



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**

---

**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA  
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"**

**AUDIÓMETRO DE TONOS PUROS**

**TESIS PROFESIONAL**

**PARA OBTENER EL TITULO DE:**

**INGENIERO EN COMUNICACIONES Y ELECTRÓNICA**

**PRESENTAN:**

**OLVERA VERA DULCE GUADALUPE**

**QUEB PÉREZ MAURICIO RAFAEL**

**ASESORES:**

**ING. NEGRETE REDONDO JOSÉ DE JESÚS**

**M. en C. FRANCO MARTINEZ MARÍA TERESA**



**MÉXICO, D.F.**

**2015**

## Agradecimientos:

A mi madre, tío y abuela, que gracias a su apoyo logré llegar a esta meta.

Atte. Olvera Vera Dulce

A mi madre, mi tía, mi padre, mis tíos y mi abuela, gracias a ellos todo esto fue posible.

También quisiera agradecerle a Wikipedia, Google, el Internet en general y a toda la gente que sube su conocimiento.

A mis profesores, que me guiaron en este sinuoso camino.

A mis amigos, que me apoyaron a lograr mis metas.

Atte. Mauricio Rafael Queb Pérez

# Índice general

Resumen.....	1
Objetivos.....	2
Justificación.....	3

## **CAPITULO 1. MARCO TEORICO**

1.1 Generalidades de la audición.....	4
1.2 Percepción del sonido.....	4
1.3 Anatomía y fisiología del oído humano.....	6
1.3.1 Oído externo.....	7
1.3.2 Oído medio.....	8
1.3.3 Oído interno.....	9
1.4 Causas más comunes que provocan la pérdida auditiva.....	10

## **CAPITULO 2. CARACTERÍSTICAS DEL AUDIÓMETRO Y LAS AUDIOMETRÍAS.**

2.1 Definición de audiómetro y audiometría.....	12
2.2 Procedimiento básico para detectar el umbral de audición.....	13
2.3 El audiómetro.....	13
2.4 Características de la audiometría.....	14
2.5 Representación e interpretación del audiograma.....	15
2.6 Transductores utilizados en audiometrías vía aérea.....	16
2.7 Decibeles NPS vs Decibeles HL.....	17

<b>CAPITULO 3. DISEÑO Y DESARROLLO DEL AUDIOMÉTRO</b>	
3.1Diseño del diagrama de flujo sintetizado del funcionamiento del audiómetro.....	19
3.2 Desarrollo del programa.....	21
3.3 Funciones principales para el desarrollo del software.....	23
<b>CAPITULO 4. PRUEBAS Y RESULTADOS</b>	
4.1 Audiometrías profesionales.....	30
4.2 Interpretación de los audiogramas.....	31
4.3 Realización de audiometrías con el proyecto.....	31
4.4Comparació de resultados.....	32
4.5 Estudio económico.....	35
<b>Conclusiones.....</b>	<b>36</b>
<b>Bibliografía.....</b>	<b>37</b>
<b>A. ANEXO Código de línea.....</b>	<b>38</b>
A.1Código de pruebas básicas.....	38
<b>B. ANEXO Código principal con interfaz gráfica.....</b>	<b>40</b>
B.1 Código principal desarrollado con interfaz gráfica.....	40

# Índice de figuras

Figura 1. Curvas de igual sonoridad obtenidas por Fletcher y Munson.....	6
Figura 2. Anatomía y composición del oído humano.....	7
Figura 3. Estructura básica del oído externo.....	8
Figura 4. Partes principales del oído medio.....	9
Figura 5. Composición del oído interno.....	10
Figura 6. Audiograma de una audiometría vía aérea, en la cual se observa que el paciente presenta una pérdida moderada en el oído izquierdo debido a la exposición de ruido.....	16
Tabla 1. Especificaciones técnicas de auriculares intraaurales utilizados para la realización de audiometrías. ....	16
Figura 6. Diagrama a bloques de la implementación general.....	20
Figura 7. Algoritmo completo para el desarrollo del audiómetro.....	22
Figura 7.1 Parámetros principales del programa.....	23
Figura 8. Función sound dentro del programa en ejecución.....	24
Figura 9. Función $g(t)$ para $F_s=44100$ muestras por segundo que es estándar de CD-audio.....	<b>25</b>
Figura 10. Audiograma en unidades dB HL correspondiente a la curva de igual sonoridad de un paciente con perfecta audición oído izquierdo .....	26
Figura 11. Audiograma en unidades dB SPL correspondiente a la curva de igual sonoridad de un paciente con perfecta audición oído izquierdo.....	27
Figura 12. Pantalla principal del proyecto.....	28
Figura 13. Programa con resultados en pantalla con unidades dB HL.....	28
Figura 13.1 Función para subir y bajar los decibeles.....	29
Figura 14. Audiometría realizada con el proyecto a ambos oídos paciente de 81 años.....	32
Figura 15. Audiometría realizada por un técnico a ambos oídos paciente de 81 años.....	32
Figura 16. Audiometría realizada con el proyecto a ambos oídos paciente de 25 años.....	33
Figura 17. Audiometría realizada por un técnico a ambos oídos paciente de 25 años.....	33

Figura 18. Audiometría realizada con el proyecto a ambos oídos paciente de 22 años.....	34
Figura 19. Audiometría realizada por un técnico a ambos oídos paciente de 22 años.....	34

## RESUMEN

En el presente trabajo se realizó el diseño y desarrollo de un audiómetro digital, el cual permite monitorear y detectar el umbral de audición de las personas. Con este proyecto dirigido principalmente a la Academia de Acústica se pretende mejorar y facilitar la realización de prácticas.

Se desarrolló un algoritmo en el cual se indica que se generarán tonos puros en frecuencias desde 125 Hertz hasta 4000 Hertz. Para realizar dichas pruebas se variaron las amplitudes y las frecuencias de acuerdo a la respuesta de audibilidad del propio paciente. Este diseño permitió que las pruebas no requieran de personal y equipo especializado debido a su facilidad de uso.

Los resultados obtenidos del proyecto construido mediante este método, fueron satisfactorios debido a que las pruebas realizadas, al ser comparadas con audiometrías de nivel clínico, arrojaron resultados muy similares, lo cual nos indica que el proyecto es confiable y viable para el aprendizaje y desarrollo de prácticas de los alumnos de la Academia de Acústica. Cabe mencionar que las variaciones que se pudieran presentar en dichas pruebas se deben a las condiciones de operación del usuario.

## *OBJETIVOS*

### **OBJETIVO GENERAL**

Diseñar y construir un audiómetro digital que permita realizar pruebas audiométricas vía aérea de manera fácil y eficiente.

### **OBJETIVO PARTICULAR**

Diseñar un sistema que genere tonos puros y permita la variación de la frecuencia y la amplitud de las señales emitidas.

## **JUSTIFICACIÓN**

La realización de prácticas en la especialidad de acústica, resulta un tanto complicada para los alumnos debido a que no existe suficiente equipo. Los alumnos de la especialidad requieren de las prácticas para poder entender mejor los conceptos vistos en clases y tener una formación profesional de mayor calidad.

Para determinar un problema auditivo es necesario realizar un examen de audiometría, el cual se lleva a cabo con equipo y personal especializado, así mismo la importancia del monitoreo de los niveles de audición son muy deficientes, debido a estos factores este tipo de pruebas resultan muy costosas.

A pesar de existir diferentes tipos de audiómetros no se adquieren principalmente por los precios elevados de cada equipo, tamaño, difícil manejo, necesidad de especialistas y hasta dificultades para llevar a cabo dichas pruebas.

El propósito fundamental del presente trabajo es el de diseñar e implementar un audiómetro digital, aprovechando las herramientas existentes en el campo de la computación, que le permita al usuario realizar pruebas de manera confiable y eficiente, para detectar y monitorear problemas auditivos, así como reducir los costos de las pruebas.

Su modo de uso ha sido diseñado para que el usuario no presente complicaciones mientras se realiza la prueba audiométrica y así mismo se pueda reducir el tiempo de la misma.

Este proyecto fue desarrollado con la finalidad de que los alumnos de la Academia de Acústica puedan ampliar las posibilidades de investigación y desarrollo en el ámbito de la pérdida auditiva.

# Capítulo 1

## MARCO TEÓRICO

### 1.1 Generalidades de la audición

La audición como un sistema sensitivo permite la percepción de la información que proporciona el medio, adjuntando características tales como tono, intensidad y timbre, las cuales ayudan a la persona a adaptarse a su entorno.

Estas corresponden a tres características físicas: la frecuencia, amplitud y composición armónica o forma de onda. El espectro de frecuencias audibles para el oído humano se encuentra entre los 20 Hertz y 20.000 Hertz.

Llamamos umbral de audición al nivel de intensidad mínimo de sonido que es capaz de escuchar el oído humano. Su valor es referenciado en los 0 dB (NPS) o 20 micro pascales a 1KHz. El umbral de dolor es el nivel intensidad en la cual un sonido produce en el oído una sensación de dolor, su valor medio se sitúa entre los 100-120 dB (NPS) o 20 pascales.

La sensación sonora de intensidad se agudiza para sonidos débiles, y disminuye para sonidos más fuertes, lo que significa que la audición humana no es lineal, sino logarítmica. La sensación auditiva puede ser temporal o permanente.

### 1.2 Percepción del sonido

El mecanismo de la audición humana es un transductor electromecanoacústico muy sensible, el cual responde a ondas sonoras de una gran diversidad de frecuencias, intensidades y formas de onda. Este transforma las fluctuaciones de presión acústica en impulsos nervios.

Se ha determinado que la sensación auditiva depende de muchos factores y no es posible relacionarla con el cero de intensidad física, por ello se parte de un cero relativo establecido para medir la audición.

De las curvas de igual sonoridad, donde se establece el cero audible se deducen las curvas isofónicas, partiendo de varias unidades como el fon y el son.

El fon es una unidad de medida psicofisiológica logarítmica y adimensional que se usa para indicar la sonoridad con la que se percibe un determinado sonido, el fon está referenciado a un sonido senoidal de 1KHz con un nivel de presión sonora de 0dB NPS. A diferencia del fon, el son es capaz de establecer una relación real de sonoridad de sonidos diferentes y se define como la sonoridad de un sonido senoidal de 1KHz con un nivel de presión sonora de 40 dB<sub>NPSL</sub> (Schiffman, 2001).

