.

1.3.2 Objetivos de la identificación temprana

- ◆ Identificar el daño auditivo al nacimiento para efectuar la intervención apropiada lo más pronto posible.
- ◆ Evitar o reducir las secuelas en el desarrollo originadas por la disminución auditiva.
- ◆ Eliminar o contener las consecuencias psicológicas en los niños así como en los padres.

1.3.3 Ventajas y consecuencias de la identificación temprana

Muchos estudios han demostrado que la intervención temprana con un programa de habilitación auditiva, puede mejorar el desarrollo del lenguaje y mejorar los logros académicos a lo largo de su vida. La intervención temprana actualmente ahorra dinero, a partir de que el niño afectado quien recibe ayuda temprana requerirá servicios menos costosos en su educación especial.

Durante las últimas dos décadas, los adelantos en la tecnología han proporcionado mejores oportunidades para identificar las limitaciones auditivas en los bebés poco después

del nacimiento. Los beneficios de la evaluación sistemática, en la identificación temprana y la intervención pueden variar dependiendo de la severidad de la pérdida.

Los niños con pérdida auditiva sensorineural que ingresan a tiempo a un programa de habilitación y tienen acceso a un buen amplificador, pueden mejorar las habilidades del idioma, la autoestima, tener logros escolares, y una buena adaptación psicosocial comparada con la de los niños que no reciben a tiempo la habilitación. Sólo pueden lograrse las ventajas de intervención temprana cuando los servicios apropiados están disponibles y accesibles a estos niños y sus familias.

No obstante, está claro que entre más temprana sea la identificación de la limitación auditiva, más eficaz será la intervención, mejorando las habilidades de comunicación, el desarrollo del idioma, y el ajuste conductual. Lo ideal sería poder identificar a todos los niños con problemas auditivos en el nacimiento. Sin embargo, el costo del filtraje impide que se realice en el global de la población. Se han hecho esfuerzos para disminuir los costos de la prueba, pero ésta se sigue realizando sólo en aquellos bebés que presentan factores de alto riesgo. Por ello, la investigación muestra que sólo el 50 por ciento de los niños, son diagnosticados con una disminución severa de la audición. A pesar de los programas de filtraje actuales, la edad promedio para la detección es aproximadamente 2-1/2 años de edad.

1.4 Panorama de la detección

Existen en todo el mundo más de 42 millones de personas con problemas auditivos (OMS Organización Mundial de la Salud), personas y niños que enfrentan día con día a un sin fin de problemáticas (barreras) ocasionadas por su limitación auditiva. Las secuelas de esto podrían reducirse hasta en un 90% si se detectara y atendiera a tiempo la deficiencia. (Díaz y Balanza, 1999)

En cada país la detección temprana se aborda de diferente manera, y en su mayoría las pruebas para la detección de la hipoacusia se realizan solo a bebés considerados de alto riesgo, por lo que la mayoría de los niños que tienen alguna deficiencia son detectados tardíamente, demorándose por ende el proceso habilitatorio y dejando en el niño secuelas que tarde o temprano le causaran conflictos, de comunicación y aprendizaje.

Por ello, actualmente se está tratando de implementar un programa de filtraje universal, el cual permitirá que se descubra y se atienda oportunamente a todos los casos con deficiencia auditiva y así reducir al máximo los problemas de hipoacusia. No obstante, a la fecha son muy pocas las ciudades que realizan el filtraje universal; esto se debe en gran parte al nivel socio-económico y al acceso a los avances tecnológicos con que cuentan, así como a la falta de información y capacitación del personal de las instituciones.



Fig. 6 Valoración de un niño con hipoacusia.

1.4.1 Estados Unidos

Estados Unidos, país a la vanguardia de los avances tecnológicos y con una economía muy fuerte, manifiesta una necesidad clara de métodos y modelos de identificación temprana de la limitación auditiva.

Cerca de 28 millones de personas en Estados Unidos presentan un daño auditivo. La pérdida de la audición en ese país es uno de los sucesos de salud que más predomina, donde existen personas de todas las edades, en todos los segmentos de la población, y en todos los niveles socio-económicos. (www.nichcy.org.) La pérdida auditiva afecta aproximadamente a 17 en cada 1,000 niños de 18 años hacia abajo. La incidencia aumenta con la edad: aproximadamente 314 en 1,000 personas por arriba de la edad de 65 años tienen pérdida auditiva. Ésta, puede ser hereditaria, o puede ser derivada de una enfermedad, trauma, o resultado de la exposición a largo plazo a ruido perjudicial o medicaciones, y puede variar de una pérdida leve pero de sensibilidad importante, a una pérdida total.

El Arnot Ogden Medical Center (www.aomc.org/newborn_hs.html) menciona que aproximadamente uno de cada mil niños en EU nace sordo o con una pérdida auditiva severa, que si no es detectada antes de que el pequeño cumpla los dos años de edad, puede interferir con el desarrollo de las habilidades del lenguaje y del habla.

De igual manera, los Institutos Nacionales de Salud (National Institutes of Health [NIH]), señalan que hay alrededor de 4 millones de nacimientos vivos cada año en los Estados Unidos. Presentándose una incidencia de daño auditivo de 0.1 por ciento por cada año (es decir, 1 de cada 1,000), de los 3,996,000 bebés que son o deberían ser filtrados, lo que nos lleva a deducir que cerca de 4000 nacen con un daño auditivo profundo, siendo de vital importancia que se identifiquen rápidamente. Lo que implicaría a largo plazo menores costos en su atención. (NIH, 1993)



Fig.7. Enseñanza del lenguaje signado.

[\(www.cdc.gov/nceh/cddh/\)](http://www.cdc.gov/nceh/cddh/)

Adicional al porcentaje de niños que nace con pérdida auditiva profunda, muchos más nacen con grados menos severos de daño auditivo, y otros (aproximadamente 2 de cada 1000) desarrollan el problema auditivo durante la niñez. Esto en gran parte se presenta, por los niños que reciben o necesitan tratamiento médico durante los primeros meses de vida, mismos que tienen el riesgo de perder la audición. Uno de cada cincuenta de los niños que se encuentran en cuidados intensivos tienen problemas auditivos. (Northern & Downs, 1991)

El filtraje auditivo, el cual se refiere a la identificación y selección de los casos con posibilidad de deficiencia auditiva para canalizarlos a una prueba más completa en donde se de el diagnóstico correcto del padecimiento que presentan, fue introducido en Estados Unidos a principios de la década de los 70's, y las primeras pruebas estaban basadas en un test de observación del comportamiento y se recomendaban las pruebas audiométricas principalmente a los bebés de alto riesgo y de acuerdo a criterios ya establecidos. Los factores registrados son: Asfixia, meningitis bacterial, infecciones congénitas y perinatales, defectos en el oído, bilirrubina elevada, historia familiar, peso menor a 1500 grs. al nacer. (Northern & Pike, 1989).

En 1991 los centros para el control y prevención de enfermedades (por sus siglas en inglés, CDC); pusieron en marcha un programa denominado **Programa de Monitoreo Sobre Discapacidades en el Desarrollo Para el Área Metropolitana de Atlanta (MADDSP, por sus siglas en inglés)** que fue diseñado con el objeto de monitorear el número de niños entre 3 y 10 años de edad que viven en la zona metropolitana de Atlanta y que tienen una

o más de las condiciones siguientes: retraso mental, parálisis cerebral, problemas del oído o mala visión. Los CDC agregaron los trastornos relacionados con el autismo al programa en 1998. Este es uno de los pocos programas en el mundo que realiza un monitoreo activo y constante de la cantidad de niños con audición inadecuada en una zona metropolitana grande y muy diversa. (NCEH,1999)

En 1995 en la ciudad de Nueva York se implementó un programa piloto, filtrando a más de 11,000 recién nacidos, donde se logró contar con los resultados inmediatamente después de realizar la prueba, mismos que se les proporcionaban a los padres con la finalidad de que se le diera el tratamiento necesario. Todos los hospitales regionales de perinatología estuvieron involucrados en el programa piloto. Los métodos de evaluación empleados fueron el ABR y las EOA.

En 1982 El Joint Committee on Infant Hearing recomendaba identificar a los infantes con riesgo de pérdida auditiva de acuerdo con los factores especificados por la Academia Americana de Pediatría. Sin embargo, el filtraje de alto riesgo identifica sólo al 50%, por lo que se puede decir que únicamente el 50 % de los casos se detecta en edad adecuada, y el otro 50% se identifica e interviene en una etapa tardía. (ASHA, 1994)

Se ha observado que la intervención temprana en los niños con pérdida auditiva, debe iniciar antes de que el niño cumpla 1 año, debido a que esto proporciona mejores resultados. No cabe duda de que la identificación temprana de la pérdida auditiva es importante para mejorar la audición y habilidades del lenguaje en el niño.

En marzo de 1993, en EUA se determinó la necesidad de detectar a todos los niños con pérdida auditiva, para lo cual los Institutos Nacionales de Salud desarrollaron y publicaron un acuerdo denominado: **“Early Identification of Hearing Impairment in Infants and Young Children. NIH Concerns Statement” (Identificación Temprana de la Disminución Auditiva en Recién Nacidos y Niños Pequeños. Declaración NIH de Preocupaciones)**, determinando que todos los niños con hipoacusia deberían ser identificados antes de los 3 meses de edad y recibir intervención antes de los 6 meses de

edad. Para lo cual se recomendaba que se realizaran las pruebas de filtraje auditivo a todos los recién nacidos, advirtiendo la necesidad de una prueba universal.

Los Servicios Públicos de Salud, el Comité de Audición Infantil, el Instituto Nacional de Salud, así como la Asociación Americana de Audición y Lenguaje también recomiendan que las pruebas se realicen a todos los bebés a partir del primer mes, dando un diagnóstico al 3er. mes, para iniciar la intervención a partir de los 6 meses de edad.

No obstante la edad promedio de la identificación, a principios del 2000 continuaba siendo entre los 12 y los 25 meses. Esto se debe a que en la mayoría de los hospitales las pruebas para determinar algún problema audiológico siguen realizándose sólo a los bebés considerados de alto riesgo, lo que origina que únicamente del 40 al 50 % de los niños con pérdida auditiva se identifiquen a una edad adecuada, otro motivo es, como ya se mencionó antes, que son pocos los bebés que nacen en hospitales que tienen implementada la prueba de filtraje universal.

Los métodos empleados para el filtraje auditivo universal se basan en la combinación de ABR y EOA, para una mejor detección. Los avances tecnológicos permiten que los costos estén entre los 25 y 40 dólares

El NIH recomienda que para el tamizaje en los bebés “regulares”, se empleen técnicas que son rápidas, fiables, muy sensibles, específicas y fácilmente de utilizar por personal especializado. La identificación temprana debería imponerse a todos los niños como un adjunto importante al cuidado de salud de niño. También recomienda que el descubrimiento de la sordera o las pérdidas progresivas debería realizarse antes de que el bebé deje el hospital. Por otra parte denuncia la falta un sitio en el que se pueda realizar de manera óptima la identificación de los problemas auditivos entre los 2 y los 3 años. En algunos sitios, los programas de filtraje auditivo, se realizan en guarderías.

Por otra parte el NIH también señala que es importante la educación de padres o cuidadores, personal médico y lactante, y todos los demás profesionales que tienen oportunidad de observar al niño, para que pueda reconocer factores que ponen al niño en

peligro de tener una pérdida auditiva y las señales conductuales de un posible cambio auditivo, el período para vincularse a la valoración audiológica apropiada.

Finalmente, debe reconocerse que un componente crítico de cualquier programa de evaluación auditiva, es un sistema del banco de datos, que es importante para rastrear el progreso de los bebés y niños identificados por el programa y para continuar supervisando todos los aspectos del programa de filtraje.

1.4.2 Inglaterra

Para apoyar la aplicación de la Prueba Universal de Filtraje Auditivo Neonatal (PUFAN) en el REINO UNIDO, un grupo de especialistas ha estado trabajando para producir un acuerdo general en el que se impulse que la detección de deficiencias auditivas se realice a edad temprana. Este acuerdo está documentado en la metodología de las pruebas auditivas conocidas.

Las pruebas en las que han basado su trabajo son: las emisiones otoacústicas, los potenciales evocados, la timpanometría y algunas pruebas de comportamiento como las audiometrías. Así mismo se toma en cuenta el papel de padres y/o familiares en la observación de los niños.

Estos esfuerzos dieron inicio a finales de la década de los 90's, a la publicación de la revisión sistemática del Filtraje Auditivo Neonatal, que surgió como resultado de la Declaración del Consenso Europeo en el Filtraje Auditivo Neonatal, firmada el 16 de mayo de 1998, en Milán, Italia. (www.oae-ilo.co.uk)

Como consecuencia un grupo nacional de investigadores y concedores del tema, empezaron a reunirse en el *MRC Institute of Hearing Research in Nottingham*, con la finalidad de discutir algunos de los problemas de aplicación de la PUFAN. Para ello se sostuvieron dos talleres en los que se analizaron los métodos de detección, estos tuvieron lugar el 9 octubre 1998 y el 17 de marzo de 1999. (Day, John; 2000)

En dichos talleres, también se estudió la necesidad de que Inglaterra incorporara el filtraje neonatal en el ámbito nacional; ya que sólo un distrito de Londres (Waltham Forest) ha comunicado que hace *cribado* universal y en todas las demás ciudades del Reino Unido el Filtraje Neonatal se realiza a bebés de alto riesgo. Para lograr ese objetivo, el grupo empezó a concentrar especialistas de diversas instituciones relacionadas de alguna manera con los problemas de audición.

De igual manera, en dichos talleres se vió la necesidad de producir documentos en los que se registraran los acuerdos generales a los que llegara el grupo sobre la metodología a emplear en las pruebas universales de filtraje auditivo neonatal. Para determinar la metodología; además de los análisis en los talleres, en 1998, 1999 y 2000 se realizaron algunos estudios para determinar las cualidades, ventajas y desventajas de los diferentes métodos de detección. A partir de esos estudios se han elaborado los diversos protocolos para la implementación del filtraje auditivo neonatal “universal”. En dichos protocolos se proporciona información sobre cada una de las técnicas y una “guía” para trabajar con ellas, refiriendo la forma en la que ha de realizarse la prueba, tiempos, materiales necesarios, cuidados, recolección de datos, etc. De igual manera se hacen algunas recomendaciones, como la de realizar el cribado con más de un método para tener un diagnóstico acertado.

En los protocolos se incluye la detección temprana, además de pruebas a niños de 3 a 6 años de edad, ya que se estima que existe una gran cantidad de niños entre esas edades que tiene problemas de audición por no haberse realizado en ellos el filtraje universal.

1.4.3 España

España al igual que otros países europeos está haciendo un gran esfuerzo para prevenir las secuelas presentadas a causa de los problemas de audición.

Es uno de los países que más apoyo proporciona a las personas con discapacidad y cuenta con instituciones dedicadas a la investigación y atención a las necesidades de ese grupo poblacional. La detección oportuna de los problemas de audición ha captado su

atención en los últimos años, sobre todo cuando se piensa o reflexiona en los niños y en la posibilidad de evitarles posteriores complicaciones en su sano desarrollo.

Según un artículo de Delgado Domínguez, la hipoacusia predominante en el recién nacido y el lactante se estima entre 1.5 y 6.0 casos por 1,000 nacidos vivos (según el grado de daño existente). En la edad escolar la prevalencia de hipoacusia de más de 45 dB es de 3:1.000 y de cualquier grado hasta de 13:1.000. Un estudio realizado en la Comunidad Europea, con el criterio de 50 dB a los 8 años, arroja un resultado de 0.74 a 1.85:1.000. En niños que sufren determinados factores de riesgo, la incidencia puede elevarse hasta el 4% para hipoacusias graves y del 9% si se suman las leves y las unilaterales.

Un folleto de divulgación de la Federación Española de Asociaciones de Padres y Amigos de los Sordos (FIAPAS) "Comprueba si tu hijo oye", editado en 1990, puede ser un instrumento útil para crear conciencia en los padres de la importancia de comprobar si su hijo oye bien y darles las claves para el seguimiento. (*Arriba caballero, 2000*)

En España, los grupos que se han estado ocupando del problema de la hipoacusia y su detección temprana, se localizan en las siguientes ciudades: Valencia, Madrid, Extremadura, Baleares, Cataluña, Barcelona, Galicia y Tenerife. (*Delgado Domínguez, 1999*).

En 1998, el grupo de prevención en la infancia y la adolescencia del PAPPS decidió recomendar como objetivo el cribado universal; sin embargo, aún faltan estudios que permitan conocer la viabilidad de la medida en dicho entorno, dado que ni siquiera el cribado en grupos de alto riesgo es una actividad generalizada y el seguimiento de los casos detectados dista mucho de ser el óptimo.

1.4.4 Latinoamérica

En América Latina también se están haciendo esfuerzos para contribuir a la reducción de problemas de discapacidad ocasionados por limitaciones en la audición. Países como Cuba y Argentina desde hace algunos años están trabajando en ello, estudiando algunos de los métodos empleados por países como Estados Unidos e Inglaterra en la detección de deficiencias auditivas.

Desde la década de los 80's se empezó a trabajar en Cuba sobre el filtraje auditivo en niños de alto riesgo, el cual estaba inmerso en un Programa Nacional de Cuidado de la Salud como elemento esencial preventivo.(www.saludlatina.com) A partir de esos trabajos los especialistas pudieron confirmar que era necesario el filtraje universal y no sólo en los bebés considerados de alto riesgo.

Por tal motivo se consideró que dentro de los programas de prevención que tenía Cuba debía haber uno para la prevención de la Hipoacusia. Con el propósito de determinar si el plan de prevención había sido el adecuado, unieron sus esfuerzos el Hospital Materno Infantil "10 de Octubre" y la Facultad de Ciencias Médicas de la Habana, Cuba; y llevaron a cabo un estudio con el empleo de Potenciales Evocados, para determinar la incidencia de pérdida auditiva en los recién nacidos, desde 1986 y hasta 1995 se filtraron 52.825 niños de los que resultaron solo 30 recién nacidos con pérdida auditiva, lo que indica que la incidencia de hipoacusia es de 0.57 por cada mil nacidos vivos. (García Domínguez & Cueto Guerreiro, 1995)

Con el resultado de este estudio se llegó a la conclusión de que los programas de prevención estaban funcionando de manera correcta y que en conjunto con las tecnologías médicas más adelantadas y la formación de personal calificado, se podrían reducir en gran medida los problemas de hipoacusia.