La unidad de altura tonal del oído a diferentes frecuencias fueron determinadas de manera experimental por Fletcher y Munson (Sebastián, 1999).

Las curvas isofónicas de igual sonoridad calculan la relación entre la frecuencia y en nivel de presión sonora (unidades decibeles) de dos sonidos.

En estas curvas se observa como el oído humano es más sensible a las frecuencias medias y media-altas que a las graves. Además, también se puede observar cómo a medida que aumenta el nivel de presión sonora, las curvas se van haciendo más planas, esto debido a que el tímpano se tensa para poder protegerse de los altos volúmenes de intensidad.

Las gráficas están calibradas de manera que en 1KHz coincidan los dB NPS (unidades objetivas) y los dB subjetivos o más conocidos como fons.

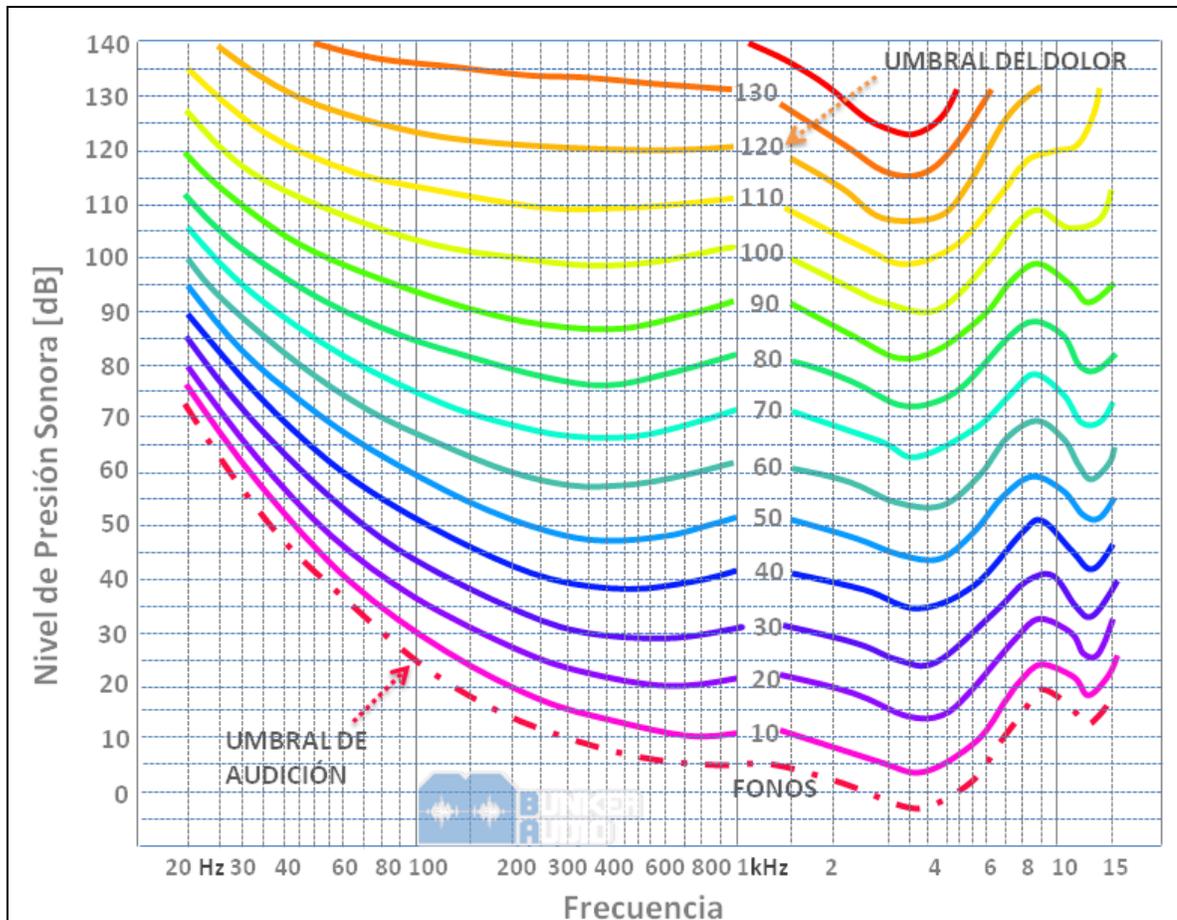


Figura 1. Curvas de igual sonoridad obtenidas por Fletcher y Munson.

### 1.3 Anatomía y fisiología del oído humano

El oído es el órgano responsable de la audición y el equilibrio, está dividido en tres partes: oído externo, oído medio y oído interno. El proceso de la audición comienza cuando las ondas sonoras penetran por el conducto del oído externo.

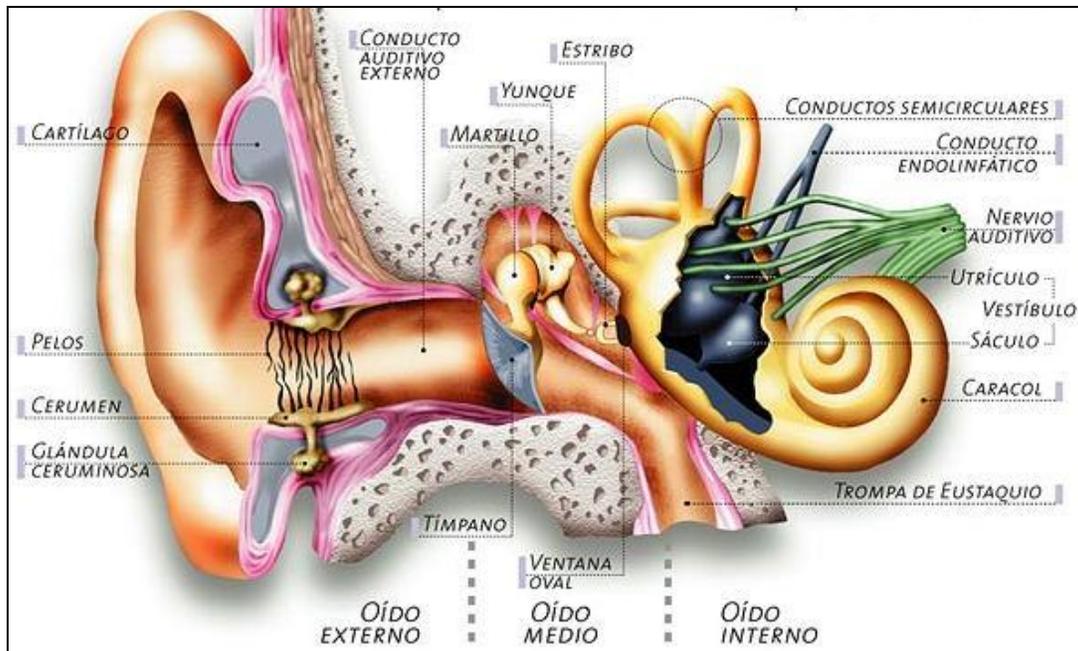


Figura 2. Anatomía y composición del oído humano.

### 1.3.1 Oído externo

El oído externo puede ser definido como un aparato de transmisión. Es la parte del aparato auditivo que se encuentra en posición lateral al tímpano. Está conformado por la oreja o pabellón auricular y el conducto auditivo.

El pabellón del oído recibe, concentra los sonidos y amplifica la señal, dirigiendo las ondas sonoras al conducto auditivo.

El conducto auditivo tiene una frecuencia de resonancia que se encuentra alrededor de los 3 kHz, el cual hace que se duplique el nivel de presión sonora (NPS) de las vibraciones que llegan al conducto.

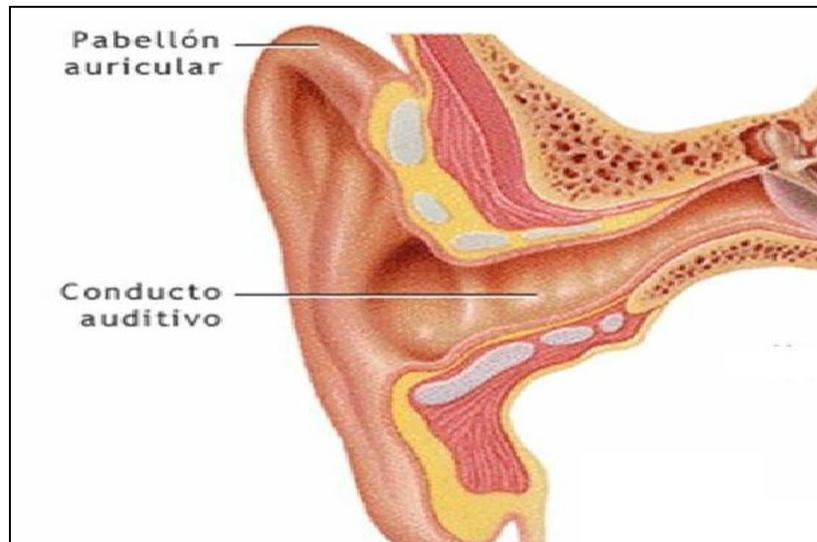


Figura 3. Estructura básica del oído externo.

### 1.3.2 Oído medio

El oído medio está en comunicación directa con la nariz y garganta, a través de la trompa de Eustaquio, que permite la entrada y salida de aire del oído medio para equilibrar las diferencias de presión entre este y el exterior.

En el oído medio existe una cadena de tres huesecillos u osículos, denominados martillo, yunque y estribo, que se encuentran unidos entre sí asegurando una conexión entre el tímpano y la ventana oval, permitiendo la transmisión de las vibraciones del tímpano hacia el oído interno.

El martillo que está sujeto al tímpano, recoge las vibraciones sonoras, que luego son llevadas al oído interno por el yunque y el estribo. De ese modo las ondas sonoras llegan en forma de energía mecánica amplificada (Fred Warshofsky, 1977).

La fuerza mecánica amplificada que se transmite del oído medio al interno a través de los osículos se transforma en presión hidráulica que trasmite movimiento al conducto coclear y al órgano de Corti.



Figura 4. Partes principales del oído medio.