Argentina inició sus estudios en el tema a principios de la década de los 80's, al igual que en Cuba y en muchos otros países el filtraje auditivo en principio, sólo se realizaba a los bebés de alto riesgo; sin embargo, en algunas investigaciones realizadas por Arnie,

Loune (1982) se encontró que el 87% de los niños con problemas de audición se detectan tardíamente, por lo que desde entonces, la Dra. Arnie inició sus estudios y recomendaciones sobre la detección temprana de deficiencias auditivas.

Sus primeros estudios, se referían a la identificación temprana por mediciones auditivas y se basaban completamente en audiometrías.

Otra Investigadora del tema es la Dra. Stella M. Mantilaro (1997) Fonoaudióloga del Hospital Italiano de Buenos Aires, quien trabaja con niños de alto riesgo desde 45 días de nacidos y emplea en sus trabajos los métodos de Emisiones Otoacústicas, Potenciales Evocados y Tímpanograma.

1.4.5 México

Algunos cálculos indican que uno de cada 750 nuevos bebés que nacen puede presentar un deterioro auditivo. (Orozco, Francisco H. 1994)

Por otro lado, la Organización Panamericana de la Salud (OPS) manifiesta que la tasa anual de nacimientos en México es del 1.8%; lo que indica que si la población asciende aproximadamente a 97.5 millones de personas, el total de nacimientos por año se aproxima a 1,746,000. También señala que de uno a tres niños por cada mil presenta problemas de audición, lo que arrojaría una cifra de alrededor de 2000 niños nuevos con problemas de audición al año.

En México, los investigadores que más han trabajado para encontrar algunos métodos de detección de la pérdida auditiva en niños pequeños son los Especialistas del Instituto Nacional de Comunicación Humana (INCH), quienes por más de 10 años han desarrollado estudios sobre el tema de la pérdida auditiva.



Fig. 8. Valoración audiológica a un recién nacido.

[\(www.cdc.gov/nceh/cddh/\)](http://www.cdc.gov/nceh/cddh/)

Otros profesionistas que han estado investigando sobre los métodos de detección de la sordera, son los profesores investigadores del Laboratorio de Audiología de la Universidad Autónoma Metropolitana unidad Iztapalapa (UAM-I) y algunos especialistas del Instituto Nacional de Perinatología.(INP)

En el INCH, Francisco Hernández O., C. Martínez Cruz, Adrián Poblano, Eduardo Montes de Oca y colaboradores han estado haciendo diversos estudios sobre algunos métodos de detección de la hipoacusia.

Así también, en 1993 investigadores del INCH realizaron un estudio para validar el uso de juguetes sonoros mexicanos en la detección temprana de hipoacusias profundas bilaterales. En el estudio se emplearon tres juguetes sonoros (matraca, timbre y palo de lluvia), los resultados de esta prueba determinaron que los juguetes podían ser empleados para identificar sorderas severas profundas, puesto que se compararon con los arrojados por los Potenciales evocados de tallo cerebral (PETC) donde no hubo gran diferencia. Sin embargo, analizando el escrito del estudio realizado con los juguetes, se pueden observar detalles que no permiten confiar del todo en esa prueba; aspectos como: que los sonidos no son siempre constantes, que las frecuencias e intensidades de los sonidos emitidos varían dependiendo de cómo se haga sonar el juguete, etc.

En ese mismo año, se realizaron también en el INCH algunos estudios para validar una prueba denominada como la “Prueba del Minuto”, cuyo objetivo era rastrear en las escuelas a los niños que pudieran tener algún daño auditivo. La prueba se basa en una

técnica de exploración que no requiere instrumentos y que puede ser aplicada fácilmente por el maestro a sus alumnos. Esta consta de tres pasos sencillos:

1^{er}. Paso.- Frotamiento del dedo sobre el borde de la oreja. (figura A)

2^o. Paso.- Frotamiento de los dedos junto a la oreja (figura B)

3^{er}. Paso.- Percusión dental (figura C)

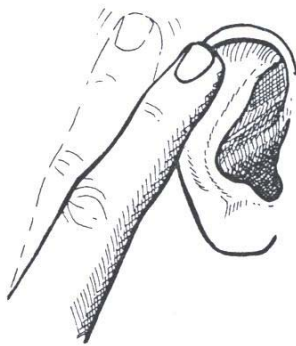


Figura A



Figura B

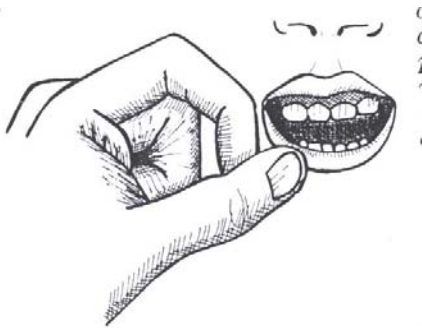


Figura C

El estudio arrojó que la prueba podía tener una sensibilidad del 77% y una especificidad del 89%, esto se refiere a que con la prueba se podían identificar el 77% de casos con una posible pérdida y que en el 89% de esos casos el diagnóstico era acertado.

En 1994 Stephen J. Rothenberg, Adrián Poblano y Saúl Garza, colaboradores del INP y del INCH llevaron a cabo un estudio con 30 niños considerados por diversos motivos como bebés de Alto Riesgo (AR), donde emplearon los Potenciales Evocados (PETC).

En 1996 realizaron otro estudio con Potenciales Evocados a dos poblaciones, una considerada de alto riesgo y otra de bajo riesgo. El estudio se llevó un periodo de 9 meses, durante los cuales se evaluaron varios recién nacidos que habían sido valorados por el departamento de epidemiología como bebés de alto riesgo.

Las pruebas se hicieron después de haber alimentado a los bebés, ya que en ese momento se quedaban dormidos y era más sencillo realizar la prueba. Se emplearon electrodos AG y audífonos especiales, y el análisis de las ondas de respuesta se hacía en una computadora. Los resultados que arrojó la prueba no fueron del todo significativos, en primer lugar porque el tamaño de la muestra fue muy pequeño por lo que la frecuencia de alteraciones auditivas sólo fue del 18% y algunos datos de casos con disfunción auditiva no pudieron ser registrados en el estudio. Sin embargo, permitió canalizar a algunos de los bebés directamente a una institución de rehabilitación.

Recientemente, la Secretaría de Educación Pública (SEP) y la Secretaría de Salubridad y Asistencia (SSA), planean llevar a cabo una pequeña campaña en algunas de las escuelas primarias del país, para determinar en los escolares los defectos de audición y canalizarlos para la corrección del problema, con el propósito de que se reincorporaran posteriormente a sus actividades educativas en mejores condiciones.

De acuerdo con la investigación realizada, identificar tempranamente el problema auditivo en recién nacidos es un problema, puesto que ellos no pueden decirnos que no oyen bien, y si el problema existe y no se detecta, no se podrá dar tratamiento oportunamente. Como ya se ha mencionado, la pérdida auditiva retrasa o impide el desarrollo del habla y del lenguaje, así mismo provoca problemas sociales, emocionales, y fallas en su desarrollo escolar.

La justificación del proyecto plantea como argumento que dentro de la población escolar existen trastornos de agudeza auditiva que no se han identificado y que interfieren con un adecuado aprendizaje. Existen cerca de 14 millones de niños registrados en las escuelas primarias del país y aproximadamente 40 mil sufren algún trastorno auditivo que requiere para su corrección de algún tratamiento a base de medicamentos o de la adaptación de algún auxiliar auditivo.

Para llevar a cabo las pruebas correspondientes, se requiere de la participación de maestros, alumnos y padres de familia, así como del personal del área de salud de las instancias correspondientes.

La campaña se basa en la “prueba del minuto”, que fue validada en 1993 por el INCH, ésta se acompaña de un instructivo y unos formatos que deben ser llenados con los datos del alumno y con los resultados de la prueba.

1.5 Métodos de diagnóstico y evaluación

Los avances tecnológicos en audiología médica, han permitido desarrollar métodos de investigación con los cuales hoy en día es posible detectar y determinar daños auditivos incluso en lactantes. Sin embargo, existe un alto desconocimiento por parte de los padres e incluso en algunos médicos, y en muchos casos no son tan accesibles para las clínicas.

Los métodos de detección según Arnie, Loune (1982) se pueden dividir en tres grados evolutivos.

- ◆ El primero va desde el nacimiento hasta el período en que el niño puede sentarse libremente. Se analizan las reacciones auditivas de manera observacional, se puede tratar de pestañeos, cambios de expresión facial, movimientos del cuerpo, etc., y como las reacciones no siempre son definidas, la interpretación no es fácil.

◆ El segundo empieza más o menos en el sexto mes de vida. En este período ya hay un reflejo de operación, por lo que el niño puede volver la cabeza hacia la fuente sonora.

◆ El tercer grado comienza a los 30 meses, el niño está en condiciones de cooperar activamente en las mediciones auditivas y se le puede instruir para que dé una respuesta al percibir un estímulo acústico.

De acuerdo con esta división las etapas en las que se puede tener más problema para dar un diagnóstico acertado en cuanto a la deficiencia auditiva son las dos primeras; en la tercera etapa el diagnóstico deja de ser un problema, puesto que se cuenta ya con la participación del niño, que de alguna manera nos puede señalar si percibe algún tipo de sonido.

1.5.1 Métodos empleados para la detección de la Hipoacusia

Las pruebas de valoración empleadas para la detección de la limitación auditiva a diferentes edades se describen brevemente a continuación:

1.5.1.1 Métodos subjetivos o de comportamiento

Estos requieren de la colaboración del sujeto en la elaboración de la respuesta al estímulo auditivo percibido.

a) Test de juguetes sonoros

A partir de los sonidos emitidos por una serie de juguetes sonoros, que tratan de representar diferentes frecuencias acústicas, se estudia la posible aparición de respuestas reflejas en el niño.

b) *Test de Veit Y Bizaguet o Respuesta Motora al Audiómetro Portátil*

Por medio de un aparato que produce un ruido blanco y tres bandas pasantes (grave, media y aguda), de intensidad regulable a 70, 80 y 90 dB., se observa si el neonato genera respuestas reflejas. Entre estas se encuentran: reflejos cocleo musculares y cocleo *palpebrales*, reacciones que representan un cambio del estadio inicial del bebé en el momento del test, etc.

c) *Crib-o-grama*

Se fundamenta en el registro de los cambios de la actividad motora del recién nacido, mediante la utilización de sensores ubicados en el colchón de la cuna, después de ser estimulado auditivamente con sonidos en torno a la frecuencia de 3 KHz.

d) *Reflejo de orientación condicionado (R.O.C)*

Consiste en obtener un reflejo de orientación-investigación hacia una fuente sonora y visual.

e) *Peep-Show*

Es un test basado en una técnica de condicionamiento que consiste en entrenar al niño a apretar un interruptor cuando oye un sonido. Entonces, una imagen atractiva aparece en una televisión, o un tren de juguete se pone en marcha. Si se aprieta en ausencia de sonido, no sucede nada. El condicionamiento se obtiene rápidamente y el niño espera con impaciencia la señal sonora que le permita ver una nueva imagen atrayente.

f) *Test de reacción al nombre*

Tiene como meta identificar un umbral de percepción sonora. El material fonético empleado es el nombre de pila del niño.

g) *Test de imágenes*

Se lleva a cabo en una cabina telefonométrica. El niño está colocado ante una mesita donde hay una serie de imágenes, dibujos, etc. El audiólogo, por medio de un micrófono y a una intensidad conocida, cita los elementos representados en las imágenes. Cuando comprende, el niño señala con el dedo la imagen correspondiente al objeto citado.

h) *Audiometría vocal*

En esta prueba se emplean listas de vocablos fonéticamente equilibrados, con los cuales puede establecerse y comparar el porcentaje comprendido por el niño en cada nivel de intensidad.

i) *Audiometría vocal fonética*

A diferencia del anterior test, las listas están formadas por fonemas. El niño debe percibir y repetir correctamente los estímulos, los cuales no tienen siempre significado. Los mecanismos de comprensión del lenguaje no intervienen.

j) *Audiometría tonal lúdica*

El niño debe ser entrenado para responder a un sonido en el curso de un juego. Mientras él percibe los estímulos sonoros, debe realizar una acción: insertar clavijas, retirar bolas de un cesto, apilar cubos, etc. Si es correcto el condicionamiento del niño, se podrán obtener respuestas a diferentes frecuencias e intensidades, conformando así una curva de audiometría tonal liminar.

k) *Audiometría tonal liminar*

Trata de determinar los umbrales auditivos conducción ósea y aérea, empleando sonidos puros emitidos a través de un vibrador y de un auricular, respectivamente.

1.5.1.2 Métodos objetivos

No se necesita la participación del sujeto. Se fundamentan en el análisis, con una tecnología apropiada, de modificaciones fisiológicas provocadas por estímulos acústicos a nivel del oído o de las vías y centros nerviosos. Enseguida se presentan los métodos objetivos que han sido empleados para detectar problemas en la audición.

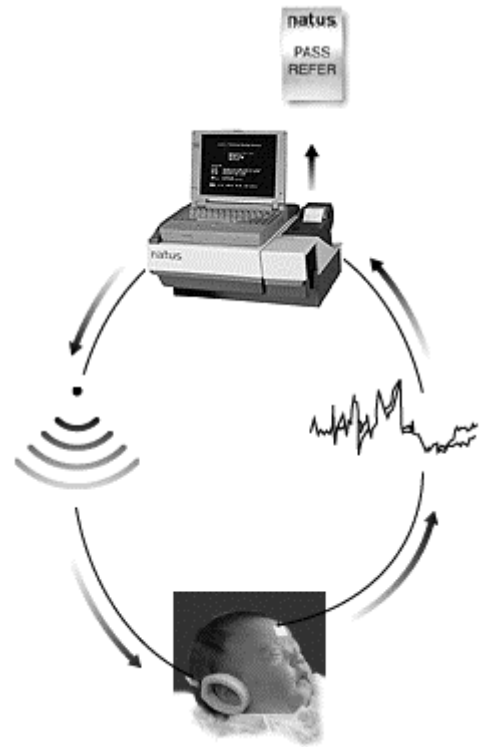


Fig. 9. Diagrama de funcionamiento del método objetivo (Delgado Domínguez, 1999)

a) Impedanciometría

Mide la elasticidad o capacidad de vibración de la membrana timpánica. El reflejo estapedial mide la contracción del músculo del estribo ante un estímulo 70 dB por encima del umbral de audición normal. Esta prueba permite determinar hipoacusias conductivas puras, así como el grado de reclutamiento y la determinación por vía indirecta de umbrales auditivos mediante el reflejo acústico.

b) *Potenciales evocados auditivos*

Tienen un gran valor para el diagnóstico precoz de la hipoacusia del lactante o del niño. Sin embargo, no sustituyen, sino más bien complementan, las anteriores exploraciones auditivas. En función de la latencia de la respuesta eléctrica obtenida tras el estímulo acústico, los potenciales auditivos se clasifican en: precoces (0- 10 mseg), medios (10-40 mseg) y tardíos (+40 mseg). Dentro de los primeros, la electrocolegografía y el análisis de los potenciales evocados auditivos de tronco cerebral son las dos pruebas con mayor interés para el estudio del umbral auditivo. Ambos son también interesantes para detectar la localización de lesiones que afecten al sistema nervioso auditivo.

c) *Otoemisiones acústicas*

Recogen la actividad mecánica de las células ciliadas externas del órgano de Corti. Según la presencia o no de un estímulo para desencadenar su producción, se las clasifica en espontáneas o evocadas. Las evocadas se dividen en transitorias, específicas o productos de distorsión, según el tipo de estímulo empleado. Esta prueba tiene una importante aplicación en el campo de la detección precoz de la hipoacusia infantil.

Un método de filtraje ideal debería estar disponible en costo, con la completa especificidad y sensibilidad. Lamentablemente, ninguno de los métodos de filtraje está actualmente disponible en todo el mundo, para realizar el filtraje universal. Cada uno de los métodos ofrece ventajas, pero también tiene desventajas.

1.5.2 Métodos empleados para la detección temprana de la hipoacusia.

Durante los últimos 35 años los avances tecnológicos en el campo de la salud han sido de gran relevancia, desde finales de la década de los 60's, ya se buscaba la manera de detectar tempranamente el problema de la disfunción auditiva. Muchos de esos esfuerzos dieron lugar a los avances tecnológicos que se tienen a la fecha.

Durante 15 años de 1978 a 1993 aproximadamente, el Auditory Brainstem Responses (ABR) fue el método más empleado. Aunque recientemente, la atención se ha centrado en las emisiones otoacústicas (EOA), que puede decirse es el método más moderno. Sin embargo el ABR no ha dejado de emplearse en la detección de la pérdida auditiva, y se puede decir que ambos métodos son eficaces, aunque cada uno a su manera, con limitaciones técnicas o interpretativas que han impedido la aplicación masiva. Es más, estos acercamientos varían en su sensibilidad, especificidad, identificando la pérdida auditiva.

El método de filtraje ideal debería estar disponible en costo, con especificidad completa y sensibilidad. Desgraciadamente, ninguno de los métodos de filtraje está actualmente disponible.

En el filtraje neonatal los métodos objetivos son los que proporcionan resultados más acertados, actualmente son dos los métodos que más se emplean en la detección temprana de la hipoacusia, el ABR y las Emisiones Otoacústicas.

1.5.2.1 El ABR.- Audiometría: Por Respuestas Cerebrales Auditivas ó en ingles *Auditory Brainstem Responses*.

También es conocido en México con el nombre de **potenciales evocados auditivos**, es una prueba capaz de desencadenar actividad cerebral al presentar un estímulo sonoro. Esto permite llevar a cabo la evaluación de las vías auditivas centrales del tronco cerebral.

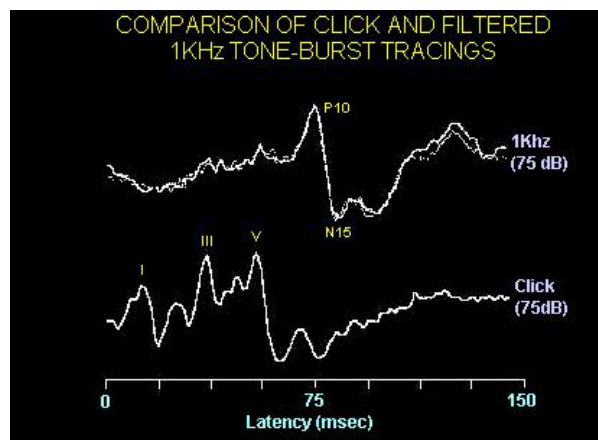
Consisten en la obtención de una serie de ondas en el ordenador, que nos indican la transmisión y el viaje que hace el sonido desde la parte interna del oído o cóclea (caracol) hasta el lóbulo temporal del cerebro, a través del nervio acústico.

En la siguiente figura se muestra una de las respuestas obtenidas en una prueba realizada con este método. En la figura se pueden apreciar dos curvas; la de abajo indica

la respuesta de una persona con audición normal, la que está en la parte superior indica la respuesta de una persona con hipoacusia.

Fig. 10. Ondas emitidas por el sistema nervioso en respuesta a impulsos sonoros con el método de ABR. La onda de la parte inferior es la que se presenta cuando hay audición normal, la de la parte superior es la respuesta de una persona con deficiencia auditiva.

(Barajas & Zenker, 1996)



Los **Potenciales Evocados** sirven para:

- ◆ Establecer la sensibilidad auditiva;
- ◆ Establecer el origen de la pérdida;
- ◆ Estudiar el sistema nervioso central implicado en la audición

Se prescribe esta exploración cuando hay una hipoacusia o un problema neurológico. El estudio dura entre 45 y 60 minutos.

Esta prueba no es dolorosa y consiste en colocarle al niño unos electrodos en la cabeza, en lugares estratégicos (detrás de cada oreja y en la frente) para medir su respuesta cerebral cuando se le envía una señal acústica a través de unos audífonos. Durante la exploración, el paciente estará recostado con los ojos cerrados y procurando no moverse. La prueba se realiza en poco tiempo y se obtienen mejores resultados si la persona se encuentra dormida. La respuesta se registra en forma de gráfica en una computadora, el gráfico tiene que interpretarse para determinar si hay o no algún problema auditivo. (Fig.8)

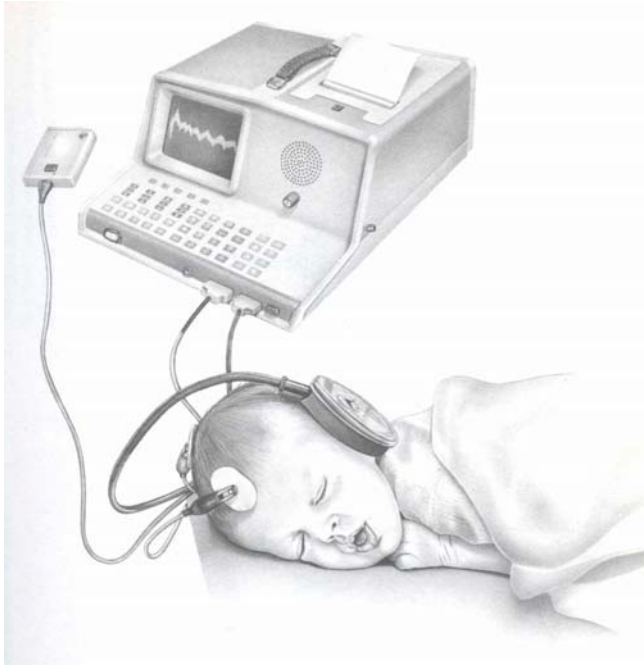


Fig. 11. Identificación perinatal de la hipoacusia por medio de potenciales evocados auditivos (Flores, Berruecos, 1995)

Esta prueba es muy sensible; casi todos los niños que nacen con déficit auditivo congénito significativo podrían identificarse en los primeros meses de vida, con el ABR. No requiere una respuesta voluntaria y puede hacerse sin sedación.

Sin embargo, existe un problema en los bebés con audición normal ya que proporciona un alto número de falso-positivos. Otro inconveniente es que las pruebas de ABR son caras y requieren de personal especializado.

Este método ha sido principalmente aplicado a recién nacidos con alto riesgo de daño neurológico.

1.5.2.2 Emisiones otoacústicas u otoemisiones acústicas (EOA)

Las emisiones otoacústicas son sonidos muy débiles presentados en la vibración del tímpano como respuesta a sonidos muy frágiles originados en la cóclea, uno de los órganos más importantes en el mecanismo de la audición. Se utilizan para el diagnóstico precoz de la sordera.

La técnica de la prueba es muy sencilla y consiste en la introducción dentro del canal auditivo de una oliva de goma (sonda), que tiene dos conductos, uno por donde se emite un sonido en forma de click y otro por donde se recoge a través de un micrófono la respuesta de las células ciliadas externas (CCE). La figura 9 muestra el esquema de base de las EOA.

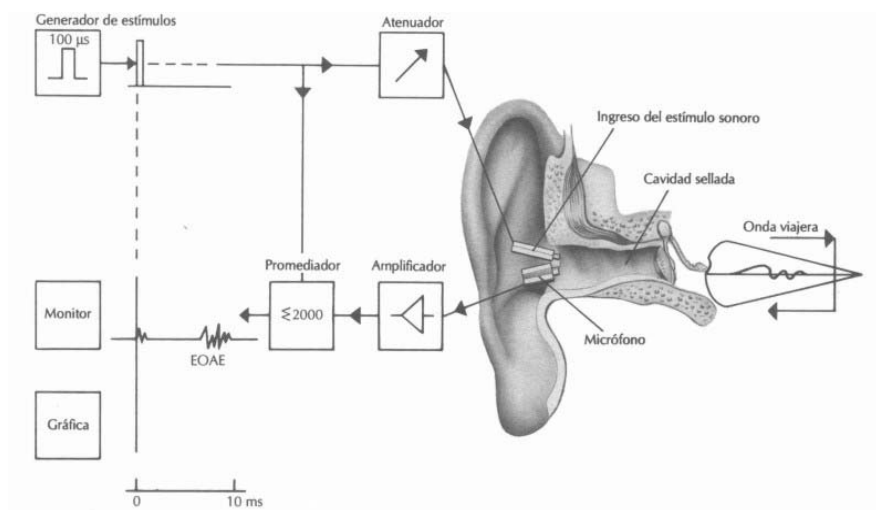


Fig. 12. Registro de las EOA, estimuladas por sonidos transitorios (Flores, Berruecos, 1995)

Estas pruebas se caracterizan por ser objetivas, no invasivas y rápidas en su realización. La duración de la prueba de filtraje neonatal suele ser de alrededor de 15 minutos por cada oído.

Es importante señalar, que la prueba no supone ningún daño o riesgo para el niño, teniendo como requisito previo, que el infante esté durmiendo o totalmente en silencio cuando se le realice, tal como lo muestra la figura 13.



Fig. 13. Prueba realizada con emisiones otoacústicas (www.audiosalud.com)

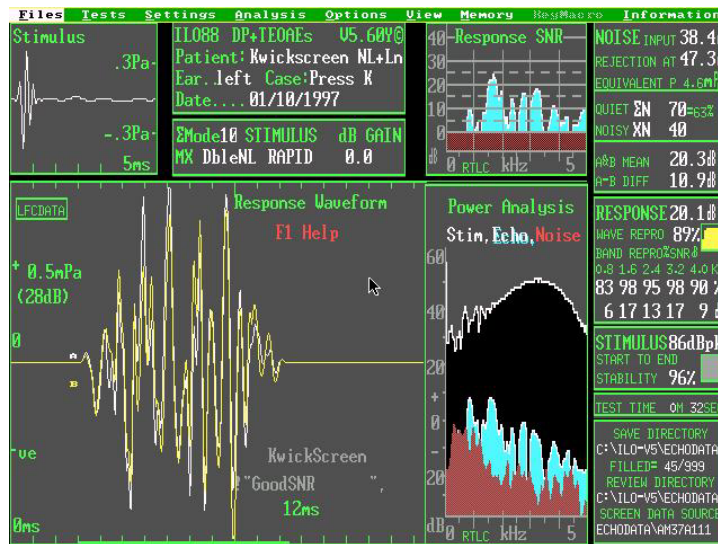


Fig. 14. Respuesta registrada de una emisión otoacústica (www.barajas.vanaga.es...)

Como se puede apreciar en la figura 14 los datos que proporciona una gráfica en el estudio de EOA son numerosos (el estímulo enviado, la respuesta en onda, en que estímulo hubo respuesta, etc.) la información es bastante completa; sin embargo es difícil de interpretar.

Las técnicas EOA y ABR son consideradas como lo mejor en herramientas de filtraje universal para el recién nacido. Cada una tiene sus ventajas y desventajas, en ciertos casos las emisiones no son tan acertadas como el ABR y viceversa.

Sin embargo, en México las pruebas tienen un alto costo y por consiguiente no están al alcance de la mayoría de la población. Además, de que para el manejo del equipo se requiere de personal especializado, existen muy pocos lugares donde se encuentra este tipo de tecnología. Al parecer en la Ciudad de México solamente se pueden encontrar en el Hospital de Perinatología, en el de Pediatría y en el Instituto Nacional de la Comunicación Humana. (INCH)

Por tal motivo, las pruebas de filtraje auditivo se siguen realizando sólo a bebés que están considerados como de “alto riesgo”, lo que ocasiona que el global de la población aún no tenga acceso a la detección de una posible pérdida auditiva, y en el mejor de los casos, solo entre los tres y seis años se les realiza el estudio, lo que implica que si hubiera algún problema auditivo, la detección y el tratamiento se inicie posterior a los cuatro años y el trabajo de rehabilitación sea más complejo e intenso.

Conclusiones al Marco Teórico

Detectar tempranamente la limitación auditiva, permite proporcionar al niño las ayudas médicas, técnicas y educativas necesarias para que pueda desarrollarse con toda normalidad, lo que marcaría una gran diferencia para su desarrollo futuro.

El diagnóstico oportuno puede acelerar el tratamiento médico adecuado, la adaptación de equipos, como audífonos y la intervención educativa específica que el déficit auditivo requiera. De esta manera, el desarrollo del niño se verá ampliamente beneficiado, ya que se favorecerá el desarrollo del discurso y habilidades del idioma, tendrá una buena comprensión de la lectura, logros académicos, un desarrollo social y emocional satisfactorio, así como una buena adaptación psicosocial que reducirá los problemas de comunicación y de relación interpersonal.

El desarrollo de la presente investigación plantea una propuesta de equipo que permita detectar o filtrar oportunamente a los niños con pérdida auditiva o con riesgo de posible pérdida auditiva; y que éste pueda estar al alcance del global de las instituciones como: centros de salud, clínicas, consultorios pediátricos, centros comunitarios, etc., por lo tanto debe ser muy económico, sencillo y fácil de usar.

CAPÍTULO II

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Dentro de la población con discapacidad existe un sector muy vulnerable que comprende a las personas con discapacidad auditiva. La falta de audición en los individuos les impide analizar los sonidos y realizar así una retroalimentación, afectando la adquisición del lenguaje, debido a que se producen alteraciones en la voz y en el habla, dado que su voz es demasiado aguda o demasiado grave, y su intensidad será inestable emitiendo sonidos con carácter gutural, nasal o atonal. En la mayoría de los casos no hay entonación expresiva ni acentuación tónica. El ritmo y las pausas se ven alterados respecto al modelo normal, la velocidad de emisión en los niños es muy lenta y en los adultos es excesivamente rápida. Todas estas características varían en función del remanente auditivo, de la precocidad de la detección y de la eficacia de la educación auditiva y ortofónica. (Romero S, 1995)

Se ha encontrado que posterior a la detección de la pérdida auditiva la comunicación temprana con los padres y la familia, es una experiencia importante para desarrollar las características de la personalidad. Aunque los individuos que son sordos o hipoacúsicos, han sido reportados inmaduros o impulsivos, y estas características pueden verse como retraso o

déficit en el entendimiento social, más que un problema de personalidad. (Supalla, Samuel. 1995)

Lo anterior es una barrera que les impide lograr su integración plena a la comunidad y gozar de las mismas oportunidades que las personas “normo-oyentes”. Pareciera ser que el principal problema en la actualidad es la detección oportuna, donde una atención especializada marcaría una gran diferencia para su desarrollo futuro.

La detección de la pérdida de la capacidad auditiva en nuestro país es ineficiente, esporádica y tardía, que en el mejor de los casos se detecta entre los tres y cuatro años de edad, lo que ocasiona serios problemas al sujeto. De acuerdo con algunos estudios realizados por Arnie, Loune en 1982, aproximadamente el 87% de los casos se identifican tardíamente (posterior a los 2 años). En cuanto a la detección temprana, como ya se menciono se realiza preferentemente en bebés considerados de alto riesgo, puesto que la incidencia de que presenten una pérdida auditiva es 20 veces mayor que para neonatos en condiciones normales. (Martínez Cruz, 1996)

Esto nos llevó a cuestionar:

¿Qué mecanismos se emplean para detectar tempranamente la pérdida auditiva?

¿Cuáles son las ventajas y desventajas de cada uno de los mecanismos?

¿De qué manera pudiera implementarse el filtraje auditivo al global de la población?

¿Cómo puede apoyar el Diseño Industrial a través del uso de nuevas tecnologías en la detección temprana de la pérdida auditiva?

2.1 Problema de Investigación.

Nos decimos vivir en un mundo postmoderno, en donde cada quien desea llevar adelante su propio punto de vista, y es importante hacer un alto en nuestro camino para pensar si el quehacer gubernamental, educativo y de salud, están dando o no respuesta a los requerimientos para lograr una verdadera integración social de niños y adultos con cualquier tipo de discapacidad.

La obtención de equipos de diagnóstico implica un alto costo y una infraestructura especializada, puesto que no se producen en el país; todo esto significa una barrera casi infranqueable para poder realizar un cribado universal.

Así encontramos que en la mayoría de los hospitales de nuestro país se carece de equipo o instrumentos económicos y de fácil interpretación para detectar la deficiencia auditiva en edades tempranas.

Lo anterior, afecta el desarrollo normal de la persona, que podría reducir al máximo su problema discapacitante apoyada por un diagnóstico oportuno y en un proceso habilitatorio acorde a sus potencialidades y necesidades.

Magnitud del problema

Las estadísticas sobre discapacidad auditiva en México, son muy limitadas y ambiguas, varían de acuerdo a la fuente; por ejemplo el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI) detectó en el último censo realizado en el año 2000 que 1.8 millones de personas en el país, presentan algún tipo de discapacidad severa, de las cuales el 15.8 % refleja problemas de audición, lo que equivaldría a 284,400 personas. De esa población, el 19.41% presenta el problema auditivo de nacimiento, lo que nos revela aproximadamente 55,202 personas con este tipo de discapacidad. Estas cifras a pesar de estar dadas por el INEGI, han sido rechazadas por algunas instituciones, puesto que ellas manejan otras cifras. (www.inegi.gob.mx)

Por otra parte la Organización Mundial de la Salud (OMS), habla de 4.5 a 5 millones de personas. Otras fuentes dicen que uno de cada mil recién nacidos presenta alteraciones de la audición. (Martínez Cruz, 1996)

Factores que influyen en el problema

La edad en la que se detecta la limitación auditiva.

El equipo empleado para la detección.

Requiere personal de alta especialidad para su manejo.

Es costoso y en México no se cuenta con él, salvo raras excepciones en institutos de salud.

Las pruebas son costosas y sólo se realizan a bebés de alto riesgo.

2.2 Objetivos de la Investigación.

- ◆ Llevar a cabo el estudio para la identificación de mecanismos que se requieren para generar un programa de detección temprana de la limitación auditiva; a través del conocimiento del diseño industrial y la aplicación de nuevas tecnologías, además de que permita que el filtraje se realice a todos los niveles de la población, incorporando propuestas de desarrollo.
- ◆ Llevar a cabo propuestas de programas operativos, donde se pueda favorecer el desarrollo e integración social de los niños con discapacidad auditiva mediante el uso del diseño industrial y nuevas tecnologías.
- ◆ Sugerir posibles productos que apoyen los programas de detección, y que faciliten la identificación del mayor número de casos con riesgo de pérdida auditiva en el país.

2.3 Justificación.

Las personas con discapacidad auditiva tienen serios problemas en su integración a la comunidad, ya que este tipo de deficiencia es en cierta forma difícil de identificar a simple vista, a menos que la persona use un aparato auditivo y que éste sea visible; por tal motivo, es común que se les considere con cierto grado de retraso mental y se les rechace, debido a que no ponen atención cuando se les llama o porque tienden a perder el equilibrio.

En los niños con discapacidad auditiva, se ha detectado que es muy común que sean parcialmente sordos, oyen muy poco cuando se les habla. Poco a poco pueden aprender a reconocer algunas palabras y a responder.

Desde muy temprana edad los niños incorporan el sonido de su voz y la de sus padres y tratan de imitarlos, progresando luego, en forma gradual, de palabras aisladas y frases cortas a oraciones completas y más elaboradas. En lo que respecta al desarrollo del lenguaje, los niños con problemas auditivos pasan por las mismas etapas de los que oyen regularmente. También deben adquirir primero la facultad receptiva, antes de que puedan expresar sus pensamientos e ideas. Si en el niño es detectado a tiempo un problema auditivo, aumentan las posibilidades de no perder estas etapas de aprendizaje.

En la persona con hipoacusia el aprovechamiento de su resto auditivo no es lo mismo a determinada edad, cuando es niño, que cuando pasó esa etapa. La ductilidad que tiene un niño es impresionante, hay niños que tienen muy poco resto auditivo y tienen un aprovechamiento de ese resto auditivo excelente. Con la estimulación auditiva y del lenguaje realizada en forma temprana, sumada a la provisión de audífonos, las posibilidades de que el niño obtenga una comunicación aumentan. Por ello la importancia de la detección precoz. Porque si tiene un 15 % de audición en cada oído y con el auxiliar logra otro 20%, el resultado sería casi el 50 por ciento de la audición.

Cierto es que la utilización de un auxiliar auditivo no es sinónimo de que el niño ya escucha normalmente, pero le ayuda mucho. El niño tiene que aprender a escuchar, a asociar cada sonido a un objeto o situación. Esta tarea es la de rescatar el resto auditivo y entre más temprano se inicie se tendrán mejores beneficios en el niño y habrá mayores posibilidades de revertir las consecuencias de la pérdida auditiva, como es el que no

puedan comunicarse *normalmente* con los demás; el que vivan en un mundo silencioso y no puedan integrarse tan fácilmente a la educación, ni tampoco a la vida laboral, ya que en muchos puestos corren peligro de tener o provocar un accidente, al no escuchar una señal de alarma o al no detectar el mal funcionamiento de una máquina.