### 1.3.3 Oído interno

El oído interno representa el final del procesamiento mecánico del sonido, y en él se llevan a cabo tres funciones principales las cuales son: el filtraje de la señal sonora, transducción y la generación de los impulsos nerviosos.

Dentro del oído interno, que se encuentra lleno de líquido, la fuerza que el estribo hace sobre la ventana oval del caracol se convierte en ondas de presión hidráulicas, las cuales recorren rápidamente los conductos vestibular y timpánico, así como el coclear. Al pasar sobre la membrana basilar se crean ondulaciones que estimulan al órgano de Corti (Fred Warshofsky, 1977).

El oído interno es el convertidor del estímulo físico al neurosensorial, formado por el órgano de Corti con las células ciliadas uniformemente distribuidas a lo largo de la membrana basilar.

La selectividad tonal se debe a que estas células actúan dependiendo de la posición de la zona de excitación de la membrana basilar.

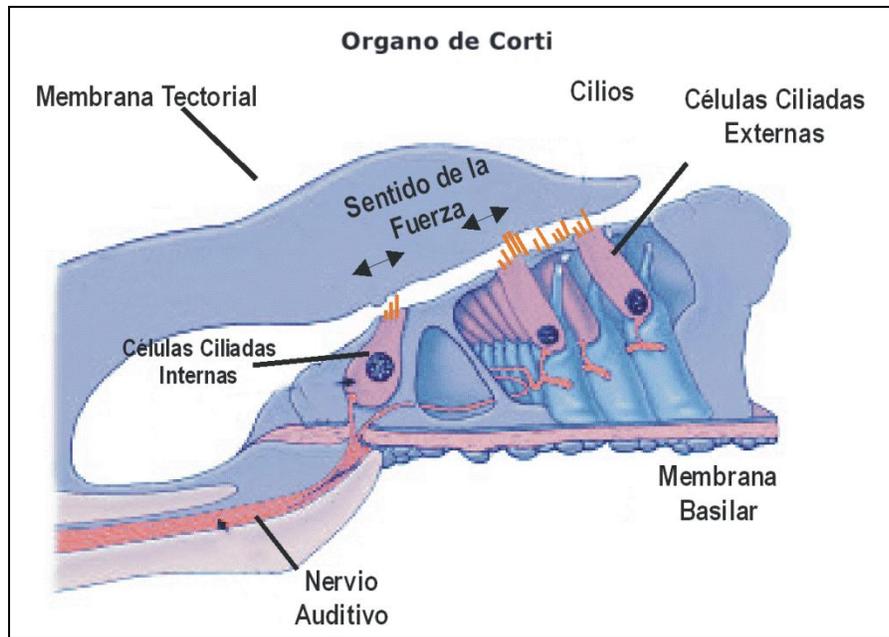


Figura 5. Composición del oído interno.

## 1.4 Causas más comunes que provocan la pérdida auditiva

La audiometría puede detectar la hipoacusia a una edad temprana y también se puede utilizar cuando se presente una dificultad para oír por cualquier otra causa (Norton, 2010).

La pérdida auditiva puede deberse al daño de cualquiera de las siguientes partes:

**CAUSAS EN EL OÍDO EXTERNO**, normalmente se deben a acumulaciones excesivas de cerumen e infecciones del canal auditivo.

**CAUSAS EN EL OÍDO MEDIO**, los problemas más comunes se deben a la inflamación, la existencia de fluido detrás del tímpano, las perforaciones del tímpano y la otosclerosis (entumecimiento en los huesos del oído medio).

CAUSAS EN EL OÍDO INTERNO, la mayoría de los problemas de audición tienen que ver en esta parte del oído. La causa más habitual es el envejecimiento natural, el exponerse a ruidos intensos, tomar algún tipo de medicamentos o sufrir fracturas en la cabeza, también pueden afectar negativamente a la capacidad auditiva de las personas.

Estas influencias dañan las finas células ciliadas y afectan a la transmisión de señales a los nervios auditivos. La pérdida auditiva provocada por algún daño en el oído externo o medio se denomina pérdida auditiva conductiva. Cuando los daños se ubican en el oído interno, se denomina pérdida auditiva neurosensorial, si se producen ambos tipos de denomina pérdida auditiva mixta.

# Capítulo 2

## CARACTERÍSTICAS DEL AUDIÓMETRO Y LAS AUDIOMETRÍAS.

### 2.1 Definición de audiómetro y audiometría.

Un audiómetro es un instrumento que permite realizar pruebas que conllevan a la obtención del umbral de audición, utilizando los procedimientos definidos y la normativa vigente, basándose en el uso de transductores electroacústicos normalizados (Beranek,1988).

La audiometría es la medición de la agudeza auditiva en relación con las diferentes frecuencias de sonido. Para llevarla a cabo se utiliza un aparato de alta tecnología que consiste básicamente en un generador de distintas frecuencias a diferentes niveles de presión sonora. Este instrumento emite tonos puros de intensidad variable, sonidos que el ser humano no está acostumbrado a escuchar, ya que no existen como tal en el entorno natural.

La audiometría tonal permite definir el tipo de hipoacusia que presenta el paciente, así como cuantificar las pérdidas auditivas para las distintas frecuencias exploradas, sin embargo no es una técnica de prevención ya que los daños en muchas ocasiones son irreversibles. También permite detectar los daños ocasionados por la exposición al ruido.

Al finalizar la audiometría los resultados se plasman en un gráfico denominado audiograma, el cual ayudará a obtener una mejor interpretación de este examen.

## 2.2 Procedimiento básico para detectar el umbral de audición

En 1959 Carhart y Jerger investigaron distintos métodos para obtener el umbral de audición, ellos recomendaron el método ascendente–descendente como el más adecuado.

Este procedimiento de obtención del umbral de audición, descrito y aplicado por Kaplan y Mercher, consiste en aplicar en los transductores, un tono de un nivel de presión sonora que el paciente pueda oír claramente a una frecuencia determinada (donde el paciente oprime un botón o levanta la mano) e ir disminuyendo de 10 dB en 10 dB su nivel hasta que el paciente deje de oírlo, momento en el cual se debe aumentar de 5 dB en 5 dB hasta que el paciente detecte el nivel del tono nuevo, al realizar la prueba en repetidas ocasiones, se obtiene un promedio de los datos. (Kaplan,1998).

Esta técnica permite obtener el umbral de audición como aquel nivel mínimo que el paciente detecta en un 50 por ciento de las veces.

## 2.3 El audiómetro

Este aparato de alta tecnología consiste básicamente en:

- a. Un generador de distintas frecuencias de sonido; este instrumento emite tonos puros. Las frecuencias más estudiadas van desde: 125 - 250 - 500 - 1000 - 2000 - 3000 - 4000 ciclos / segundo o Hertz.
- b. Un generador de ruidos enmascarantes.
- c. Un micrófono para comunicarse con el paciente y realizar la discriminación de la palabra.

La audiometría electrónica permite estudiar:

1. El umbral auditivo, es decir, la intensidad mínima audible para cada frecuencia estudiada (rango de frecuencias desde 125-4000Hz), técnica que se conoce con el nombre de audiometría tonal umbral.
2. Ciertos fenómenos fisiopatológicos que se producen en las hipoacusias sensorineurales (pruebas supraliminales).

3. La comprensión de la palabra, es decir, la capacidad que tiene el oído y la vía auditiva de discriminar un término de otro.

Los audiómetros están clasificados en tres grandes grupos:

- Audiómetros de tonos puros. Son equipos que generan como estímulos, señales sinusoidales de frecuencia fija que se conforman con una banda de octava, que empieza en 125 Hertz hasta llegar a 4kHertz, también maneja baja distorsión, en los que los niveles de amplitud se pueden controlar. estos equipos se suelen manejar manualmente, aunque habitualmente disponen de modos automáticos de funcionamiento.
- Audiómetros de tonos puros de alta frecuencia. Son idénticos a los anteriores pero con un rango de frecuencia hasta 16 KHz.
- Audiómetros de Bekesy o de registro automático. En estos audiómetros la frecuencia y el nivel de la señal cambian de forma semiautomática según lo indica el paciente.

La mayoría de los audiómetros traen ciertos ruidos enmascarantes, tales como el ruido blanco, banda estrecha, sierra, etc. El uso de ruidos enmascarantes para audiómetros que tengan esta opción se usa aplicando un sonido enmascarante de 15 dB por encima del tono de exploración para cada frecuencia, un sonido de intensidad suficiente para anular la lateralización ósea hacia la cóclea sana.

## 2.4 Características de la audiometría

La Audiometría es un examen que tiene por objeto cifrar las alteraciones de la audición en relación con los estímulos acústicos, resultados que se muestran en un audiograma.

Los procedimientos específicos pueden variar, pero generalmente implican el estudio de un oído a la vez con el fin de evaluar la capacidad de escuchar susurros, palabras habladas o el sonido de tictac de un reloj. Luego de estudiarse la vía aérea, se debe examinar la vía ósea si es que se obtiene una hipoacusia en la vía aérea, de lo contrario no es necesario.

La audiometría proporciona una medición más precisa de la audición. Para evaluar la conducción aérea, se colocan unos audífonos que van conectados al audiómetro.

Los tonos puros de intensidad controlada son transmitidos generalmente a un oído a la vez. Se solicita levantar la mano, presionar un botón o indicar de otro modo cuando se escuche un sonido (Kileny,2010).

No se necesita preparación especial para este examen. Este examen no ocasiona ningún tipo de molestia y su duración varía. La evaluación inicial puede tomar de 5 a 10 minutos, mientras que una audiometría detallada puede tomar casi una hora.

## **2.5 Representación e interpretación del audiograma**

En el audiograma se representan en las abscisas las frecuencias de 125 a 4000 Hz por intervalos en bandas de octavas; en las ordenadas, en sentido descendente están ubicadas las pérdidas en decibeles de nivel de audición (dB HL decibeles de nivel de audición) en relación al eje 0, el que representa el umbral normal para las vías óseas y aéreas.

Cada señal está representada por un pequeño círculo para el oído derecho y por una pequeña cruz para el izquierdo. Así pueden inscribirse ambos oídos en el mismo gráfico, el derecho en color rojo y el izquierdo en color azul.