En las personas con discapacidad auditiva, las condiciones de comunicación son muy peculiares y exigen un esfuerzo importante tanto para hacerse entender, como para entender. En su mayoría aprenden el lenguaje de señas. Sin embargo, esto también los segrega ya que el global de la población no lo sabe y por tanto no se pueden comunicar. Además en nuestro país se conocen al menos siete diferentes lenguajes de señas, lo que implica que a veces ni entre las mismas personas con esta discapacidad pueda existir comunicación. (Medina, 2000)

Para algunos especialistas lo mejor sería enseñarlos a oír y a hablar, ya que si la limitación auditiva se detecta a tiempo y además se le da la atención adecuada, el niño puede llegar a oír con la ayuda de un producto que le amplifique los sonidos y le permita percibirlos con claridad. Si esto se da antes del período de adquisición del lenguaje, el infante se desarrollará “normalmente”.

La estimulación precoz o temprana y la participación de los padres en la estimulación basada en sistemas complementarios, permite conseguir progresos en su calidad de vida. Sin embargo, la detección de la pérdida auditiva y la integración social del individuo deben formar parte de un programa especial que realizado en etapas muy tempranas sean parte fundamental para su desarrollo.

Actualmente los avances tecnológicos permiten que las personas con deficiencias auditivas puedan escuchar a través de un amplificador o recibir algún tipo de habilitación para mejorar su audición; sin embargo, para que se logren buenos resultados se debe actuar desde muy temprana edad, por lo que en la actualidad el principal problema es la detección oportuna de los problemas auditivos para dar inicio al tratamiento necesario.

Numerosos estudios muestran que la identificación de la pérdida auditiva, ocurre después de los seis meses, este problema persiste a pesar de la tecnología disponible para diagnosticar la pérdida auditiva, sobre todo en neonatos.

En México no existe la detección temprana de la limitación auditiva. Esto sucede porque muy pocos hospitales cuentan con el equipo adecuado, lo que ocasiona que las pruebas tengan un alto costo y por consiguiente no estén al alcance de la gran mayoría de la población; además, para el manejo del equipo se requiere de personal especializado.

2.4 Hipótesis

Durante los primeros años de vida, la mente de un niño es como una esponja; aprende el lenguaje muy rápido. Si no se reconoce temprano que un niño tiene problemas para oír y no se le proporciona ayuda efectiva, los mejores años para aprender las destrezas de la comunicación podrían perderse (de 0 a 7 años de edad). Entre más pronto se detecte la hipoacusia o discapacidad auditiva, más efectivo será el tratamiento y se obtendrán mejores resultados.

Para esto, se propone llevar a cabo el diseño de un instrumento para filtrar a los niños menores de 18 meses con posible deficiencia de la audición; que sirva como prueba de detección masiva, requiera de una capacitación mínima, sea económico, ergonómico, confiable y de alta validez; y apoyado en una campaña de detección nacional, permitirá incrementar el porcentaje de casos detectados oportunamente, así como atenuar en gran parte los problemas de desintegración y desarrollo de la persona ocasionados por la discapacidad auditiva y en algunos casos, se evitará o reducirá el problema auditivo.

Diseñar un equipo adecuado a las necesidades de la población, a un menor costo y simplificando la función, resultará una buena alternativa para que los hospitales, consultorios, centros de salud y/o clínicas, puedan realizar un primer tamiz y así identificar el mayor número de casos posibles de pérdida auditiva. Además se mostrarán los medios para realizar el filtraje auditivo en edades tempranas, sin que se requiera de personal especializado.

Para probar esta hipótesis se necesitará realizar un modelo funcional de la propuesta, así como implementar pruebas que justifiquen el resultado final.

2.5 Tareas de investigación

Determinar los equipos que se emplean para la detección temprana de la pérdida auditiva, identificando si alguno de ellos pudiera ser implementado para realizar el filtraje auditivo al global de la población.

Desarrollar con base en el uso de las nuevas tecnología una propuesta de programa para filtrar oportunamente a todos los niños con riesgo de pérdida auditiva y canalizarlos al tratamiento adecuado.

Verificar si a través de las nuevas tecnologías se puede lograr establecer un mecanismo que facilite el filtraje auditivo en el global de la población nacional.

Identificar algunas alternativas de diseño que permitan detectar oportunamente a los niños con pérdida auditiva o con riesgo de posible pérdida auditiva y que éstas sean accesibles a la población en general.

Determinar las herramientas metodológicas que faciliten la detección temprana.

Elaborar propuestas de mecanismos que faciliten y obliguen a identificar de manera oportuna los riesgos de posible pérdida auditiva en todos los recién nacidos, con el fin de lograr filtrar al global de la población, lo que favorecerá la atención adecuada y oportuna, y el desarrollo e integración plena de las personas con discapacidad auditiva a la sociedad.

Esquema inicial para la investigación

Investigación teórica (de campo y bibliográfica)

- ◆ Recopilación de información sobre discapacidad auditiva
- ◆ Estado del arte, análisis de la detección de la pérdida auditiva a nivel mundial

- ◆ Diagnóstico sociológico y médico de la detección temprana de la pérdida auditiva en México
- ◆ Evaluación de las soluciones existentes para la detección temprana de la pérdida auditiva.
- ◆ Elaboración de pronóstico, identificando la participación del diseño industrial para la formulación de propuestas que apoyen la detección temprana.
- ◆ Exploración de herramientas de apoyo (software)
- ◆ Descripción y clasificación de las técnicas de apoyo a la recolección de datos, procesamiento y análisis, simulación, etc.
- ◆ Propuestas del equipo, del programa o campaña de detección temprana, que permitan que se puedan realizar pruebas a nivel masivo en la República Mexicana.
- ◆ Análisis de las propuestas (factibilidad)
- ◆ Desarrollo de alternativa de solución
- ◆ Elaboración de modelo funcional para su evaluación y comprobación de la hipótesis
- ◆ Análisis de resultados
- ◆ Integración de informe final

CAPÍTULO III

SISTEMA DE FILTRO PARA LA IDENTIFICACIÓN TEMPRANA DE LA HIPOACUSIA

Partiendo de la investigación bibliográfica, se obtuvo la información necesaria para elaborar con el enfoque del diseño industrial y el apoyo de las nuevas tecnologías, la propuesta de un sistema o equipo que facilitará la identificación temprana de la discapacidad auditiva.

Para poder desarrollar la propuesta de diseño fue necesario determinar los aspectos que debían ser considerados para que el equipo cumpliera con los objetivos de la investigación; por ello en este apartado se plantean los objetivos del sistema, así como los requerimientos de diseño

3.1 Objetivos del sistema

- ◆ Facilitar el filtraje auditivo en niños menores de 18 meses
- ◆ Diseñar un producto con el que se pueda evaluar masivamente (filtraje auditivo) a los niños de los diversos ámbitos del país.
- ◆ Poder realizar el filtraje auditivo, sin que se requiera de infraestructura muy sofisticada, ni personal especializado.
- ◆ Identificar la funcionalidad del objeto diseñado
- ◆ Medir la eficacia del instrumento diseñado; validarlo definiendo las ventajas con respecto al instrumento existente.

3.2 Requerimientos de diseño del sistema

Tomando en cuenta los datos obtenidos en la investigación realizada, se establecieron los requerimientos que se debían contemplar en el objeto a diseñar.

Por las características del instrumento que se requiere y para que cumpla satisfactoriamente con el objetivo, de detectar la posibilidad de que el usuario tenga algún déficit auditivo, el objeto se dividirá en dos subsistemas generales, un emisor que enviará al usuario una señal sonora calibrada y un receptor que nos indicará si hay respuesta al estímulo auditivo o no.

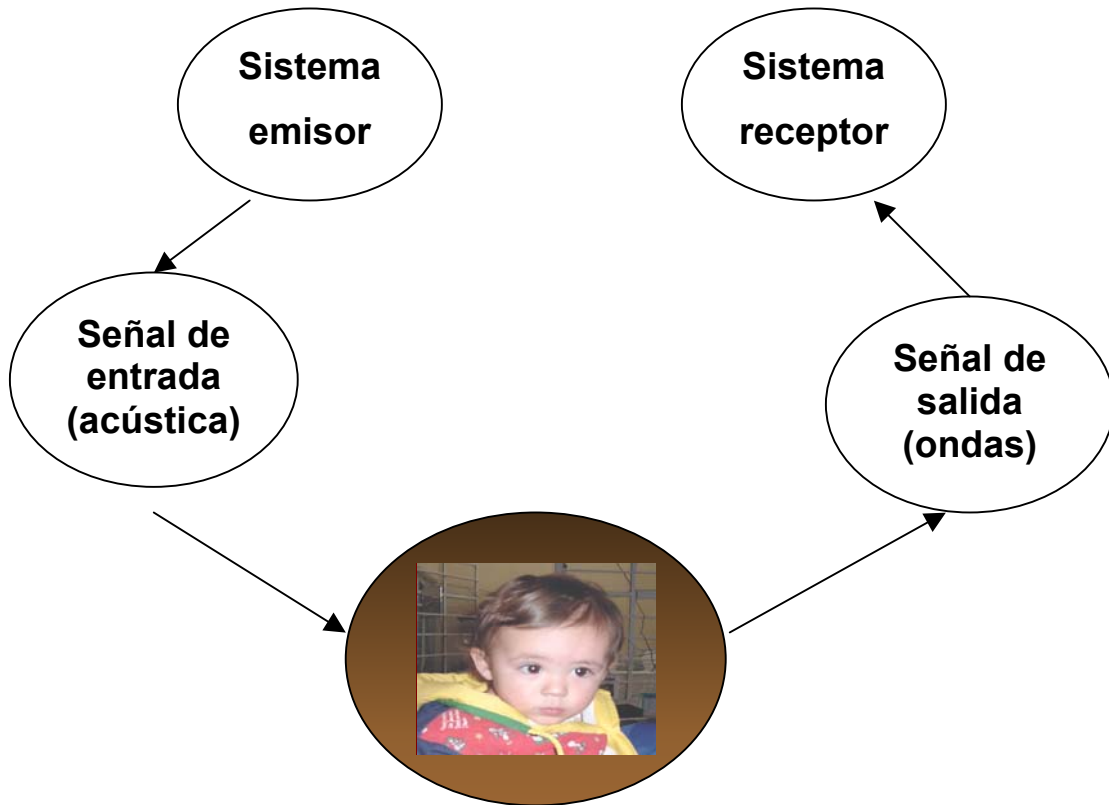


Fig. 15. Diagrama del sistema

Como se menciona en el primer capítulo, el ser humano es capaz de detectar únicamente aquellos sonidos que se encuentran dentro de un rango definido de frecuencias y amplitudes, existiendo una analogía entre el sistema auditivo y el sistema electrónico de audio.

Por lo anterior, el subsistema A, idealmente debería de ser un **emisor** con las siguientes características:

- ◆ Emitir señales acústicas bien definidas y calibradas dentro de los rangos del habla; las señales que debe emitir son 6, y las frecuencias de los sonidos: 250, 500, 1000, 2000 4000, 6000 Hz., así mismo debe permitir la variación de intensidad de los sonidos emitidos en rangos de 10 en 10, hasta 90 decibeles. (10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 dB.)

- ◆ Para esto, deberá tener un control o controles que permitan modificar intensidad y frecuencia de los impulsos enviados.

- ◆ También tener un control que permita enviar el impulso sonoro alternado para cada oído, es decir que el sonido se pueda enviar indistintamente a uno u otro oído.

- ◆ Otra característica importante es que la señal sonora tenga salida hacia audífonos y/o bocina.

Debido a que se pretende filtrar a los niños con un rango de edades que va de los recién nacidos hasta los 18 meses, y dado que ellos no pueden manifestar de alguna manera la percepción o no del sonido, se requiere de un **receptor** (subsistema B) que nos permita captar la respuesta del niño al sonido enviado, a través de los impulsos nerviosos o cerebrales, para lo cual se requiere del uso de electrodos (sensores o transductores) que se colocarán en zonas estratégicas (frente, lóbulo de la oreja y mastoidea) donde de acuerdo con algunos estudios, es posible captar en el niño la respuesta al sonido y determinar si tiene algún problema auditivo. Los electrodos deberán ser de preferencia desechables para evitar posibles contagios, en su defecto será necesario que se esterilicen cada vez que se utilicen, también deberán ser económicos.

El receptor deberá contar con un subsistema que permita recibir la señal a través del censor y traducirla (un display o indicador para observar la respuesta del niño).

Otro aspecto a considerar en el diseño del sistema es, que se pretende sea un sistema de filtro masivo, por lo que se buscará su inserción en todos los niveles socioeconómicos y en todas las comunidades del país, sobre todo en aquellos lugares apartados, que no tienen acceso a los grandes centros donde se cuenta con la tecnología apropiada.

Por lo anterior se procurará que el sistema sea sencillo, económico, ergonómico y que requiera de una capacitación mínima para su manejo; también es recomendable que sea portátil, para poder desplazarlo a los sitios donde se realice la prueba; de igual manera se tratará que el sistema funcione con corriente alterna (AC) o corriente directa (CD).

A pesar de que uno de los objetivos es que se cuente con el equipo en la mayoría de las comunidades, su producción no será elevada y por lo tanto sus procesos deberán ser adecuados, considerando una demanda que no exceda las 5000 unidades.

Se propone utilizar procesos productivos y materiales como las resinas reforzadas con fibra de vidrio y el termoformado.

Esto nos lleva a tomar ciertas consideraciones en el **envolvente o carcasa**, donde las formas deberán ser sencillas, continuas, estéticas, amables y agradables para el usuario. Además los materiales deberán ser económicos, pero resistentes, ligeros y de buena calidad.

En cuanto a las dimensiones, el producto será relativamente pequeño, lo que combinado con materiales ligeros nos ayuda a que el instrumento sea manejable y pueda transportarse con facilidad.

Por tratarse de un instrumento de uso médico, los colores deberán ser claros, expresando limpieza y seguridad; las formas continuas, para que no existan lugares donde se acumule suciedad y pueda ser de limpieza fácil.

El instrumento deberá adecuarse a las características ergonómicas de los usuarios (dimensiones de la mano, movimientos, visibilidad, características socio-culturales, etc.) Sobre todo en su uso, los controles que enviarán la señal deberán tener ciertas dimensiones y texturas, ser de presión, tener una determinada separación entre ellos, para que sean fáciles de manipular y que no vaya a existir confusión o se presionen dos controles al mismo tiempo. El o los displays que nos darán la respuesta a la prueba deberán ser legibles y de fácil interpretación y registro.

Para ello, el objeto irá acompañado de un manual con instrucciones claras y precisas para su uso y mantenimiento. Así como una bitácora donde se registren los datos de los usuarios.

Por otra parte, los elementos o aparatos que van a estar en contacto con el bebé, deben ser seguros y no causar ninguna molestia.

También es necesario considerar que en muchas de las comunidades no se podrá contar con un medio acústico adecuado, libre de ruidos; por lo que se propone el empleo

de audífonos, mismos que deberán contar con una buena fidelidad y tener ciertas características para evitar que tapen el canal auditivo y que la señal acústica no llegue en forma adecuada al infante, ó que le sean muy molestos en el momento de la prueba.

3.3 Diseño del sistema

Partiendo de la investigación realizada, de los objetivos del sistema y de los requerimientos establecidos, se determinó que el sistema a desarrollar debe estar constituido principalmente por componentes electrónicos, que permitan emitir las señales acústicas necesarias y después recibir la señal de respuesta. Por tal motivo, en el diseño del producto es necesario abordar por un lado el sistema electrónico y por otro el diseño exterior del producto (carcasa, controles, etc.).

El equipo debe emitir una señal sonora, la cual llegará al sujeto por medio de unos audífonos, al percibir la señal el niño emite una respuesta en forma de impulsos nerviosos o impulsos cerebrales, dicha respuesta será captada por un receptor a través de unos electrodos que se colocarán en la cabeza del infante; la señal captada deberá ser transformada para que su lectura sea fácil y accesible al personal encargado de realizar las pruebas.

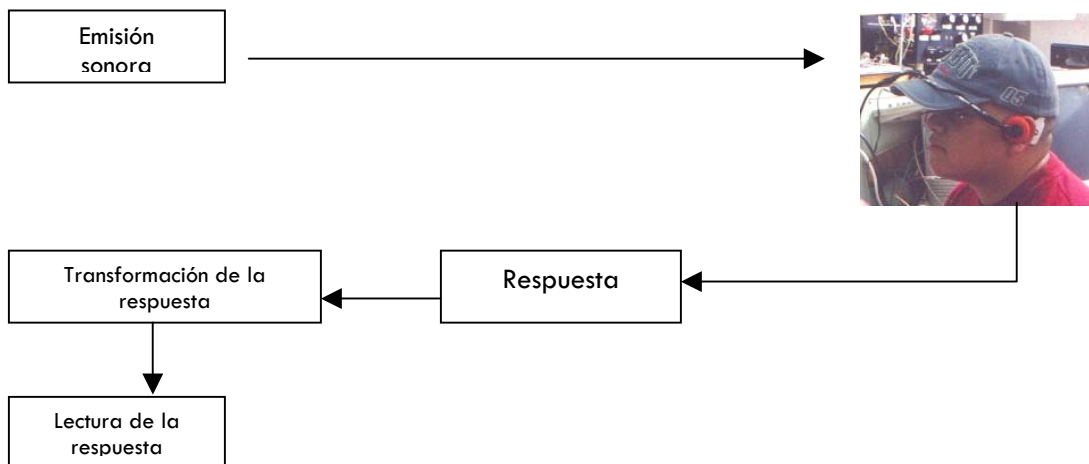


Fig. 16 Diagrama de funcionamiento del equipo diseñado

3.3.1 Diseño de circuitos

Así se inició por un lado el desarrollo de los circuitos electrónicos para lo cual se pidió el apoyo del Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico (CENIDET) perteneciente al Sistema Nacional de Institutos Tecnológicos de la Secretaría de Educación Pública, y se constituyó un equipo de trabajo con Maestros y Doctores en electrónica, con quienes se estuvo trabajando durante más de seis meses para poder contar con un prototipo electrónico, con el que se pudieran realizar algunas pruebas para validar el funcionamiento del proyecto.

De acuerdo con los objetivos planteados, se procedió a trabajar en una primera propuesta con el fin de definir adecuadamente el diseño de los diferentes circuitos que integraron el sistema de detección de problemas auditivos. En este sentido se realizaron algunas pruebas preliminares con electrodos de tipo broche para monitoreo continuo, desechables y con pasta conductiva de la Marca Uni-Patch.



Foto 1. Electrodo empleados en las primeras pruebas

Para la realización de las pruebas se monto un sistema provisional en el laboratorio de electrónica del CENIDET, el que constaba de un generador de funciones, un amplificador de señales y los sensores o electrodos receptores de las señales emitidas por el cerebro. En la siguiente figura se muestra un diagrama esquemático del sistema.

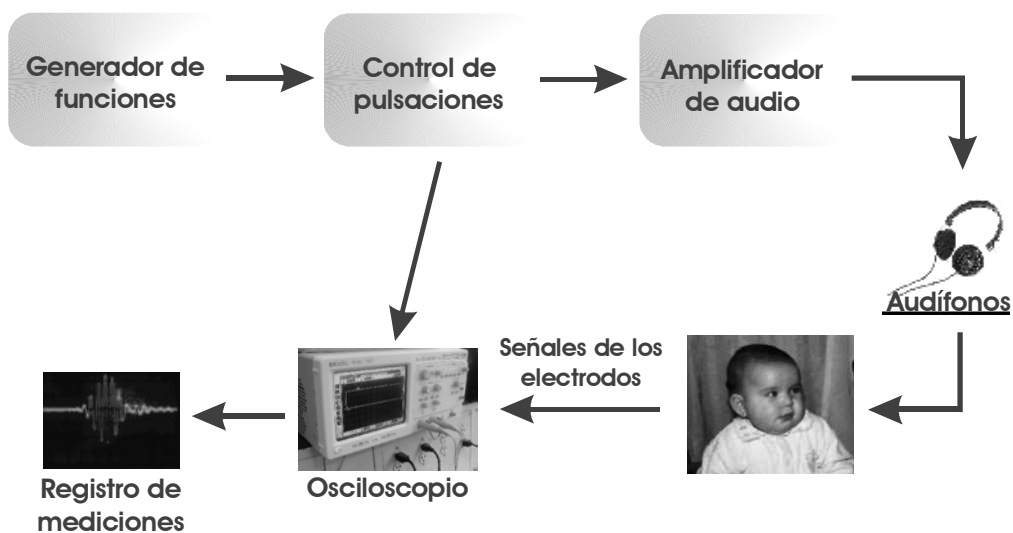


Fig. 17. Diagrama del sistema provisional montado para pruebas preliminares.



Foto 2. Pruebas preliminares. Laboratorio de electrónica del CENIDET.

En las primeras pruebas los electrodos fueron colocados de la siguiente manera:

- ◆ El 1^{er} electrodo fue colocado en el mastoideo con salida al canal 1 del osciloscopio.
- ◆ 2^o electrodo colocado en el lóbulo del oído al canal 2 del osciloscopio.
- ◆ 3^{er} electrodo en la parte frontal.

Los datos obtenidos fueron los siguientes:

- ◆ Las señales medidas no eran suficientemente apreciables.
- ◆ Los electrodos son muy sensibles a otras señales existentes en el entorno.
- ◆ Se observó ruido de tipo conducido. Esto se verificó al quitar y colocar los audífonos persistiendo el mismo comportamiento.
- ◆ Se observó que el lugar de la colocación de los electrodos influye en la cantidad de ruido.

Así mismo, partiendo de estos resultados se determinaron los circuitos que se habían de diseñar: un amplificador de señales, un circuito de control de pulsaciones, un amplificador de instrumentación y el generador de señales.

Se realizaron unas primeras propuestas de estos componentes, que permitieran generar una señal de audio que se pudiera modular y controlar el período para que se identificará adecuadamente las respuestas de los electrodos; y amplificarlas para poder variar la intensidad del sonido.

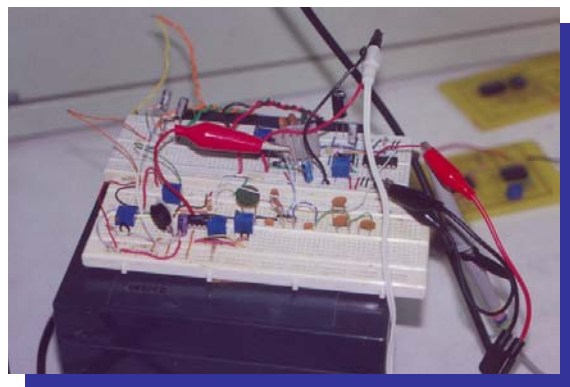


Foto 3. Modelos en Proto Board de la primera propuesta de circuitos.

De estas propuestas se realizaron unos modelos en Proto Board, los cuales se muestran en la foto anterior, con estos se realizaron otras pruebas para observar su funcionamiento y determinar si trabajaban adecuadamente.

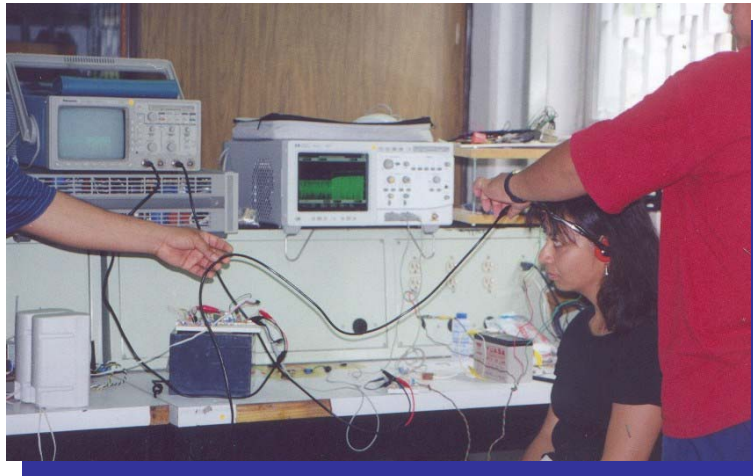


Foto 4. Pruebas de la primera propuesta. Laboratorio de electrónica del CENIDET.

Tomando como base los datos que arrojaron los estudios, se hicieron algunas modificaciones a los circuitos para buscar un mejor funcionamiento en la detección de la pérdida auditiva. Uno de los objetivos en esta propuesta es diseñar los circuitos de filtrado para las diferentes frecuencias de los tonos desde 250 Hz a 6 KHz.

Las siguientes mediciones se realizaron a diferentes frecuencias (250 Hz, 500 Hz, 1 KHz, 2 KHz, 4 KHz y 6 KHz) tanto en el generador como en los filtros, tomando como base el filtro propuesto variando sólo los capacitores y manteniendo constantes las resistencias.

Los datos obtenidos con estas propuestas no fueron del todo satisfactorios o consistentes. Esto llevó a buscar otras estrategias un poco diferentes, por ello se realizó otra propuesta cuyo funcionamiento estaba basado en el de un sistema de detección de pérdida auditiva comercial y muy caro (alrededor de los \$100,000.00 MN). El funcionamiento de este sistema se basa en generar un pulso de corta duración llamado de banda amplia, esto es un pulso cuadrado, la duración del pulso, también llamado click, es de 1 a 2 ms con un tiempo de espera de 28 ms antes de repetir el click. Esto es para asegurar que ya se realizó la respuesta del sistema auditivo a través del sistema nervioso.

Partiendo de las pruebas realizadas, se modificaron algunos de los circuitos, para conseguir las condiciones de funcionamiento requeridas. Los circuitos que se modificaron fueron el circuito amplificador de potencia y el amplificador de instrumentación con filtro.



Foto 5. Circuito amplificador de potencia del tono

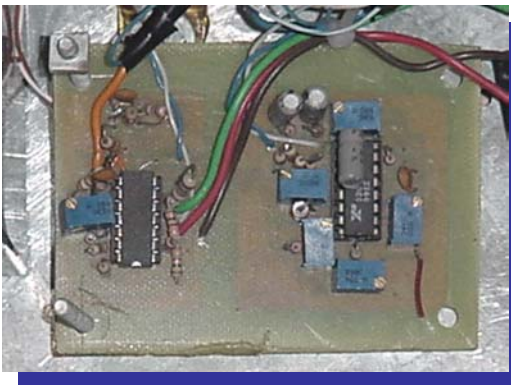


Foto 6. Circuito amplificador de instrumentación con filtro

Con estos circuitos se integró un prototipo electrónico de sistema de detección de pérdida auditiva, el cual tiene la posibilidad de generar señales de tonos de pulsos de banda amplia definido como generador de tono (pulso cuadrado de 1 a 4 ms) y un generador de frecuencias variables senoidales como se muestra en la figura 26. De esta forma se pueden seleccionar dos tipos de excitación de los cuales se esperan patrones de respuesta diferentes de las señales obtenidas a partir de los electrodos.

Sin embargo aun faltaban por resolver dos circuitos; uno que permitiera trabajar indistintamente con corriente o con baterías denominado circuito cargador de baterías y el

segundo para traducir la señal de respuesta que viene en forma de onda a una señal visual de fácil identificación, denominado circuito de detección de umbrales auditivos.

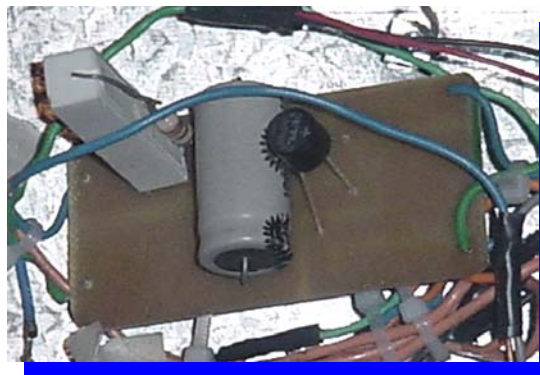


Foto 7. Circuito cargador de baterías

Este último debe comparar la señal del circuito amplificador de instrumentación, sometido previamente a un circuito filtro pasa banda para eliminar frecuencias no deseadas contra una señal de corriente directa (CD). Esta señal de CD es controlada con un potenciómetro y define el umbral mínimo de audición normal. Este umbral mínimo es calibrado por el potenciómetro al valor determinado, dependiendo del valor con el cual se presente la señal del filtro. A la salida de este comparador se tiene un indicador luminoso, el cual se encenderá si la señal es aceptable, indicando un buen nivel auditivo.

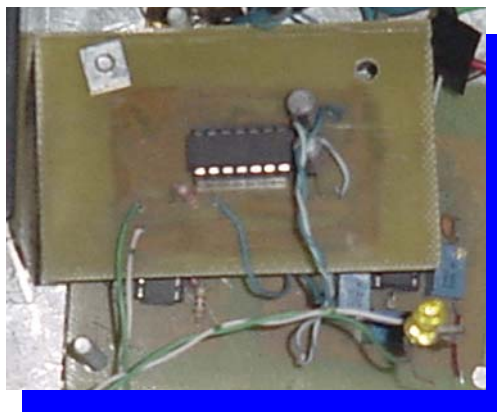


Foto 8. Circuito de detección de umbral auditivo

Una vez que se tienen integrados todos los circuitos, se realizan otras pruebas para determinar el funcionamiento del prototipo electrónico y así definir los diagramas que serán impresos en las tarjetas, reduciendo sus dimensiones para que ocupen poco espacio.

La descripción detallada del proceso para la integración de los circuitos electrónicos, su funcionamiento y los diagramas, se presentan en el anexo 2 del presente documento.

3.3.2 Alternativas de diseño

Paralelamente a la elaboración de los circuitos, se abordó el diseño exterior del instrumento.

Partiendo de los objetivos planteados y considerando los requerimientos previamente establecidos, se realizaron algunas propuestas que fueron modificándose conforme avanzaba el desarrollo de los elementos electrónicos.

Alternativa 1

Esta primera propuesta consistía en tener una base de ciertas dimensiones (ancho, largo y espesor) en la que se pudieran integrar los componentes electrónicos, al igual que los controladores de audio y los indicadores de respuesta.

La base también serviría de soporte para acostar al niño y tendría un capelo de material transparente, con el que se cubre el cuerpo del pequeño. Y este material permitiría vigilarlo.

El capelo tendría además incluidas unas bocinas para el envío de la señal sonora.

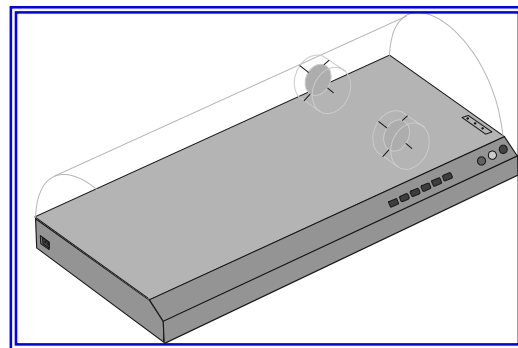
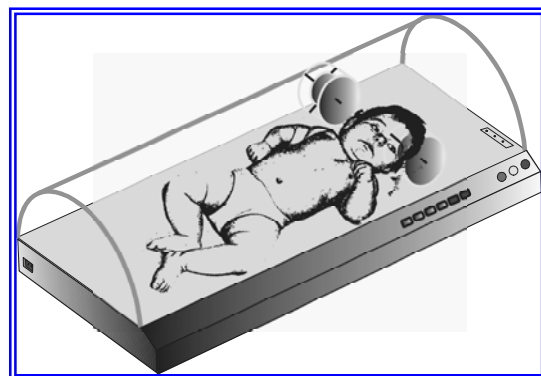


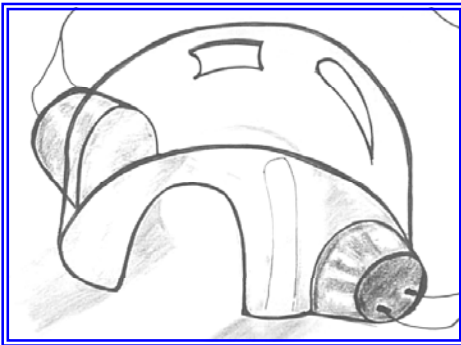
Fig. 18 y 19. Propuesta 1, capelo completo



Esa propuesta era interesante, tenía algunos aspectos positivos, como el que se aislaba al infante por completo y todos los elementos estaban integrados; sin embargo tenía varios inconvenientes como: la dificultad para maniobrar los sensores, ya que como se menciona en párrafos anteriores, éstos deben colocarse primero en un hemisferio de la cabeza y luego en el otro para evaluar cada oído por separado, lo cual no se podía hacer correctamente en esta propuesta, ya que aún cuando se enviara la señal por separado, ésta llegaba a ambos oídos.

Otros problemas que presentaba esta propuesta eran sus dimensiones y su peso, lo que dificultaban su ubicación y su transportación; así mismo el costo era un poco elevado.

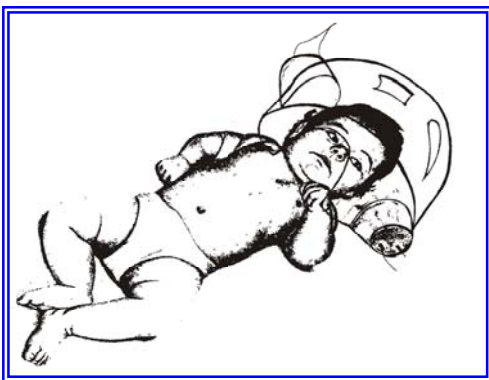
Alternativa 2



Otra de las propuestas consistía en tener un medio capelo con el que se cubriera únicamente la cabeza del niño; al igual que en la propuesta anterior el capelo tendría unas bocinas integradas para el envío de la señal sonora.

En esta alternativa los circuitos se ubican en un elemento externo.

Fig. 20 y 21. Alternativa 2, medio capelo



Esta propuesta tampoco cumplía de manera adecuada con los requerimientos, a pesar de que permitía enviar la señal sonora alternada a la bocina izquierda o a la bocina derecha, el niño podía percibir el sonido en ambos oídos, por lo que la concentración del sonido no era la adecuada y no permitía saber si percibía con el oído izquierdo o el derecho.

Asimismo debía tener un indicador y/o una bocina externa para comprobar que se esté enviando el sonido deseado.

Por otra parte, en esta propuesta se encuentran por separado los componentes por lo que también se dificulta su almacenamiento y transportación.

Un inconveniente adicional en ambas alternativas, es que el niño tiene que estar acostado, y esto en ocasiones afecta la realización de las pruebas; según comentarios de algunos médicos hay veces en que el niño no quiere quedarse acostado y las pruebas se le realizan estando en los brazos de la madre.

En relación a lo anterior se vio la necesidad de proponer otras alternativas en las que el niño pudiera o no estar acostado para la realización de la evaluación audiológica

Alternativa 3

Esta propuesta consta de un equipo en el que se integran todos los componentes electrónicos y contiene además audífonos y/o bocinas para enviar la señal sonora.

Las imágenes muestran las variantes de esta 3ª propuesta, en ellas se puede observar que unas integran los audífonos en la misma carcasa, otras los tienen por separado o tienen unas bocinas que se desprenden del equipo y se colocan a cada lado de la cabeza del niño muy cerca de la oreja.

Esta propuesta integra unas fichas para registrar los datos arrojados por el examen.

Evaluando estas alternativas se determinó

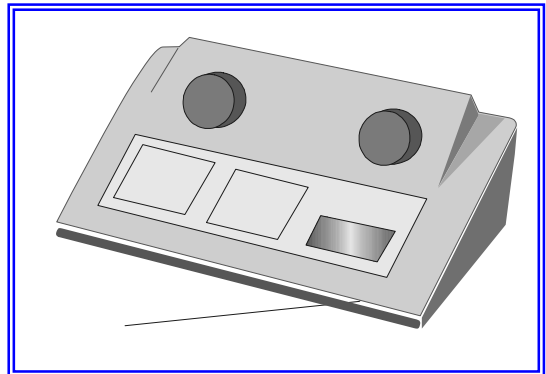


Fig. 22. Propuesta 3a

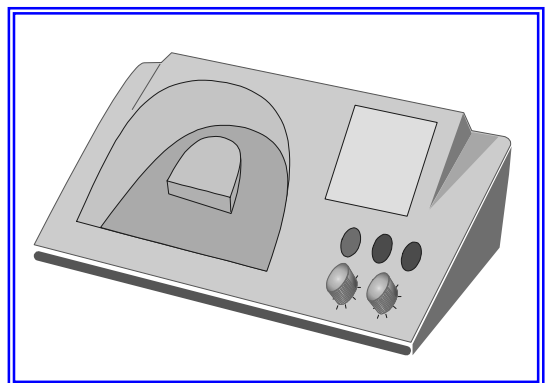
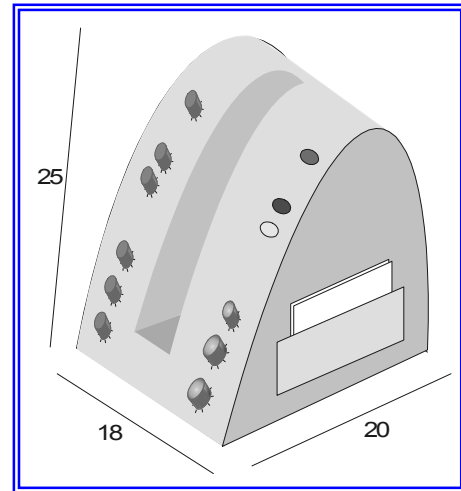


Fig. 23 y 24. Variantes propuesta 3

que el tener los audífonos y una pequeña bocina permite enviar indistintamente la señal sonora a cada oído, al igual que permite corroborar el sonido que se está enviando al receptor.