Umbrales entre -10 y +20 dB HL se consideran en el rango normal, mientras que los umbrales que se encuentran por encima de los +20 dB HL se consideran en un diagnóstico de leve, moderado, severa o profunda, como se muestra en la figura 6.

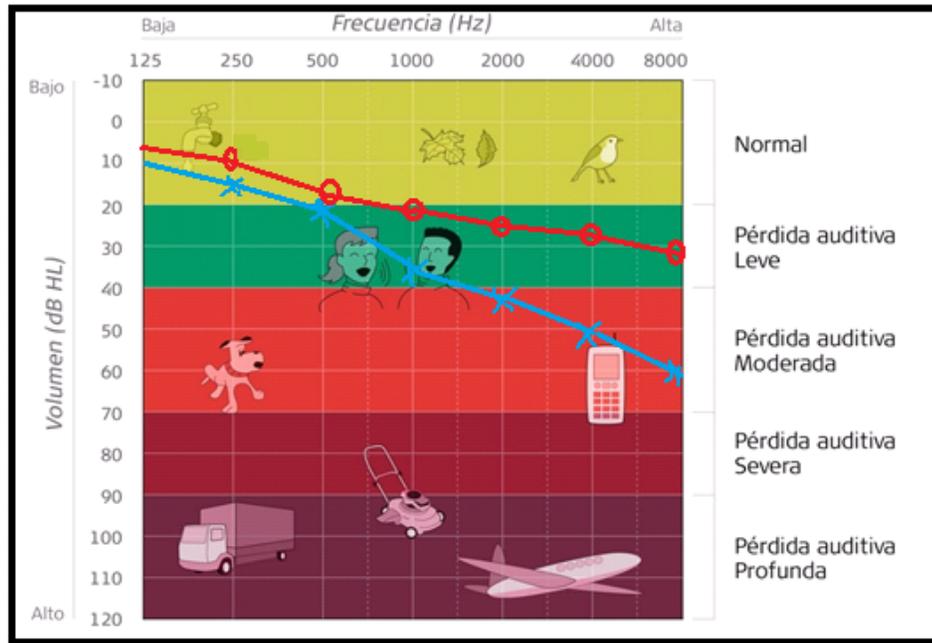


Figura 6. Audiograma de una audiometría vía aérea, en la cual se observa que el paciente presenta una pérdida moderada en el oído izquierdo debido a la exposición de ruido.

## 2.6 Transductores utilizados en audiometrías vía aérea

En la realización de las audiometrías vía aérea, se pueden utilizar los siguientes transductores:

- Auriculares supraaurales: Son los transductores más utilizados que permiten realizar audiometrías hasta 8 KHz. Este tipo de altavoces cubren la mayor parte del pabellón auditivo, su sensibilidad en bajos y agudos es más profunda y tienen un material aislante de ruido externo.
- Usando los auriculares intraurales se puede disfrutar de un sonido claro y detallado, gracias a su sistema de altavoces dinámicos de alto rendimiento, cuentan con varios juegos de adaptadores de oído (S / M / L tamaños) permitiendo un ajuste más personalizado para la realización de la prueba, así como una excelente atenuación pasiva del ruido ambiente. Para seleccionar los auriculares que se deben utilizar en las audiometrías, se deben de tomar en cuenta las siguientes características.(Ver tabla 1)

Tabla 1. Especificaciones técnicas de auriculares intraurales utilizados para la realización de audiometrías.

Tipo de audífono	Intraural
Color	Opcional
Impedancia	16 Omhs
Respuesta en frecuencia	19-20500 Hz
Nivel de presión sonora (NPS)	120 dB (NPS)
Entrada	3.5 mm ángulo
Principio del transductor	Dinámico
Peso	12 gr

## 2.7 Decibeles NPS vs Decibeles HL

La intensidad es la cantidad de energía que atraviesa una superficie y sus unidades son  $w/m^2$ . El nivel de intensidad se mide en decibeles (dB NPS nivel de presión sonora). La pérdida auditiva se suele medir en dB HL (decibeles de nivel de audición). Una persona cuyos umbrales de audición tengan un valor mayor a 20 dB HL del valor medio tiene una pérdida auditiva.

En el dB NPS (nivel de presión sonora), la presión sonora de referencia en la fórmula logarítmica es de 20 micropascales. Si se necesitarán usar los dB NPS para representar la audición de un paciente con sordera, se tendría una línea curva distinta, pero sería difícil de entenderla. Se puede decir que todos los puntos de esa curva son el valor 0 dB NPS, valor donde empieza a oír el humano y por tanto son valores de referencia para la escala de medición de la capacidad auditiva. A partir de esta gráfica se puede construir otra donde las líneas que antes eran curvas se hagan completamente planas para todas las frecuencias y la escala de medición será ahora la denominada en decibeles de nivel de audición (dB HL) siendo el valor de esta línea el 0 dB HL.

Con los dB HL se obtiene una gráfica que sirve para medir directamente la pérdida auditiva de una persona, lo cual es mucho más práctico que si se midiera en parámetros físicos de pérdida absoluta.

Cabe mencionar que el 0 dB HL no significa que no exista presión acústica, ya que el valor de 0 dB HL se ha obtenido estadísticamente y con diferentes presiones sonoras para las distintas frecuencias. Se pueden dar valores desde -5 ó -10 dB HL, que indica que hay personas que empiezan a oír desde niveles inferiores de presión sonora a los de la media estadística. La siguiente tabla muestra la relación entre dB NPS y dB HL para las frecuencias estudiadas en las audiometrías.

Tabla 2. Equivalencia entre dB NPS y dB HL.

Frecuencia	dB NPS	dB HL
125 Hz	47.5	0
250 Hz	26.5	0
500 Hz	13.5	0
1000 Hz	7.5	0
2000 Hz	11	0
4000 Hz	10.5	0
8000 Hz	13	0

# Capítulo 3

## DISEÑO Y DESARROLLO DEL AUDIOMÉTRO

### 3.1 Diseño del diagrama de flujo sintetizado del funcionamiento del audiómetro.

El funcionamiento del audiómetro se basa principalmente en generar ondas senoidales de frecuencia y amplitud variable. La frecuencia variará con base a los audiómetros clínicos utilizados en las pruebas, los cuales indican que las pruebas se realizan en cada banda de octava definida en las frecuencias de 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 y hasta 16000 Hertz.

La amplitud aumentará o disminuirá de acuerdo a la respuesta del paciente, definiendo el umbral mínimo de audición del individuo.

La finalidad de desarrollar un diagrama de flujo del sistema, es comprender de manera más sencilla el funcionamiento básico de un audiómetro, ya que el diagrama permite sintetizar los procesos a seguir.

La metodología a seguir para definir el umbral antes mencionado se sintetizó y se muestra en el siguiente diagrama de flujo (ver figura 6), el cual es una generalización del proceso que se mostrará más adelante.

La asignación de variables dentro del programa es muy importante debido, a que a cada variable se le va asignar un dato, que posteriormente se mandará a llamar dentro de una función o bien se utilizará como una referencia con valores específicos para realizar operaciones o conversiones necesarias, dentro del programa.

**Explicación del diagrama.**

Al comienzo del algoritmo se asigna una variable que por el momento es  $x$ , que va a ser la que guarde los datos que se vayan detectando para obtener el umbral de audición del usuario, el programa también va a tener variables que van a guardar el valor de las frecuencias asignadas que irán generando los tonos puros.

La generación de los tonos puros del programa van cambiando de nivel de intensidad conforme al umbral de audición del usuario, para posteriormente guardar estos datos que se usarán para la representación del audiograma de forma gráfica, de forma automática el programa entra a los ciclos de decisión, dentro de los cuales se realizan dos preguntas en repetidas ocasiones, para ir obteniendo datos que vayan indicando los niveles de audición del usuario, al concluir estos ciclos la variable asignada (este caso  $x$ ) va a guardar el umbral mínimo de audición del usuario. Ver anexo A.

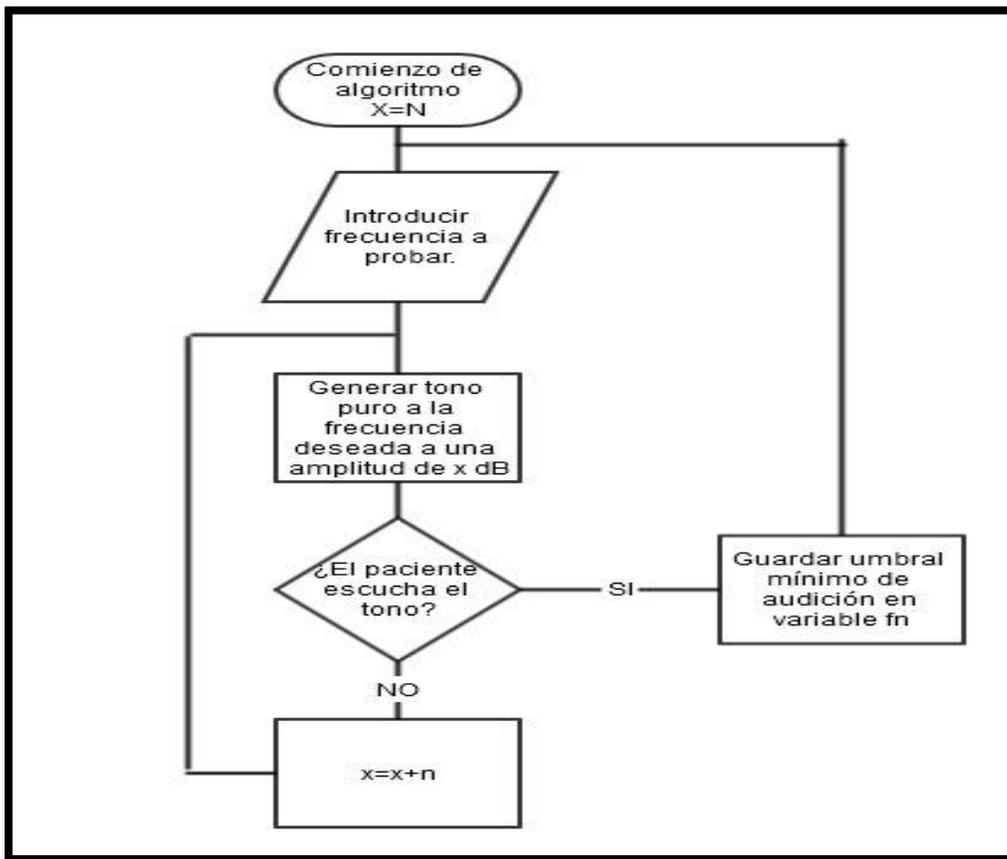


Figura 6. Diagrama a bloques de la implementación general.