Si se seleccionan unos audífonos de calidad y que no bloqueen el pabellón auditivo se podría tener una buena concentración del sonido y reducir así las interferencias ocasionadas por el ruido exterior.

Los audífonos son de fácil manejo, se pueden llevar de un lado a otro, pero tienen el inconveniente de que no están integrados todos los elementos que se requieren para la realización de la prueba.



Con la propuesta de los audífonos se pueden hacer los estudios a los niños mientras se encuentran acostados o en los brazos de la madre.

Así mismo por las dimensiones del equipo no se ocuparía mucho espacio cuando no esta en uso y se podría transportar con facilidad.

Después de realizar el análisis y estudio de las alternativas y tomando en cuenta los requerimientos y las cualidades de las mismas, la mejor propuesta es esta última; puesto que su manipulación es sencilla, y no requiere de personal altamente especializado para su manejo, se puede desplazar sin mucho esfuerzo de un lugar a otro; cumpliendo con los objetivos iniciales del proyecto y a que satisface los requerimientos principales son: que pueda emplearse en todos los ámbitos socio-económicos del país, lo que implica que pueda ser transportado entre las diferentes comunidades; que no se requiere de capacitación especializada para su manejo, ya que se pretende ubicarlo en los centros de salud, clínicas y pequeños consultorios de comunidades rurales.

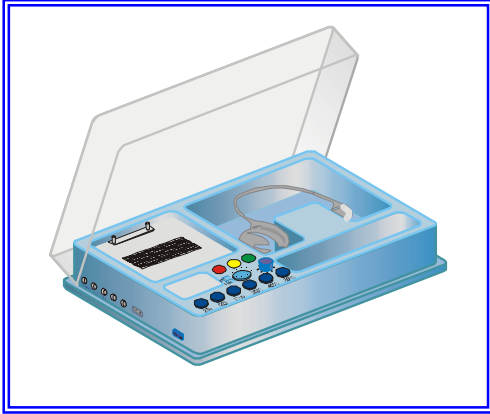


Fig. 25 y 25b. Alternativa seleccionada

Alternativa 3 modificada

A partir de esta evaluación, se realizaron algunas modificaciones a la propuesta, buscando que se pudieran integrar todos los componentes a la carcasa y se empezaron a definir algunas variables como las dimensiones preliminares, el tipo de audífonos, etc.



La propuesta a la que se llegó se muestra en la figura 25, en ella se puede observar que se propone realizar una carcasa con bajos relieves en los que se coloquen los audífonos y los electrodos. Así mismo se propuso colocarle una cubierta transparente o traslúcida para proteger los controles y evitar que se llenen de polvo o que los electrodos puedan caer.

De igual manera se pensó que este equipo pudiera estar en un carrito para que se pudiera mover con mayor facilidad dentro del consultorio o de la clínica, en el caso de que no se tuviera un lugar fijo para la realización de las evaluaciones.



Fig. 26. Alternativa de solución, propuesta de ubicación

Esta propuesta parecía ser la más adecuada para el equipo de detección. Por lo que sólo faltaba tener físicamente los componentes electrónicos para poder continuar con su desarrollo, y poder definir las dimensiones reales; el número de circuitos y los espacios que ocuparían, la ubicación de cada uno de ellos y las baterías; al igual que la posición de los controles.

3.3.3 Desarrollo de la solución

Una vez que se dio por concluido el desarrollo de los circuitos electrónicos y que se tuvieron físicamente, se procedió a integrar ambas partes del proyecto y así poder construir un modelo de todo el sistema.

Lo primero fue ubicar los circuitos de manera que ocuparan un espacio reducido y que se adaptaran a la forma de la carcasa, para ello se realizaron croquis en Auto CAD a partir de los cuales se elaboraron dos modelos volumétricos en los que se integraron los diferentes componentes electrónicos, y de esta manera poder dimensionar el producto.

Los modelos realizados se muestran en las fotos 9 y 10, a partir de éstos se pudo evaluar la propuesta de diseño y así determinar los espacios que requerían cada uno de los componentes, al igual que su ubicación aproximada; buscando además que los cables quedaran bien colocados para evitar que hicieran tierra o algún corto circuito.



Fotos 9 y 10 . Modelos volumétricos de variantes de la propuesta

Esa evaluación de la propuesta permitió observar en el primer modelo que era un poco grande, pero tenía una pendiente que le hacía verse más esbelto, las cavidades para colocar los elementos externos eran amplias y el espacio que quedaba en el centro de los audífonos se acoplaba perfectamente al área que ocupaba una de las baterías; así analizando bien el modelo se observó que los espacios podían reducirse con un acomodo diferente de los elementos.

El segundo modelo era totalmente recto y un poco más alto para que cupieran los componentes, se habían reducido sus dimensiones en largo y ancho, pero la altura se había elevado. En este modelo, si se ubicaban los canales de salida en uno de los laterales, se disminuía el espacio para controles en la parte de arriba.

Con este análisis se percibieron algunos aspectos que debían ser modificados antes de integrar el equipo definitivo.

Paralelamente se realizó un estudio del posible mercado para determinar algunas de las características del proyecto, como el tipo de material y el proceso de producción.

El mercado mexicano se determinó de acuerdo al número de centros hospitalarios del país, considerando clínicas, consultorios y centros de salud; lo que arrojó un número aproximado de 5000 unidades. A partir de este resultado se determinó que los procesos de producción considerados para la fabricación del producto serían la fibra de vidrio o el termoformado, dado que no se requería de una alta producción. Sin embargo; al evaluar estas 2 alternativas se descartó la fibra de vidrio, ya que el grosor de las paredes se eleva afectando el acomodo de algunos de los componentes internos.

Por ello, se enfocó en investigar y proponer algunos materiales laminados que pudieran termoformarse, como: el estireno, el polipropileno, el pvc, el policarbonato o el acrílico.

Analizando las propiedades de cada uno de ellos se descartó el estireno y se decidió emplear el polipropileno para la carcasa, puesto que tiene propiedades acordes a los

requerimientos. Es un material que tiene muy buena resistencia a impactos, temperatura, humedad, excelente resistencia a químicos, etc.

Para la cubierta se pensó en utilizar policarbonato o acrílico, por ser materiales laminados y transparentes; lo cual se debe a que la cubierta se pensó para que protegiera a los elementos que se encuentran en la carcasa, como son los controles, las hojas de registro, los electrodos y los audífonos, y que se pudiera visualizar lo que hay debajo. Sin embargo; al analizarlos se observó que el acrílico era mejor opción puesto que, a pesar de tener la desventaja de que se raya con facilidad y su resistencia a impactos es menor que la del policarbonato, éste último es muy susceptible al ataque de agentes químicos, los cuales, es muy común encontrarlos en clínicas donde se utiliza alcohol, mertiolate u otras sustancias que lo pueden dañar, por lo que se ha optado por utilizar el acrílico.

Por otra parte, se propone lámina de aluminio troquelada en la base para fijar los componentes electrónicos.

Una vez que se determinaron estos aspectos y considerando las modificaciones que se debían hacer de acuerdo con la evaluación hecha a los modelos, se realizaron los dibujos constructivos del sistema, necesarios para la fabricación del producto. Estos se presentan como anexo al documento.

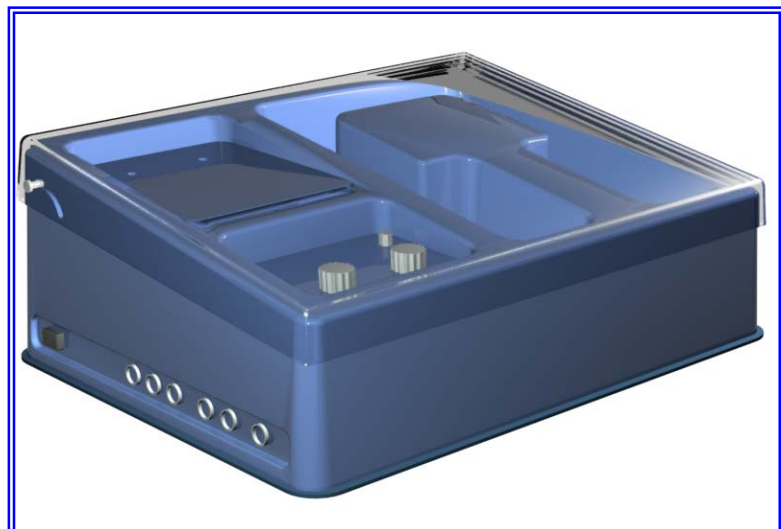


Fig. 27. Modelo 3D de la propuesta

Así mismo, con el apoyo de programas como Auto CAD y 3D studio se realizaron unos modelos 3D (virtuales) a los que se incorporaron los cambios propuestos; para evitar realizar nuevamente los modelos físicos. Con ello se pudo llegar a una propuesta definitiva de solución del sistema para la identificación temprana de la hipoacusia, el que se describe a continuación.

Propuesta definitiva

Después de un largo proceso de investigación y diseño, se obtuvo un resultado positivo, conformando así un modelo del sistema de filtrado diseñado con la finalidad de lograr la detección temprana de la discapacidad auditiva utilizándolo como prueba de tamizado.

El instrumento consta de los siguientes componentes:

- ◆ Un sistema electrónico descrito en el anexo 2 del documento, el cual está asentado a una base metálica por medio de unos soportes de aluminio que se fijan a la base y que a su vez tienen unos elementos plásticos que son los que sostienen a las tabletas de los circuitos y que sirve como aislante. En la foto se puede observar un modelo del acomodo de los componentes, no así de los soportes.
- ◆ Dos baterías de 12 volts y 4.5 amperes recargables, fijas también a la base metálica por medio de unos sujetadores ciegos de fijación propia.
- ◆ Una base metálica en la que se fijan los circuitos electrónicos y baterías, la que es de aluminio o acero inoxidable estructurada para soportar adecuadamente los

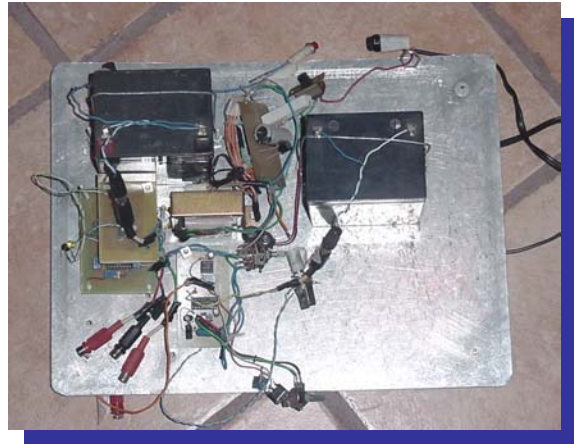


Foto 11. Modelo de los componentes electrónicos del producto

componentes, puesto que las baterías son un poco pesadas y podría deformarse si no hay estructura, ésta tiene además unos soportes o patas de goma que evitan que este en contacto directo con la superficie.

- ◆ La carcasa termoformada, con algunas formas en bajorrelieve y perforaciones, tanto en la parte superior como en uno de los laterales para colocar los audífonos, electrodos, instrumentos escritos y controladores. Ésta debe tener unos elementos insertados para que mediante ellos se fije la base a la carcasa



Foto 12. Modelo de la carcasa

Al realizar el modelo de la carcasa, se observó que se requiere una termoformadora de operación positiva (con el sistema de molde fijo y el material una vez calentado desciende sobre el molde para ser succionado a la forma del molde) con bomba de alto vacío para tener una alta definición del termoformado o empleando una termoformadora con embolo neumático y que salga bien la cavidad en la que van colocados los

audífonos, ya que por la profundidad que tiene es importante cuidar de que la succión sea buena, porque de no ser así el laminado no alcanza a llegar al fondo del molde y no da la forma que se requiere, en ello también es importante tener los ángulos de desmolde apropiados para que la pieza salga sin problema

Por lo anterior el modelo se realizó en fibra de vidrio, sin embargo esto elevó los espesores en algunas partes, las que se tuvieron que rebajar para que no interfirieran en el acomodo de los elementos internos.

Lo ideal sería emplear el proceso de inyección y la forma saldría muy bien, sin embargo esto elevaría mucho el costo del producto, porque el molde que se requeriría

sería muy costoso y el número de productos a fabricar es reducido, por lo que no se amortizaría.

- ◆ Una cubierta termoformada para cubrir los controles y los componentes que van sobre la carcasa, la cubierta va unida a la carcasa por medio de un perno que corre por una canal y que le permite subir y bajar.
- ◆ Unos audífonos marca PROAM que permiten cerrar el canal de salida del sonido en cada auricular y así controlar el envío de sonido al oído derecho o izquierdo.
- ◆ Los electrodos o sensores para recibir la respuesta
- ◆ Los instrumentos escritos para registrar los datos arrojados en el estudio.

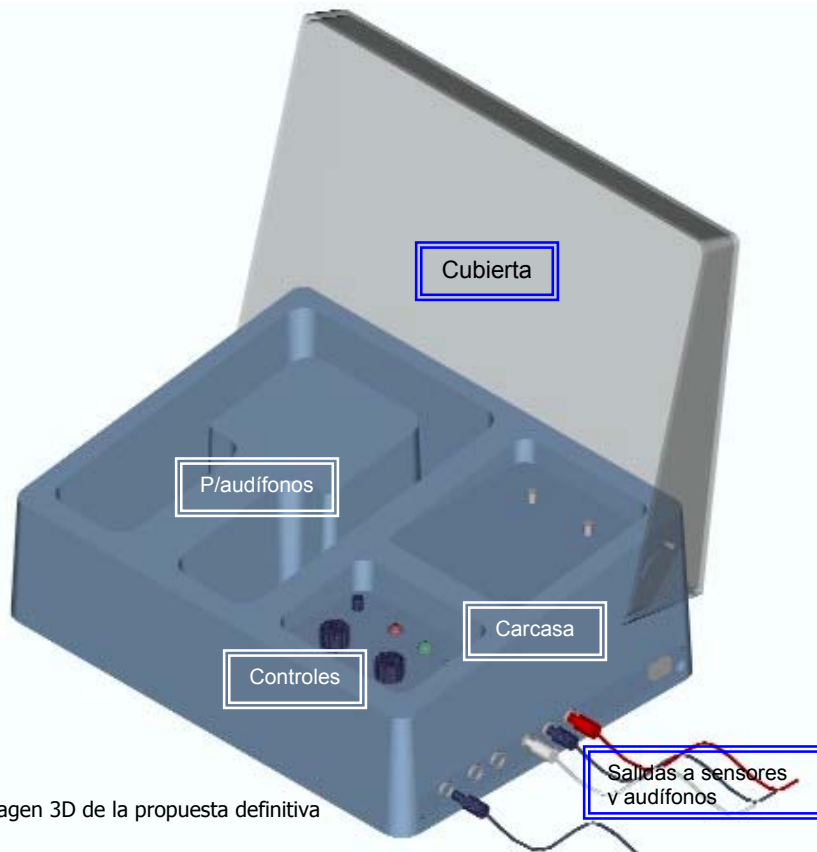


Fig. 28. Imagen 3D de la propuesta definitiva

- ◆ Por último están los controles e indicadores luminosos enumerados a continuación

Controles

En la parte superior tenemos los siguientes controles:

- 1). Control de volumen de los tonos, que regula la intensidad del sonido enviado
- 2). Selector de diferentes tonos (pulso 2ms-4ms)
- 3 El control de cambio de corriente directa a corriente alterna (switch on/off - cargado)
- 4). El indicador de detección de umbral auditivo, es un indicador luminoso que se enciende cuando hay un problema de audición.
- 5). El indicador de cargado de las baterías, este también es un indicador luminoso.

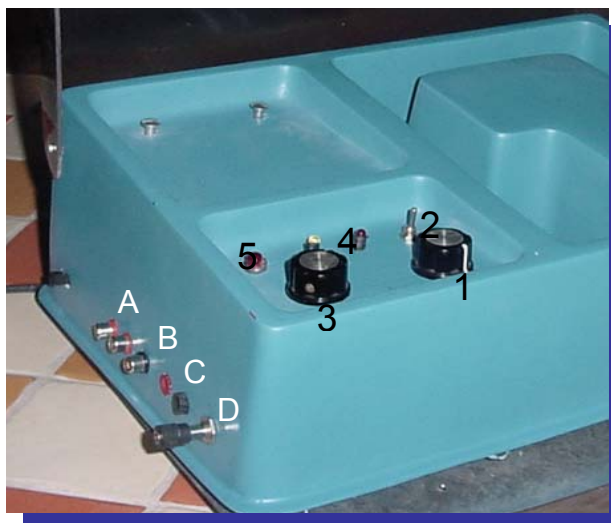


Foto 13. Ubicación de los controles e indicadores

En la parte lateral izquierda tenemos otros controladores:

- A). El interruptor de encendido (Switch on/off)
- B). La conexión para los electrodos con entrada a los amplificadores (Son tres electrodos: Mastoideo-Frente-Lóbulo)

C). La conexión del amplificador de audio hacia los audífonos.

D). Las conexiones para la visualización de la señal del pulso, es decir para el osciloscopio en caso de que se requiera

En la parte posterior se encuentran:

E). La salida del cable de alimentación de línea o pasacable.

F). Por último el fusible de seguridad (Fuse).

El modelo al que se llegó se muestra en la siguiente fotografía, a partir de éste se realizó una evaluación funcional o de uso del diseño, observando la ubicación y manejo de controles e indicadores con respecto a la ubicación de los elementos internos.