## 3.2 Desarrollo del programa.

En la práctica, se realizan varias mediciones en cada banda de octava para asegurar que el umbral de audición mínimo sea correcto, para definirlo el paciente tendrá que indicar la falta de respuesta al estímulo auditivo.

El oído se ve afectado por una gran variedad de factores, dependiendo de estos factores la pérdida auditiva se agudiza en ciertas frecuencias, debido a este fenómeno las mediciones se realizan en diferentes bandas de octava ya que la pérdida no es equitativa en todas las frecuencias. Bajo condiciones normales la pérdida auditiva se agudiza en las frecuencias altas.

Existen diferentes algoritmos para realizar estas pruebas, sin embargo se concluye que el método más eficiente es el ascendente–descendente, el cual fue descrito en el capítulo 2, con base a este método se desarrolló el diagrama de flujo que está descrito a continuación.

### *Explicación del programa.*

Al comienzo del programa se genera una función que reproduce un tono inicial de 40 dB NPS, este nivel se eligió como referencia porque es el valor intermedio -10 dB HL y 90 dB HL que es el rango común de pérdida auditiva, Para obtener este valor se utiliza el sonómetro, el cual nos permite detectar este nivel de referencia, y así dar inicio a las pruebas de una forma correcta.

Después de ese punto empiezan los ciclos de toma de decisión dentro del programa, en el cual se empezará a detectar el umbral de audición del usuario, si el usuario detecta el primer tono el programa va a decrementar 15 dB NPS y si no lo detecta va a incrementar 20 dB NPS, esto es para el primer ciclo nada más haciendo referencia al método ascendente–descendente.

Posteriormente en el segundo ciclo de decisión, el programa va a decrementar 10 dB NPS, esta instrucción se ejecutará cuando el tono de prueba que se esté ejecutando en ese momento no sea escuchado por el usuario, y si el usuario si detecta el tono, el programa solo incrementará 5 dB NPS, este proceso se realiza en repetidas ocasiones para obtener un dato más exacto del umbral de audición del usuario.

El principio de funcionamiento del programa se basa básicamente en ciclos de decisión de incremento y decremento del nivel de presión sonora medido en decibelios NPS, mediante los cuales se van a obtener datos que darán como resultado una representación gráfica.

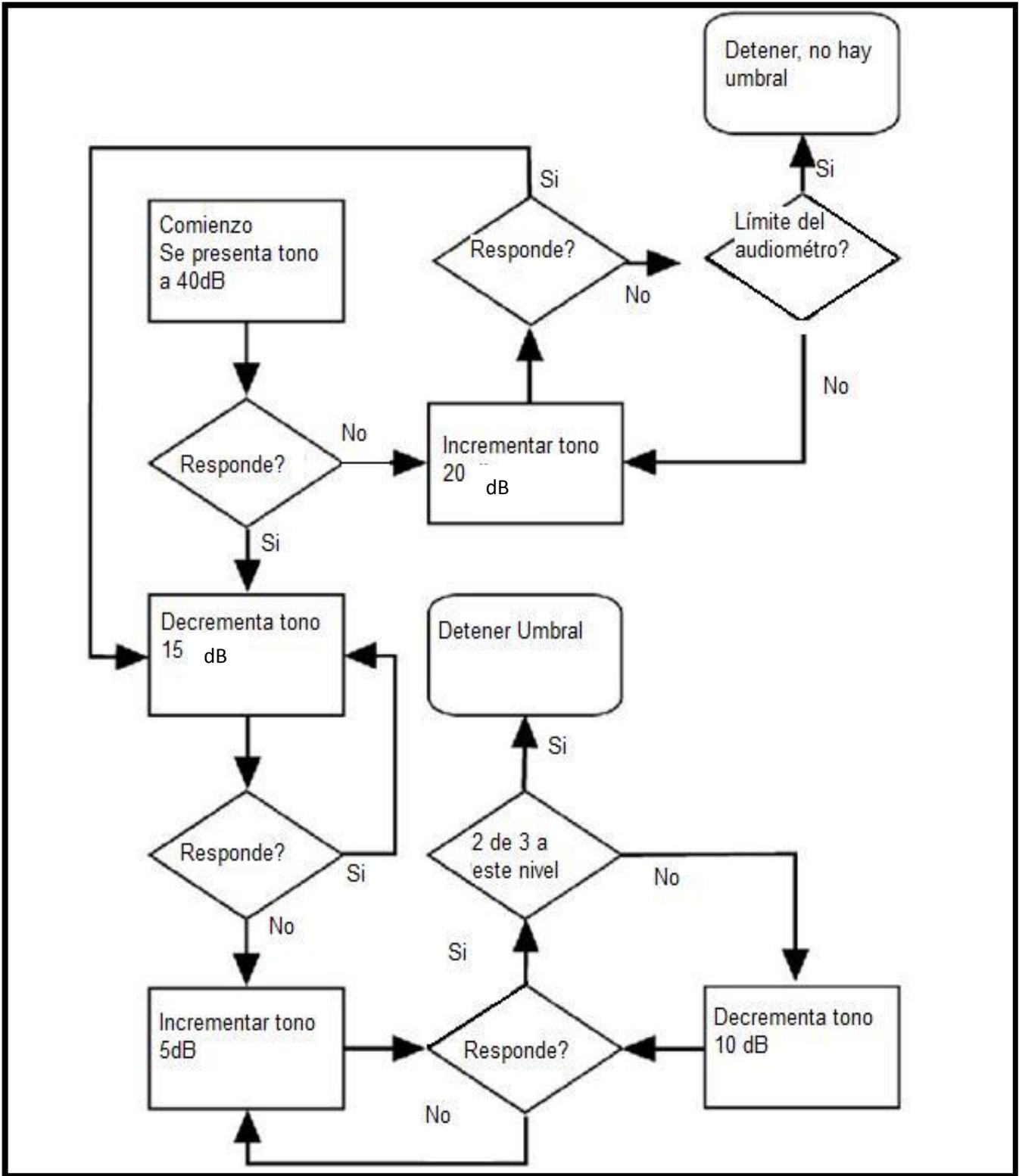


Figura 7. Diagrama de flujo completo para el desarrollo del audiómetro.

### 3.3 Funciones principales para el desarrollo del software

El proyecto se desarrolló por medio de la herramienta de Matlab, un programa que permite ejecutar las funciones de un audiómetro tonal, reproduciendo tonos puros de 125, 250, 500, 1k, 2k y 4kHz, el objetivo del audiómetro es la medición objetiva de la pérdida auditiva debido a diversos factores, como puede ser la edad, enfermedades, exposición prolongada a altos niveles de ruido, etc.

Esta medición se logra generando diferentes bandas de octavas de tonos puros, es decir tonos cuya función responde a la ecuación  $X=A \sin(\omega t)$ , donde A es el parámetro de la amplitud y va variando dependiendo de la reacción o ausencia de audición del paciente, con base a esto se aumenta o se disminuye la amplitud de la señal en 20 dB en la primera iteración, posteriormente se va disminuyendo esta variación para acercarnos progresivamente al umbral de pérdida de audición; la variable  $\omega$  representa la frecuencia, la cual se irá modificando en intervalos de bandas de octavas, comenzando en la frecuencia de 125 Hz, como se mencionó anteriormente.

```

freq=125;

D = 4.0;

Fs = 44100;

numdemuestras = Fs * D;

muestreo = (1:numdemuestras) / Fs;

s = sin(2 * pi * freq * muestreo)

```

Figura 7.1 Parámetros principales del programa.

El fragmento de código mostrado en la figura 7.1, es una de las partes fundamentales del programa, en las primeras dos líneas se definen la frecuencia y la amplitud, posteriormente se genera un muestreo discreto a una frecuencia de 44100, este número se eligió con base al teorema de Nyquist, después se genera una matriz bidimensional de datos que representa una función senoidal y se guarda en la variable "s". Con la matriz guardada en esta variable se manda a la función mostrada a continuación.: sound(A\*s, Fs);

La función “sound” tiene dos parámetros, el primero es la matriz del sonido a reproducir y la segunda es la frecuencia de muestreo.

La matriz “s” generada anteriormente se multiplica por el parámetro A que define la amplitud variándola con base a la respuesta al estímulo del paciente.

Esta función ayuda a enviar la señal de audio y a muestrearla con la frecuencia de muestreo Fs.

```

Fs = 44100; %frecuencia de muestreo
numdemuestras = Fs * D;
muestreo = (1:numdemuestras) / Fs;
s = sin(2 * pi * freq * muestreo);
A=0.01;
h = waitbar(0, 'Reproduciendo tono puro'); %barra espera
steps = D*1000;
sound(A*s, Fs);

```

Figura 8. Función sound dentro del programa en ejecución.

Donde el primer parámetro son los datos de la señal que se va a reproducir, esta señal es representada en el lenguaje de programación utilizando una matriz de 2x2, esta matriz se construye utilizando una función senoidal incluida en el lenguaje de programación. La función senoidal es representada por la instrucción **sin(x)**, donde x es el argumento de la función seno.

El argumento que se utilizó en esta función, se construyó partiendo de un número definido de muestras, mediante la multiplicación de 44100 Hz por la duración, y la duración es elegida por el usuario.

Posteriormente se multiplica por  $2 \pi f$ , donde (**f**) es la frecuencia elegida por el usuario, y que será la frecuencia a evaluar para detectar el umbral de audición.

El segundo parámetro es la frecuencia de muestreo (FS), la frecuencia de muestreo que se utilizó en el proyecto fue de 44.1 KHz, debido a que es la frecuencia que se utiliza estandarizada en la grabación de los discos compactos y esto a su vez, se debe a que el teorema de Nyquits postula que la frecuencia mínima requerida para realizar una grabación digital de calidad debe ser igual al doble de la frecuencia de audio de la señal analógica que se pretende grabar y posteriormente digitalizar.