Foto 14. Modelo de la propuesta definitiva de solución

Con esta evaluación se pudo determinar que las dimensiones del instrumento son apropiadas por lo que se puede tener un buen manejo del equipo; sin embargo el peso si excedió al que se tenía contemplado, esto se debe al peso de las baterías que se utilizaron, lo que puede corregirse sustituyendo la batería; para lo cual tendría que hacerse unos pequeños cambios en la alimentación de los circuitos.

Esto también permitiría cambiar la posición de los controles, ya que al realizar las pruebas se observó que la mejor ubicación de estos es el lado derecho, puesto que la mayoría de las personas son diestras y de esta manera será más cómodo el médico o la persona que opere el equipo.

Así mismo, pensando en que el equipo se puede trasladar a diferentes espacios para la realización de las pruebas, de manera cómoda y sin causar fatiga al usuario se tiene la alternativa de un maletín en el que se podrá transportar de una manera adecuada el equipo.

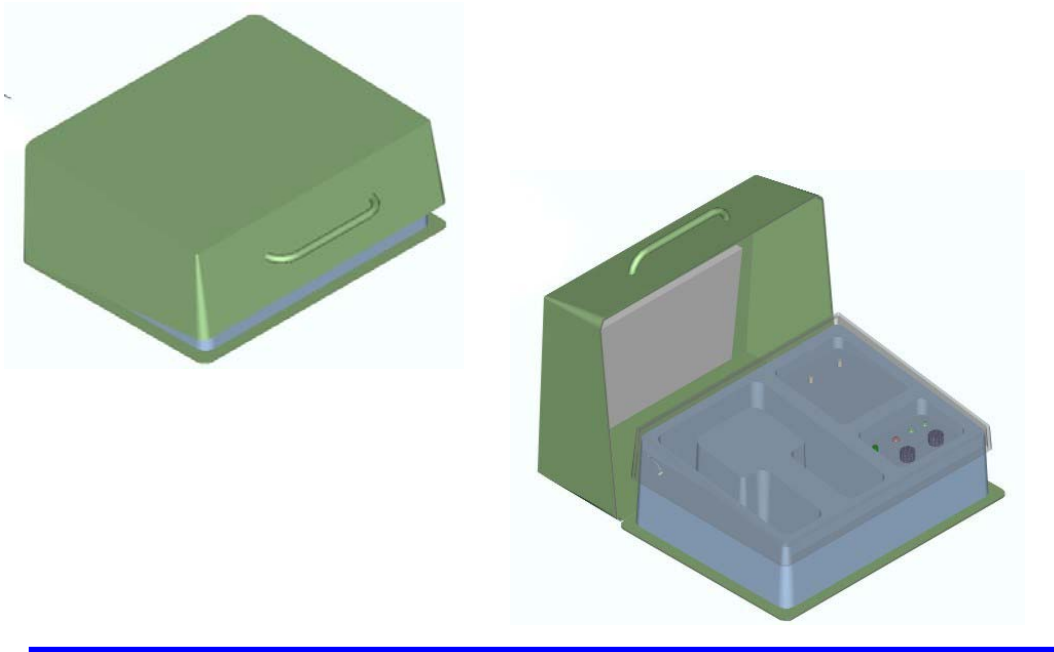
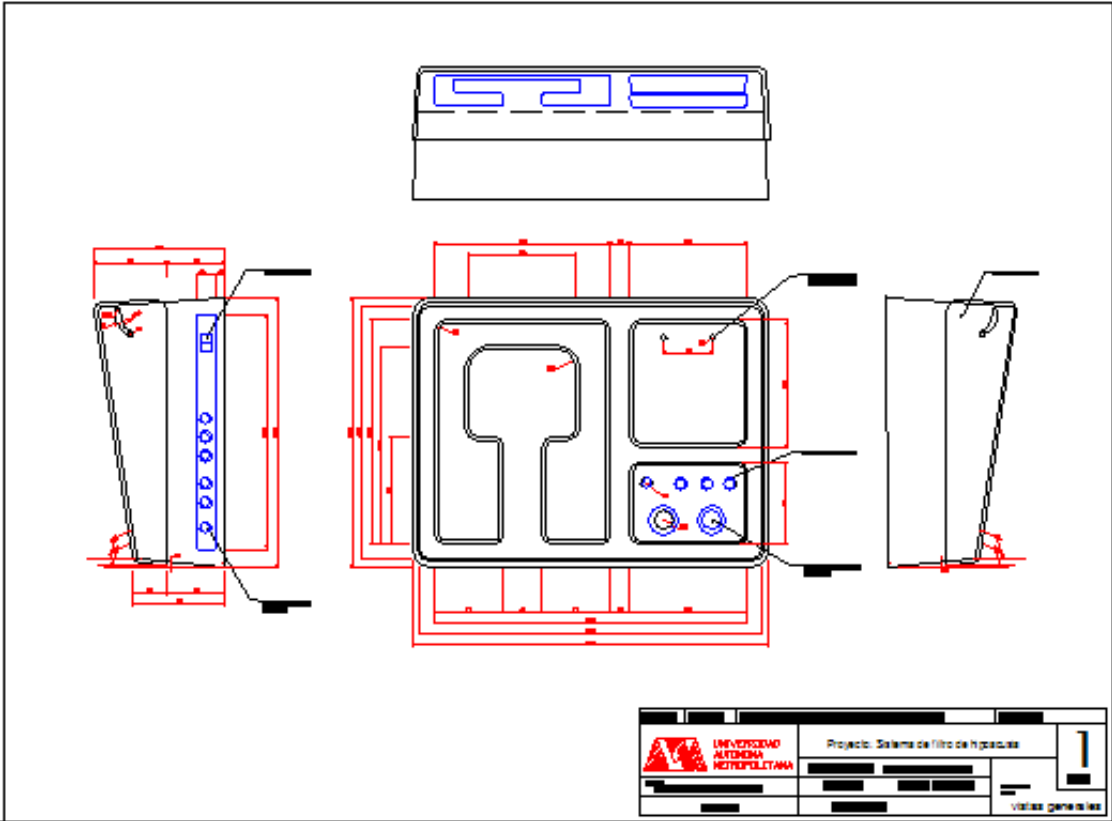


Fig. 29 Propuesta de maletín para transportar el equipo

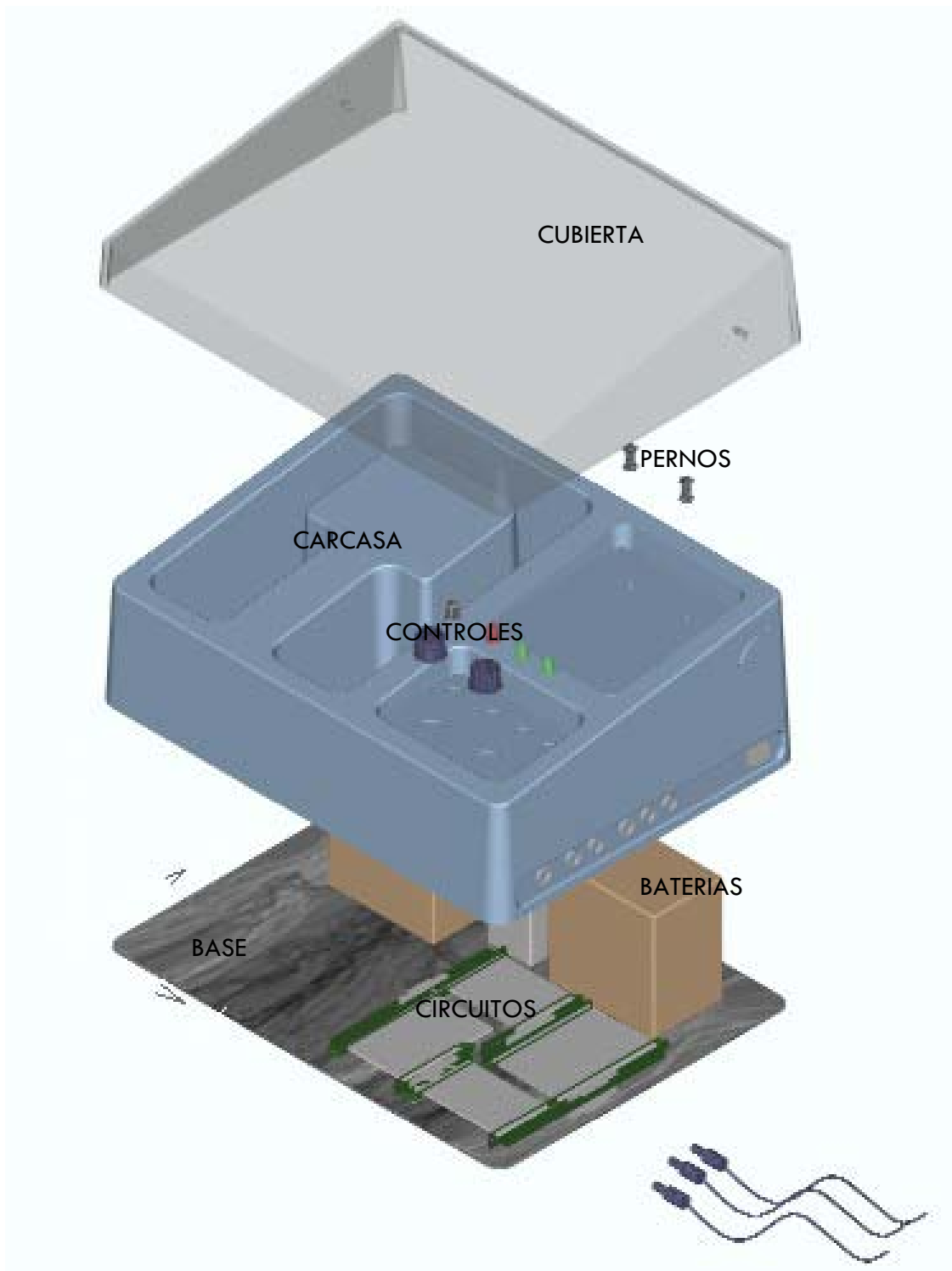
El maletín esta pensado realizarse en alguna loneta con una estructura interna de cartón comprimido que le de cierta rigidez para evitar que algún golpe dañe el equipo, además tendrá en su interior unos contenedores para las formas de registro, el cable de conexión a la corriente y los electrodos.

A continuación se presenta el plano con la montea general y un despiece del equipo propuesto, los demás dibujos constructivos al igual que el manual de uso del producto, se presentan como anexo al final del documento.

Montea



Despiece



CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para comprobar la hipótesis planteada en el inicio de la investigación, era necesario realizar un estudio que permitiera comprobar el funcionamiento del objeto diseñado.

El medio ambiente es de suma importancia para la realización de una evaluación auditiva adecuada, se debe contar con un espacio libre de ruidos y una atmósfera tranquila, deben evitarse sucesos sonoros que no sean los estímulos acústicos deliberadamente ofrecidos. Asimismo los estímulos visuales no deben ser muy llamativos.

Hay que tener en cuenta que, aunque se encuentre en un lugar “libre de ruidos”, se produce un nivel de sonidos aproximadamente de 30 db de intensidad de sonido producido por el mismo niño.

4.1 Diseño del estudio o experimento

El estudio que se realizó fue de tipo transversal, es decir, se registró únicamente si la persona tiene o no un déficit auditivo, de acuerdo con las respuestas emitidas a los impulsos sonoros enviados; el registro fue través de una cédula y/o fotografías.

Para llevar a cabo el estudio fue necesario determinar la población con la cual se realizaría el experimento, los procedimientos y los elementos que se requirieron.

4.1.1 Método

4.1.1.1 Sujetos de estudio

Con base en las investigaciones realizadas, se determinó que la población óptima para realizar las pruebas funcionales del sistema diseñado, debería tener las siguientes características:

En principio el rango de edad al que está enfocado el sistema oscila entre los 6 y los 18 meses, puesto que es el período en el que se adquiere el lenguaje, es decir, durante el cual el niño aprende a hablar; si el diagnóstico se da posterior a este período ocurre un rezago en el desarrollo del niño; por lo tanto la detección o filtraje de la limitación auditiva debe ser anterior a los 18 meses.

Sin embargo, es indispensable que el sistema se pruebe y se calibre antes de realizar los estudios con los niños, puesto que el niño a esa edad aún no puede decir si escucha o no y se podría tener falsos positivos o negativos, lo que significa



Foto 15. Prueba realizada a niño de 6 meses

que el sistema podría indicar que el niño escucha cuando no es así o viceversa.

Por tal motivo, se estableció otro rango de edad para las primeras pruebas. Realizándolas en adultos y niños mayores de 2 años que nos pudieran indicar si escuchaban o no y compararlo con los resultados obtenidos por el equipo diseñado. Posteriormente se realizarían algunas pruebas con niños menores a 18 meses.

También se determinó que era necesario realizar algunas pruebas con personas que tuvieran un déficit auditivo, para comprobar el funcionamiento del sistema diseñado.

4.1.1.2 Instrumentos empleados

Para la realización del estudio fue necesario contar con un cuestionario escrito, en el que se registraron algunos datos generales del paciente como el nombre, la edad, talla y peso; así como, otro tipo de información que permita determinar si hubo antecedentes familiares, sobre problemas durante la gestación, en el parto o posteriores que indiquen que hay una situación de alto riesgo de pérdida auditiva; asimismo, fue necesario una tabla para registrar las emisiones que se presentaron tanto en el oído derecho como en el izquierdo, con estos elementos se integra una ficha de diagnóstico, la que se presenta a continuación.

Ficha de diagnóstico

Datos generales del paciente
 Nombre:
 Edad: Peso: Talla:

Información sobre el padecimiento
 Antecedentes de sordera en la familia:

 Problema o enfermedad de la madre durante el embarazo:

 Problemas presentados durante el parto:

 Problemas presentados con el bebé posteriores al nacimiento:

Prueba de detección
 Marque con una cruz el círculo verde si al enviar la señal luminosa se encendió el indicador luminoso, de lo contrario marque el círculo blanco.

Oído derecho						Oído izquierdo					
	250	500	1000	2000	4000		250	500	1000	2000	4000
10	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	10	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
20	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	20	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
30	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	30	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
40	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	40	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
50	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	50	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
60	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	60	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
70	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	70	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
80	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	80	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
90	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	90	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>

Fig. 30. Reproducción de la ficha de registro de datos.

Los equipos de medición que se utilizaron en el experimento fueron:

- ◆ El sistema diseñado, el cual consta de 5 circuitos electrónicos: uno para generar la señal sonora calibrada, otro para amplificar esa señal y que pueda variar su intensidad entre los 10 y los 90 decibeles, el tercero recibe los impulsos que se generan como respuesta a las señales enviadas, el cuarto amplifica la señal recibida y el último traduce esa respuesta que viene en forma de onda a una señal luminosa. Este instrumento puede funcionar por medio de corriente o pilas y tiene dos baterías recargables

Tiene un controlador de encendido y apagado, un controlador de intensidad, una entrada para audífonos, 3 entradas para los sensores, 2 entradas para el osciloscopio, un diodo emisor de luz (led) que indica que el instrumento está encendido y otro para indicar la respuesta.

- ◆ El segundo instrumento es un osciloscopio digital Storage, modelo 2522A, marca BK PRECISION

4.1.1.3 Procedimiento

La metodología que se siguió para llevar a cabo las pruebas fue la siguiente:

- 1) Se explicó “a groso modo” en qué consistiría el estudio a realizar, para que no existiera algún problema o mal entendido, sobre todo en el caso de los niños quienes muestran miedo por temor a sentir dolor.
- 2) Se pidió a la persona que se recostara en un sillón y que tratara de estar relajada.
- 3) Posteriormente se le limpió las zonas en donde iban a ser colocados los sensores.
- 4) Se colocaron tres sensores, el primero en el mastoideo, el segundo en el lóbulo y el



Foto 16. Limpieza de las zonas donde se colocaran los electrodos



Foto 17. Colocación de los electrodos,

tercero en la frente, a éstos se les puso un gel para ultrasonido, para que recibieran de manera nítida la señal eléctrica. Los sensores se colocaron primero en el lado derecho para así poder identificar la lateralidad de la pérdida es decir, si ésta se ubica en el lado derecho, izquierdo o es bilateral.

5) Se les colocaron los audífonos y se enviaron las diferentes señales sonoras, al oído derecho.

6) Se observó la respuesta que dió el instrumento.

7) Una vez registrada la respuesta del lado derecho, se cambiaron los electrodos al lado izquierdo y se enviaron las señales sonoras al oído izquierdo.



Foto 18. Realización de la prueba

8) Se espera observar la respuesta y enseguida se retiraron los audífonos y los sensores.

4.1.2 Realización de las pruebas

El dispositivo propuesto, tiene un *led* (indicador luminoso) que se enciende en señal de alarma si la persona no escucha. Esto tiene el propósito de obtener una respuesta más simple, y no tener que descifrar la gráfica del osciloscopio para determinar si hay pérdida o no. Sin embargo para la realización de las pruebas, también se tiene la opción de conectarse a un osciloscopio, para poder observar las gráficas de respuesta.

Para el experimento se realizaron algunas pruebas considerando únicamente la señal luminosa y otras empleando el osciloscopio y capturando las gráficas de respuesta para observar la diferencia.

Además para la realización de las pruebas se buscó un lugar que estuviera libre de ruidos o que los ruidos externos fueran de baja intensidad.

En las primeras pruebas únicamente se observaba si encendía el indicador luminoso, pero en las segundas se observó y capturó digitalmente las gráficas que se obtenían.



Foto 19. Observación de la respuesta a través del indicador luminoso



Foto 20. Respuesta observada en el osciloscopio

Las pruebas se realizaron a 19 personas entre niños y adultos, de las cuales sólo dos sujetos correspondían a las edades (6 a 18 meses) y no presentaban antecedentes de hipoacusia.

Entre los sujetos se encontraban 6 personas con deficiencia auditiva, 2 presentaban hipoacusia leve, 2 hipoacusia moderada, 1 anacusia en oído izquierdo e hipoacusia profunda en oído derecho y 1 hipoacusia severa en oído derecho e hipoacusia moderada en oído izquierdo.

Los sujetos a los cuales se realizó el estudio se enlistan a continuación.

		
Nombre: Alejandro Hernández S Edad: 17 años Talla: 1.60 m	Nombre: Arlet García Mercado Edad: 6 años	Nombre: Alitzel Suárez Edad: 9 años Talla: 1.40 m
		
Nombre: David Salazar Edad: 7 años	Nombre: Diego S. Negrete Edad: 9 años Talla: 1:30	Nombre: Carlos Salazar Edad: 10 años Talla: 1.45 m
		
Nombre: Maximiliano Negrete Edad: 7 años	Nombre: Iran Airy Sánchez H. Edad: 1 año 2 meses No hay antecedentes de Hipoacusia	Nombre: Gerardo Benavides Edad: 38 años Talla: 1.70 m
		
Nombre: Javier García Mercado Edad: 6 meses No hay antecedentes de Hipoacusia	Nombre: Guillermo Suárez M. Edad: 37 años Talla: 1.65 m	Nombre: Isaac Antonio Jarillo Edad: 13 años Talla: 1.52

		
Nombre: Oralia S. M. Edad: 31 años Talla: 1.49	Nombre: Natalia L. Fernández Edad: 4 años	Nombre: Marco Edad: 25 años Talla: 1.74 m
Nombre: Carlos Edad: 24 años Talla: 1.67 m	Nombre: Andrea B. Torres Edad: 28 años Talla: 1.61 m	Nombre: Mariano A. Ugalde Edad: 63 años Talla: 1.72 m
Nombre: Juan Edad: 22 años Talla: 1.67 m.		

4. 2 Análisis de los resultados del estudio

Como se menciona en párrafos anteriores, en las primeras pruebas que se realizaron, se tomó en cuenta únicamente la respuesta del indicador luminoso (led).

La función del led era detectar (si prendía) cuando hubiera una pérdida auditiva de moderada a profunda, sin embargo sólo se tuvo respuesta cuando la pérdida de la audición era severa.

Por tal motivo, se colocó un osciloscopio además del led y así se pudieron obtener dos tipos de respuesta que llevó a confirmar el diagnóstico.

Lo anterior permitió demostrar el funcionamiento de los circuitos y en general del instrumento propuesto.

Cabe mencionar que existen tres tipos de circuitos, los primeros emiten sonidos y los amplifican; otros captan la respuesta y la amplifican, el tercer circuito traduce la respuesta que en inicio es una onda a una señal luminosa.

En las pruebas se pudo observar que los dos primeros trabajan adecuadamente, aún cuando en el segundo la respuesta captada debería amplificarse todavía más, persiste el ruido que generan en los circuitos otras señales captadas por los electrodos.

En el tercer circuito, a juzgar por los resultados de las pruebas se detectaron unas pequeñas fallas, ya que sólo se obtuvo respuesta cuando la pérdida auditiva fue profunda. Lo anterior se pudo percibir cuando se colocó el osciloscopio al equipo diseñado y se observaron las gráficas.

Algunas de las mediciones obtenidas en el osciloscopio se muestran en las gráficas de la figura 30.

Para obtener dichas mediciones, se hizo una comparación de la curva de entrada, es decir del tono enviado, con respecto a la curva o señal generada por los electrodos.

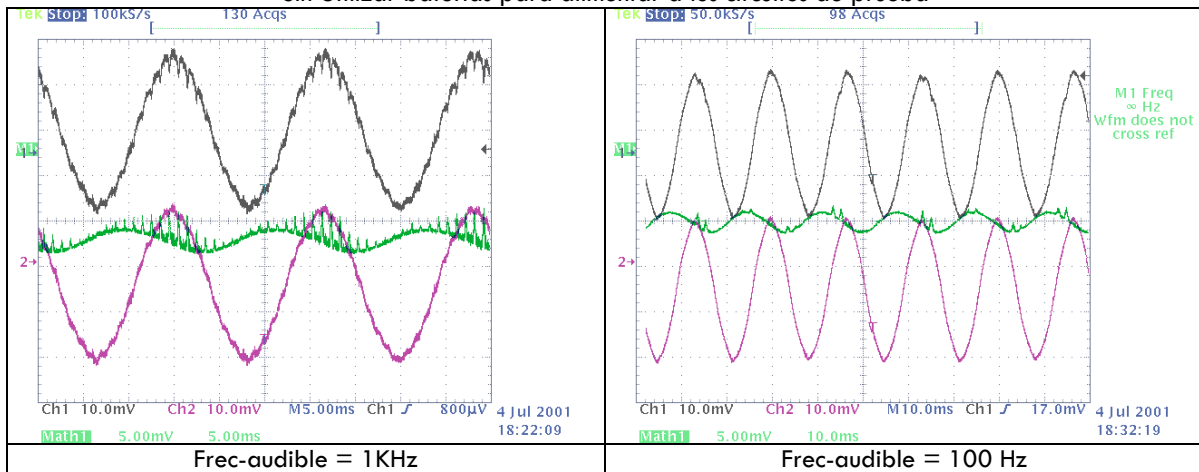
En las gráficas se puede apreciar básicamente 3 curvas que corresponden a: la curva de la parte superior a la señal de respuesta del mastoideo, la de abajo a la recibida del lóbulo de la oreja y la central a la señal generada por el sonido enviado.



Foto 21. Gráfica presentada por el osciloscopio

Ch1 = Mastoideo, Ch2 = Lóbulo de la oreja, Ch3 = Señal audible, Math1 = Ch1-ch2

Sin Utilizar baterías para alimentar a los circuitos de prueba



Utilizando baterías en los circuitos de prueba

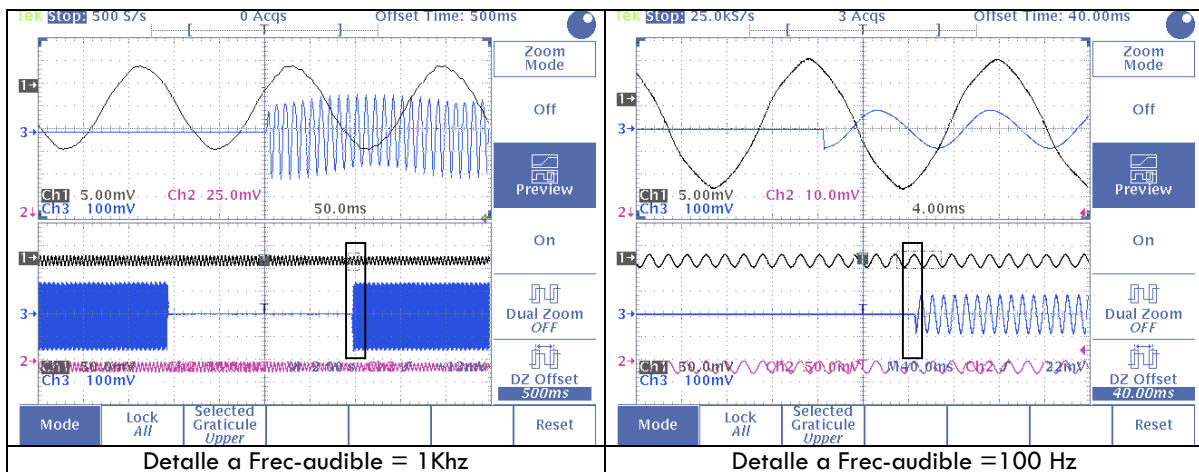
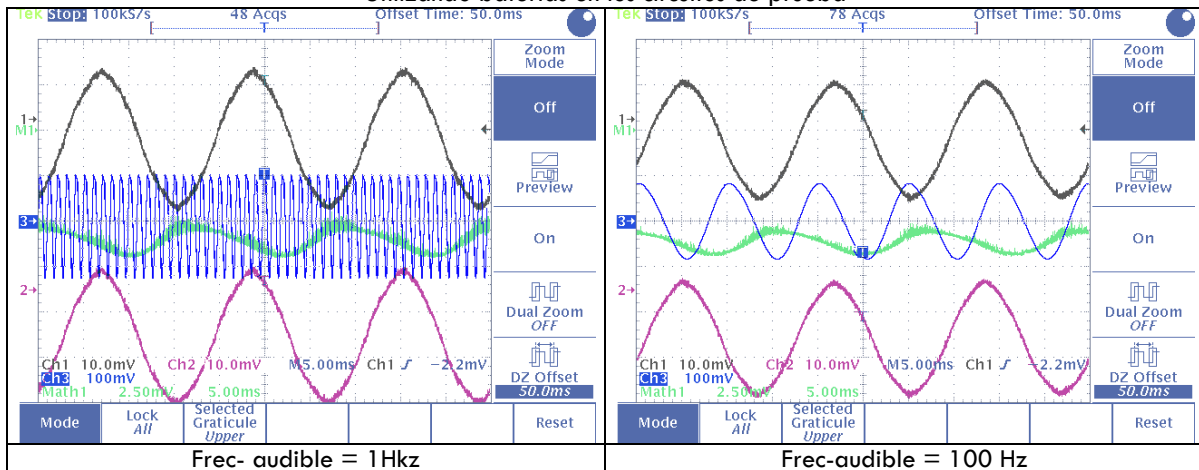


Fig. 31. Gráficas de mediciones obtenidas por el osciloscopio

CONCLUSIONES

Hay personas con hipoacusia que conservan muchos restos auditivos y los aprovechan extraordinariamente o bien, no los aprovechan en absoluto. Hay personas con escasos restos auditivos pero de los que pueden obtener un rendimiento asombroso con el uso de auxiliares auditivos, también encontramos personas con sordera profunda que tienen una capacidad de lectura labial magnífica y personas con pérdidas auditivas ligeras que apenas pueden manejarse con la lectura labial.

Lo anterior a dado pie para que muchas instituciones se planteen el reto de superar algunos de los factores que inciden en la problemática de la integración de niños y personas con discapacidad auditiva, como la generalizada pobreza, población dispersa, deficiencia de medios de comunicación diseños curriculares que no habilitan en los tramos intermedios para la vida del trabajo, la falta de maestros para sordos para atender a la población que demanda atención médica y educativa, entre otras.

Uno de los factores más importantes a superar, es la identificación temprana del problema y la atención que se le brinde a la persona. Otro elemento que evitaría o reduciría la desintegración de las personas con discapacidad auditiva a la sociedad sería el que sólo se utilizará un lenguaje de señas y no siete como se hace hoy día, y que la población en general supiera ese lenguaje. Aunque lo mejor sería que a todos los individuos

que tienen hipoacusia se les enseñara el lenguaje oral, así podrían integrarse y desarrollarse normalmente; aunque para ello se requiere identificar primero el problema.

Cuando se tiene una pérdida auditiva lo principal es la detección precoz, que no siempre es fácil de realizar. En principio hay que considerar que la vía nerviosa todavía no está totalmente madura. Por otra parte de haber un problema auditivo este puede ser en ambos oídos o en uno solo. También puede suceder que la pérdida sea mas o menos severa o que sólo se de en algunas frecuencias (graves, medios o agudos)

Es por ello que inicialmente al interior de la Universidad se conformó un grupo multidisciplinario de investigadores, el que estaba conformado por profesionistas del área de física, rehabilitación neurológica y diseño industrial, este grupo tenía el objetivo de analizar los métodos de detección de la pérdida auditiva y determinar cual era la mejor opción para generar un programa de detección a nivel nacional e identificar los casos de hipoacusia.

Posteriormente al ir avanzando el estudio cada uno de los investigadores tomo distintos caminos abordando de manera diferente la problemática de la población con discapacidad auditiva. Observando el problema desde el punto de vista del diseño se determinó que lo importante era desarrollar una propuesta de equipo o sistema de filtraje masivo, para lo cual se conformó un nuevo equipo de trabajo con investigadores del área de electrónica, con quienes se trabajo para realizar una propuesta, generar un modelo de ésta y realizar algunas pruebas para determinar su factibilidad.

Los resultados obtenidos en el estudio, muestran que es posible el filtraje para la identificación de un posible déficit auditivo, de hecho hay especialistas como la Dra. Silvia Jury (2002) que aseguran que a las 48 horas del nacimiento, se pueden realizar los primeros estudios de audición, los que servirían de tamiz. Estos varían en nivel de complejidad y dan la pauta para que el especialista determine la necesidad de una audiometría, de un estudio con emisiones otoacústicas o potenciales evocados.

Por ello la importancia de poder contar con un equipo que pueda ser utilizado como prueba de tamizaje, para seleccionar o filtrar oportunamente a los niños con una posible limitación auditiva y que se les canalice a un estudio en el que se defina el nivel y grado del problema y el tratamiento a seguir; además de que pueda estar al alcance del global de la población, puesto que los productos que hay en el mercado no son accesibles ni por el costo, ni por la especialización que se requiere en su utilización.

En la hipótesis se planteaba el diseño de un instrumento para filtrar a los niños menores de 18 meses con posible deficiencia de la audición; esto se logró, a pesar de que los resultados no han sido consistentes para poder realizar la detección adecuadamente.

Lo anterior puede deberse a algunos aspectos que no se pudieron abordar, tales como:

- ◆ Los electrodos para este tipo de pruebas auditivas, son de un tipo muy especial que no se pudo conseguir debido a que no existen en el mercado nacional, y la calidad de respuesta no fue la esperada.

Por ello se piensa que es necesario que este problema sea abordado por algún especialista que pueda elaborar unos sensores que permitan recibir adecuadamente la respuesta del niño ante el impulso auditivo.

Otro aspecto que también se abordaba en la hipótesis era que el instrumento sirviera como prueba de detección masiva, que requiera de una capacitación mínima para su uso y que fuera económico, ergonómico, confiable y de alta validez.

Este instrumento puede servir efectivamente como prueba de detección o filtraje masivo, es un equipo relativamente pequeño que se puede trasladar con facilidad, su peso no excede de los 5Kg y se puede reducir al sustituir las baterías, por lo que podría llevarse a las diferentes comunidades cuando se requiriera o emplearlo en campañas de filtraje auditivo. Por otra parte, se puede decir que es económico comparado con los productos que hay en el mercado que tienen un valor que va desde los 90,000 pesos hasta los 150,000.

En cuanto a la capacitación que se requiere para su uso es mínima y sencilla, puesto que no se requiere de la interpretación de gráficas como en los existentes, ya que esto lo hace directamente el equipo y el usuario sólo requiere variar la frecuencia e intensidad del sonido enviado, alternarla a cada oído y anotar en los formatos anexos si se enciende o no el indicador luminoso y con ello se tendrá la información suficiente para saber si el pequeño puede o no tener un problema auditivo y canalizarlo si así se requiere.

Sin embargo, por el momento se requiere solucionar algunos detalles para que pueda ser confiable.

El problema de ruido que se presentó pudo deberse a que el último de los circuitos no amplificó de manera suficiente la señal y llevó a una confusión con el ruido que se produce al recibir la señal de los electrodos. Esto podría solucionarse con el mejoramiento del amplificador de instrumentación.

En las pruebas realizadas la señal luminosa debió encenderse cuando la pérdida auditiva era de moderada a profunda; pero, se obtuvo respuesta sólo ante una pérdida profunda, probablemente mejorando el circuito de detección del umbral auditivo la respuesta sería la esperada.

En cuanto al diseño del gabinete se cubrió en su mayoría los requerimientos planteados, aún cuando sólo se construyó un modelo se pudo observar algunas cualidades y también deficiencias del producto. Antes que nada, lo ideal sería poder producirlo mediante el proceso de inyección, ya que su calidad sería mejor y no existiría el problema de que el material se adelgace demasiado o no cubra el fondo de las cavidades.

Los materiales propuestos son los adecuados para el producto, no son muy costosos y tienen las propiedades que se requieren en cuanto al proceso de transformación, resistencia y ligereza.

Refiriéndonos a los aspectos ergonómicos el producto es sencillo en su manipulación, su peso no es excesivo para que pueda trasladarse con facilidad y no cause fatiga al usuario.

Otro de los aspectos que deben tomarse en cuenta en el diseño de un producto es la imagen gráfica, ésta se abordó superficialmente. Se pensó que el maletín fuera el mismo empaque del producto y se consideraron 2 nombres “AudiTec” y “SIFA” (Sistema de Filtraje Auditivo) para denominarlo.

Uno de los aspectos más relevantes en el desarrollo de esta investigación, fue el trabajar con un grupo multidisciplinario de investigadores con formas de trabajo y lenguajes técnicos diferentes; buscar la manera de unificar algunos términos y conceptos de los que se tenía poco conocimiento, puesto que se tenía un objetivo común poder sacar a flote el desarrollo del proyecto a pesar de los obstáculos presentados.

Diseñar un equipo adecuado a las necesidades de la población con discapacidad auditiva, a un menor costo y simplificando la función, es una buena alternativa y si los puntos antes señalados pueden superarse, la hipótesis planteada al inicio de este trabajo llevará al éxito el proyecto de investigación.

RECOMENDACIONES

Se plantea continuar con la investigación ya que los resultados al nivel de experiencia en este campo han sido muy interesantes. Asimilar la tecnología haciendo una buena investigación no se hace de un día para otro, por lo que también se ha pensado aprovechar la oportunidad para la formación de alumnos.

Como ya se mencionó, este tipo de proyectos son de mucho interés por el impacto social y económico que pueden implicar. Se ha constatado que los equipos que realizan análisis de diagnóstico de pérdida auditiva son muy costosos y es tecnología electrónica compleja que en nuestro país no se domina con claridad.

Equipos similares a lo deseado, es decir, que sea portátil, ligero y de tamaño reducido, con alimentación independiente, son muy caros y oscila su precio alrededor de los \$200,000.00. En este contexto y dada las características de este tipo de equipos, no cabe duda que si se logra desarrollar la tecnología adecuada, se estaría dando un paso importante para la independencia tecnológica. Pero no sólo en el ámbito técnico, sino también a nivel de impacto social que beneficiaría a muchas personas de escasos recursos quienes presentan problemas auditivos y que requieren de tratamiento.

En este sentido, es importante continuar con este trabajo y aprovechar las experiencias que se han tenido durante esta fase de desarrollo. Para ello se propone lo siguiente:

1. Hacer una búsqueda bibliográfica completa que nos permita reconocer y asimilar la tecnología de punta que en este campo se está desarrollando.
2. Hacer un análisis de las posibilidades que se tienen de trascender en este campo dadas las tendencias de desarrollo tecnológico que se hayan vislumbrado.
3. Continuar la investigación multidisciplinaria con CENIDET, buscando financiamiento externo.
4. Proponer otros proyectos de investigación para CENIDET en donde se muestre que en este campo hay posibilidades de aportar algo interesante (COSNET, CoNaCyT).
5. Llevar a cabo el desarrollo de tecnología en este campo, que esté en la frontera del desarrollo tecnológico.
6. Plantear una campaña de sensibilización a nivel nacional para fomentar el examen o filtraje auditivo a temprana edad de todos los niños del país.