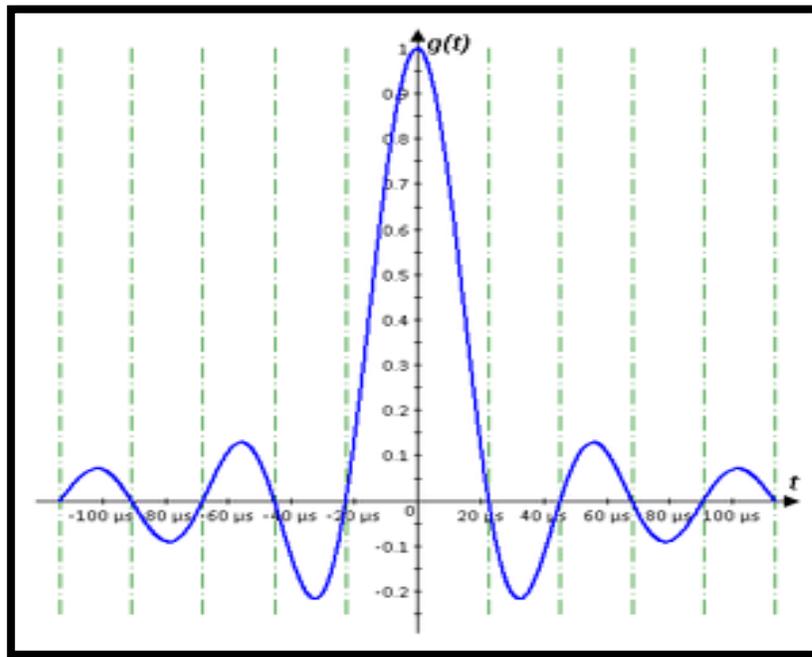


Figura 9. Función  $g(t)$  para  $F_s=44100$  muestras por segundo que es estándar de CD-audio.

El umbral mínimo de audición se determina dependiendo de la reacción del usuario a la señal generada por la función anteriormente descrita. Se diseñó un árbol de decisión el cual se basa en el método descrito en el capítulo 2, su implementación en el programa se logró mediante la utilización de ciclos **while**.

Los ciclos **WHILE** permiten la ejecución de un comando o grupo de comandos, un número indeterminado de veces bajo el control de una condición lógica. Esto es, los comandos se ejecutarán *mientras* se verifique dicha *condición*.

Dentro de estos ciclos se mandó llamar a la función **sound** y dependiendo de la respuesta del usuario se incrementa o decrementa el nivel de presión sonora de la señal (NPS). El número de decibeles que varía, depende del ciclo en el que se encuentre el programa.

En el proyecto se decidió darle la opción al usuario, de poder elegir la representación de los resultados en dos unidades dB HL y dB NPS. Los dB HL están basados en las curvas de igual sonoridad de Fletcher y Munson, en el programa para realizar la conversión entre estas unidades se utilizó la tabla 2 de conversión referida en el capítulo dos.

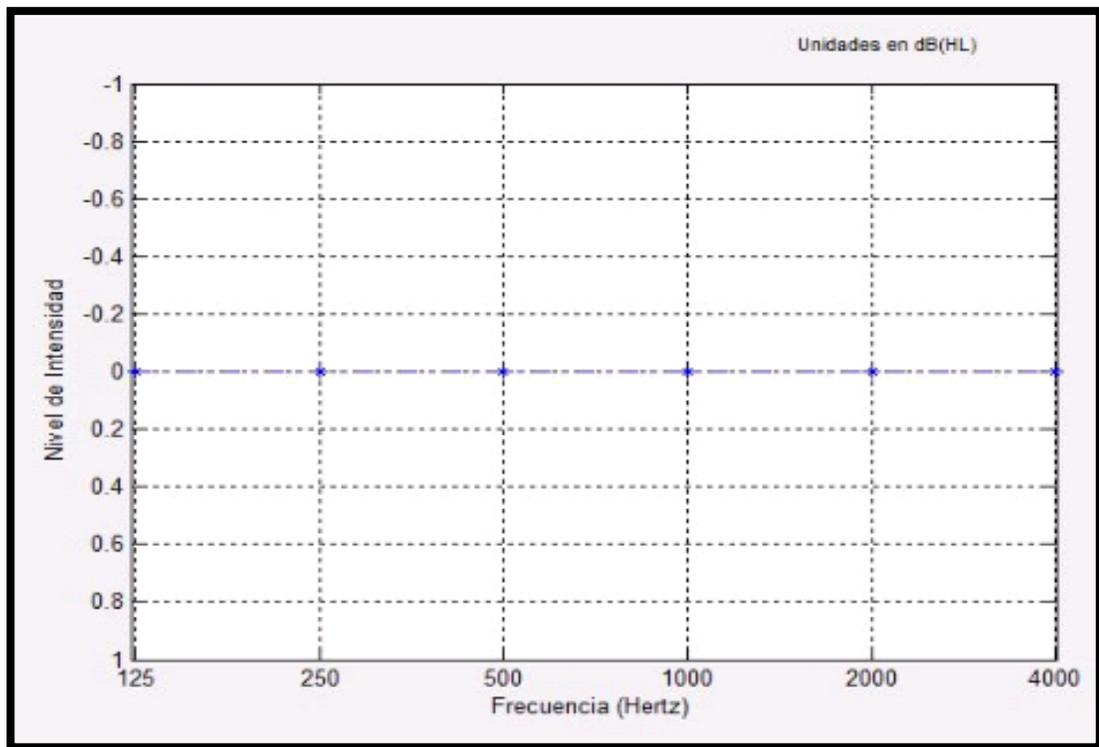


Figura 10. Audiograma en unidades dB HL correspondiente a la curva de igual sonoridad de un paciente con perfecta audición para el oído izquierdo.

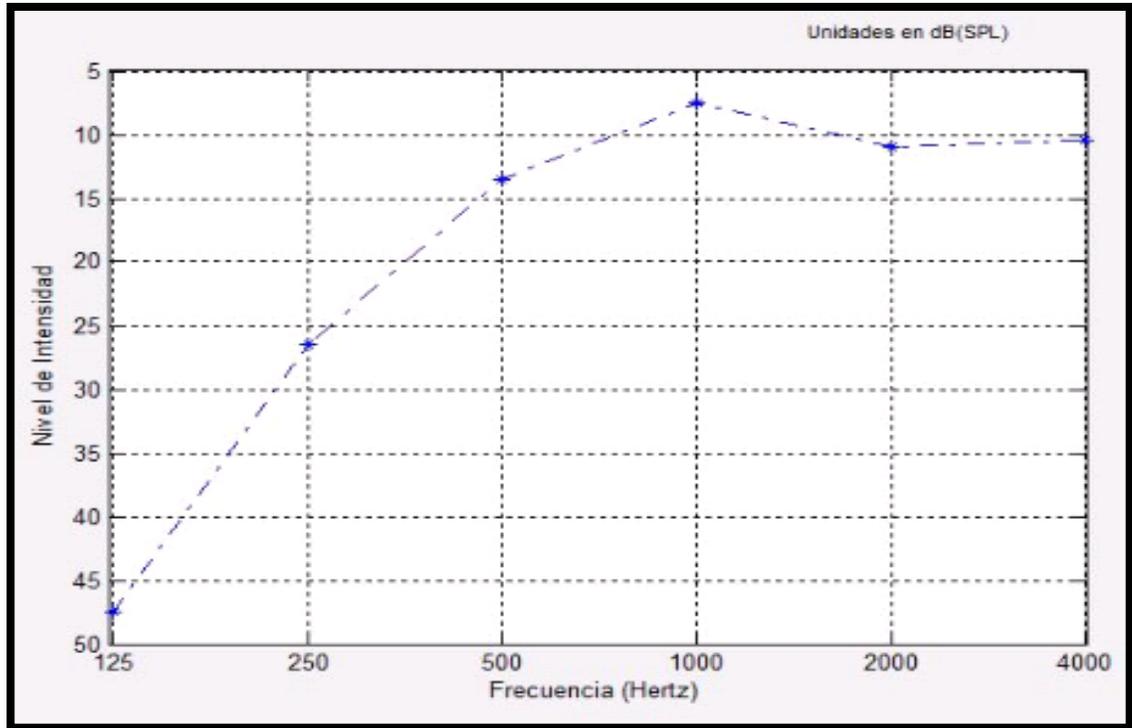


Figura 11. Audiograma en unidades dB SPL correspondiente a la curva de igual sonoridad de un paciente con perfecta audición oído izquierdo.

Se diseñó una interfaz gráfica, para que el programa pueda ser más amigable con el usuario dado que, en la pantalla se encuentra desplegado el menú en forma de botones, donde los botones del lado izquierdo contienen los datos de las duraciones deseadas y del lado derecho se encuentran los botones con los datos las frecuencias que se desean analizar.

También se incorporó al menú un botón de calibración, el cual sirve para ajustar el audiómetro en la referencia de 40 dB NPS, y así poder empezar a realizar las pruebas requeridas, cabe mencionar que para poder calibrar el audiómetro es necesario utilizar un sonómetro, que ayudará a poder monitorear el nivel de sonido que emite la máquina desde su tarjeta de audio hasta los transductores.

Es importante mencionar que esta opción de calibración, se encuentra dentro del menú que se despliega en la opción de herramientas, así como también otras opciones que son desplegadas en pantalla, como cambio de unidades, salvar archivo, selección de oído y activar la cuadrícula en el audiograma.

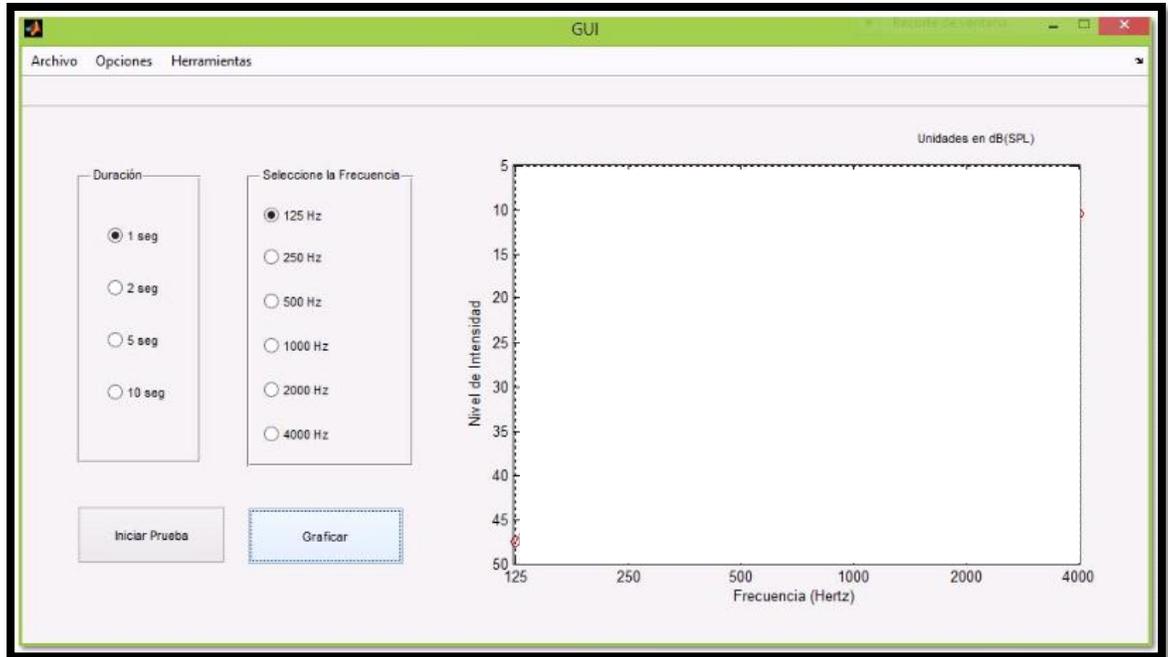


Figura 12. Pantalla principal del proyecto.

El programa despliega los resultados en la pantalla en forma gráfica, conforme se van realizando las pruebas, el programa va detectando el umbral de audición del usuario, y estos resultados se van almacenando y simultáneamente se van graficando los datos.

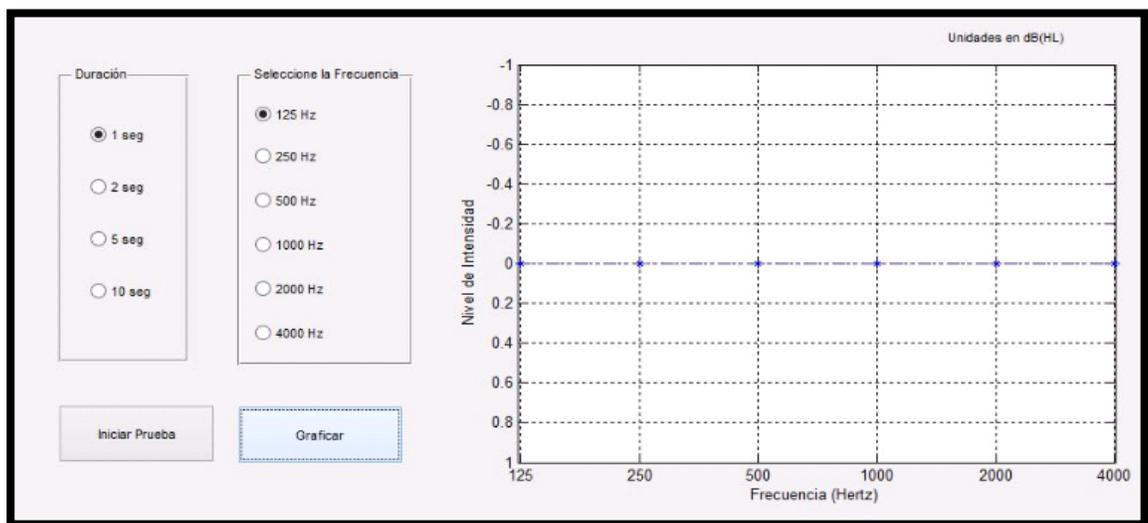


Figura 13. Programa con resultados en pantalla en unidades dB HL.

Para el incremento y decremento de los decibeles dentro del programa, fué necesario utilizar operaciones de suma y resta de decibeles, así cuando el programa se ejecute y detecte la respuesta del usuario o no lo detecte, automáticamente el programa ejecutará la siguiente función.

```

Asob = 10^(db/20);%baja los dB
A=A*Asob
```

Figura 13.1. Función para subir y bajar los decibeles

El parámetro **A** de variando con base al código anterior, debido a la naturaleza logarítmica de los dB, la variación no se puede hacer como una suma convencional, en vez de esto se tiene que variar con base a la ecuación antes mostrada.

Después de haberse cumplido las iteraciones necesarias del código antes mostrado se guarda en umbral en la variable que se muestra a continuación: umbral(1)-u

Posteriormente para realizar el cambio de unidades, de dB NPS a dB HL, se usa de referencia la tabla 2, donde se realiza una resta de valores para obtener el 0 dB HL que es la referencia.

Finalmente se grafica los datos utilizando la siguiente función: semilogx(yax,graf,'-.ro');grid on;

# Capítulo 4

## PRUEBAS Y RESULTADOS DE LAS AUDIOMETRÍAS.

### 4.1 Realización de audiometrías profesionales

Para comprobar la calidad del proyecto, se realizaron pruebas en dos diferentes instituciones de audición, en el Instituto mexicano del seguro social (IMSS) y en los laboratorios CHOPO, esto para obtener una referencia de error del proyecto y poder comparar los valores obtenidos, se utilizaron los mismos usuarios para no tener mayores variaciones.

El procedimiento que se realiza en estas instituciones, es por fases, la primera fase consta de contestar un cuestionario en el cual se realizan preguntas de padecimientos y ritmo de vida, posteriormente se procede a realizar la prueba audiométrica, en la cual para poder realizarla se necesita de una cámara semi-insonora.

La prueba es realizada por personas capacitadas en el uso del audiómetro, se va analizando un oído a la vez en las diferentes frecuencias, que van desde 125 Hz hasta 4 KHz, en caso de ser necesario el personal realiza la audiometría ósea (eso lo determina el médico tratante).

El audiograma que se proporciona es llenado a mano por el personal que realiza la prueba y ahí mismo se le entrega el diagnóstico al paciente en el cual se le explica si tiene o no un buen nivel de audición y en algunos casos si padece de alguna enfermedad que le afecte a su audición.

## 4.2 Interpretación de los audiogramas

Tras la realización del gráfico resultante de una exploración audiométrica, se recomienda ir con el especialista para un buen diagnóstico ya que se deben de tomar en cuenta muchos factores patológicos que el proyecto aún no es capaz de detectar, esto sin olvidar la valoración de la historia clínica.

*Audición normal.* Existe una respuesta de la vía aérea, siendo los umbrales mínimos de audición de todas las frecuencias no superiores a 20 Decibeles.

Cuando se presenta una pérdida de entre los 20 y los 40 dB HL se tiene una pérdida leve de la audición, de los cuarenta a los setenta decibeles de nivel de audición se determina una pérdida auditiva moderada, y una pérdida auditiva severa es de los setenta decibeles en adelante, en donde es muy difícil hacer algo por el paciente.

## 4.3 Realización de audiometrías con el proyecto

Con el proyecto se realizaron las pruebas audiométricas dentro de la cámara anecoica, de las instalaciones del Instituto Politécnico Nacional (IPN) que se encuentran en la academia de acústica. Las pruebas se realizaron con las mismas personas que se sometieron a la audiometría profesional descrita con anterioridad, esto para que los resultados obtenidos con anterioridad tuvieran una referencia de comparación.

El procedimiento fue básicamente igual al realizado en un instituto profesional, solo con las variantes del tiempo entre prueba y prueba, que fue de un mes y medio, la interacción del usuario con la máquina, para poder realizar la prueba es necesario introducir la computadora a la cámara (ya que en las audiometrías profesionales el monitoreo es externo), esto puede variar un poco los resultados dependiendo de cada computadora, esto debido a que unas hacen más ruido con el ventilador que otras, la calidad de la tarjeta de audio y otro factor de posible variación es la calibración del audiómetro realizada en el proyecto.

En las audiometrías profesionales no se proporcionan muchos datos del funcionamiento del audiómetro.

## 4.4 Comparación de resultados

Los resultados que se van a comparar a continuación son de tres pacientes diferentes, el paciente uno, se trata de una mujer mayor de 81 años de edad, con problemas agudos de pérdida de audición, el segundo paciente es un joven de género masculino con 25 años de edad y el paciente tres es una joven de 22 años de edad.

Los resultados que se irán comparando, son de pruebas realizadas, la primera con el proyecto y la segunda con un audiómetro profesional.

Paciente 1

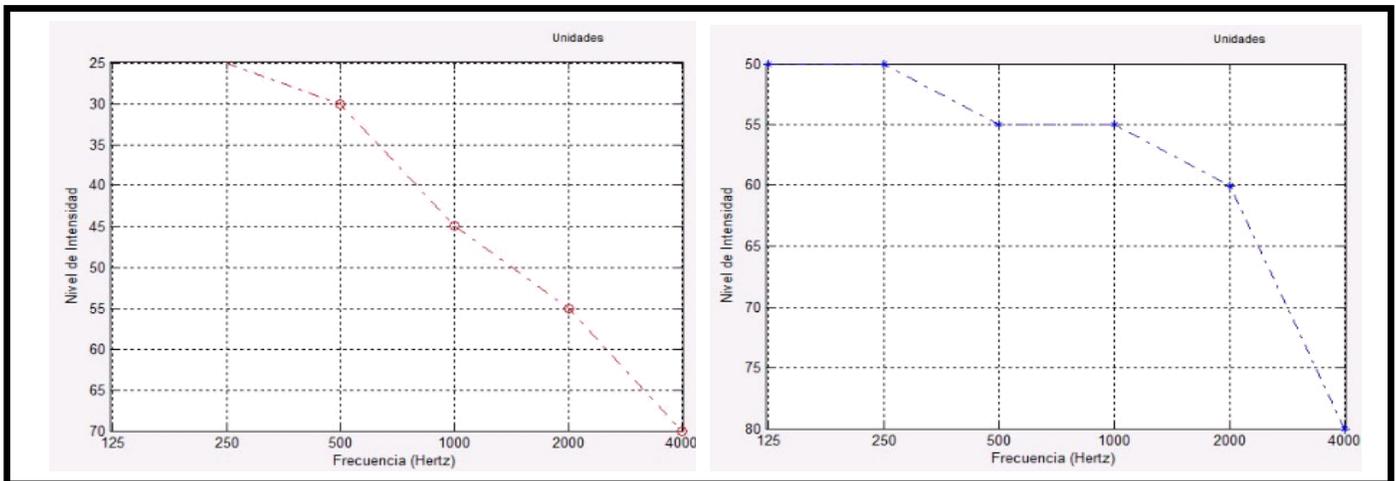


Figura 14. Audiometría realizada con el proyecto en unidades dB HL a paciente de 81 años.



Figura 15. Audiometría realizada a paciente de 81 años en unidades dB HL por un técnico a ambos oídos.

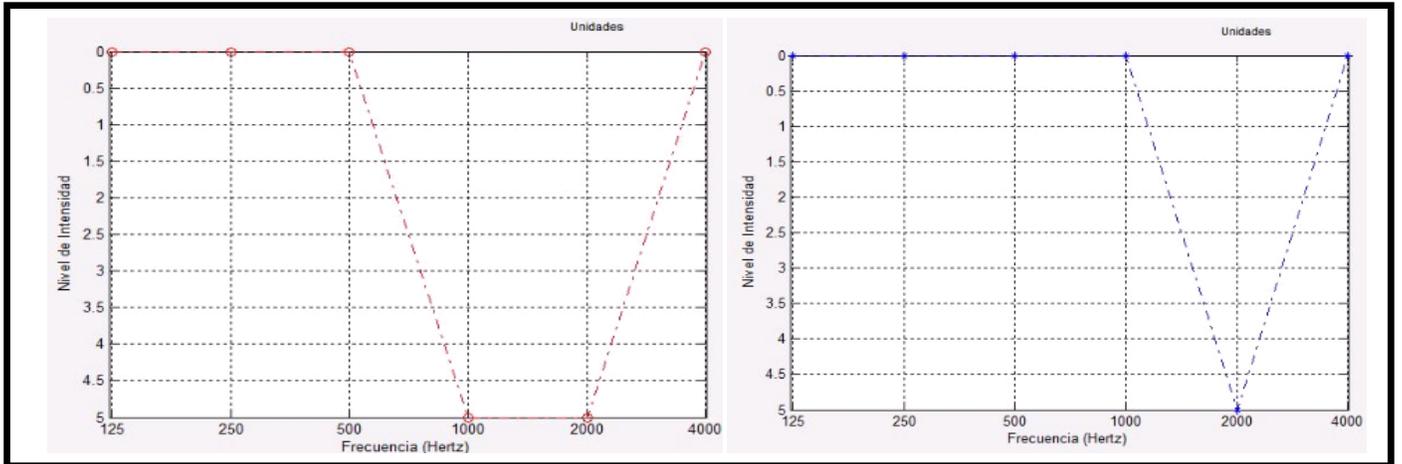


Figura 16. Audiometría realizada con el proyecto en unidades dB HL a ambos oídos de un paciente de 25 años.

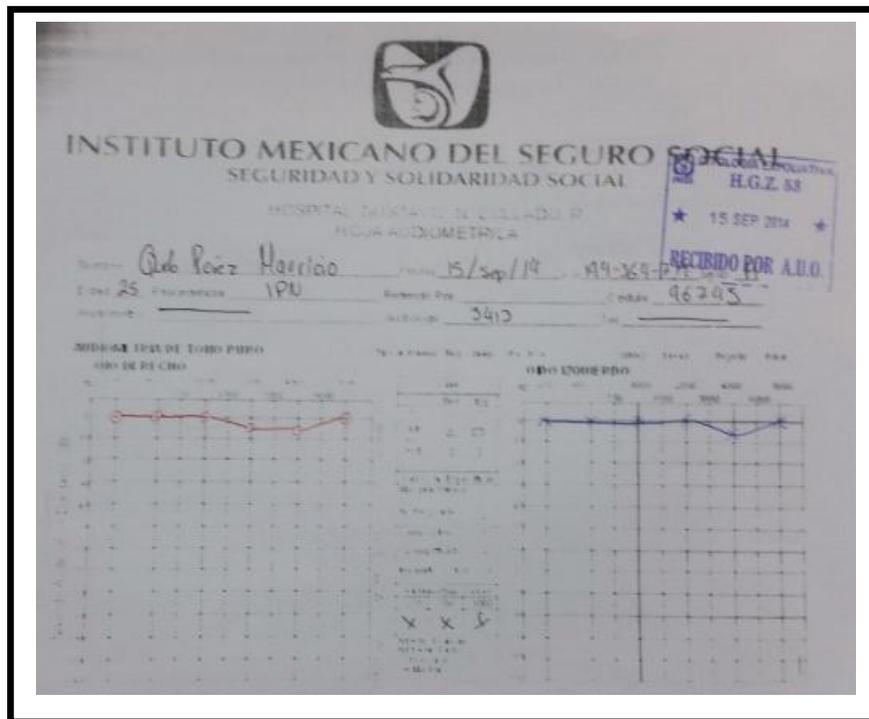


Figura 17. Audiometría realizada en unidades dB HL, por un técnico a ambos oídos paciente de 25 años.

En las figuras 15 y 16 se puede apreciar que el paciente tiene una audición normal, y se puede observar que su audiograma en ambos oídos es una línea cada plana.

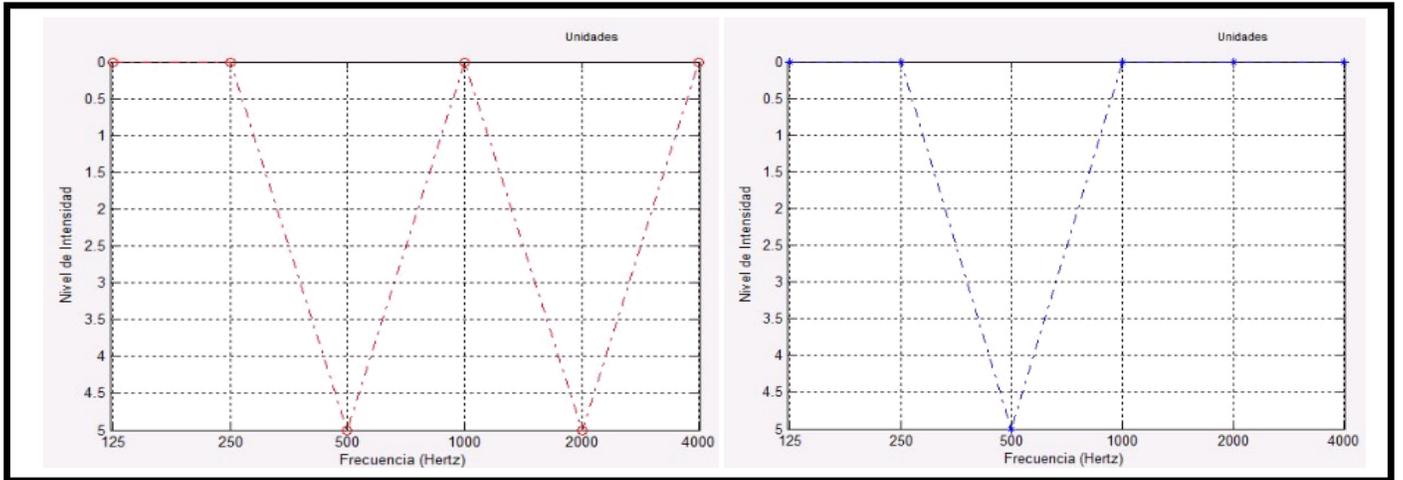


Figura 18. Audiometría realizada con el proyecto en unidades dB HL, ambos oídos paciente de 22 años

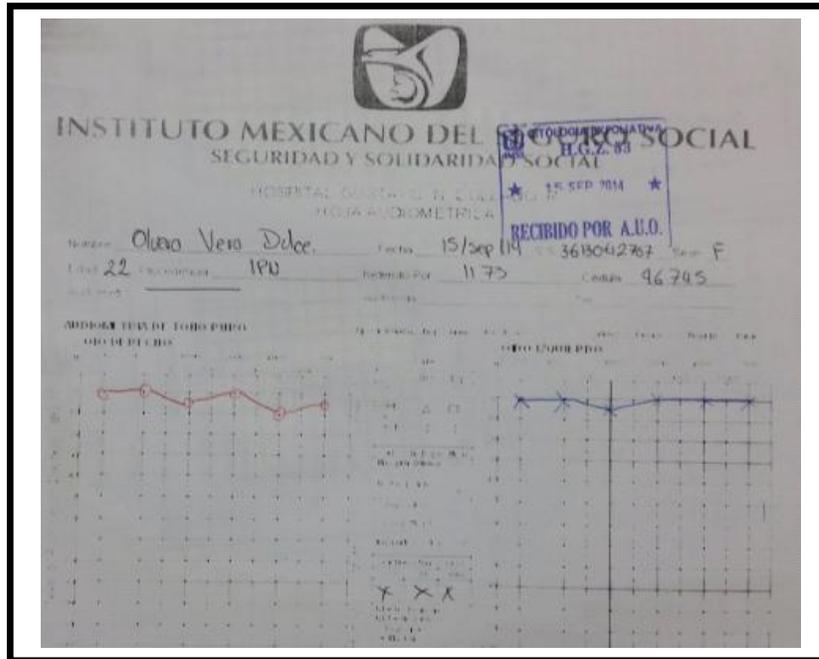


Figura 19. Audiometría realiza por un técnico en unidades dB HL, a ambos oídos paciente de 22 años

En las figuras 18 y 19 se puede apreciar que al igual que el paciente de 25 años, tiene una audición normal, y se puede observar que su audiograma en ambos oídos también es una línea cada plana y se encuentra dentro los rango de 0 a 5 dB HL.

A diferencia del paciente de 81 años que presenta en ambos oídos una pérdida severa esto se define debido a que sus niveles de audición están por debajo de los 20 dB HL y llagan a valores de entre 65 y 70 dB HL.

En las comparaciones que se realizan en el presente trabajo se puede observar, que los resultados obtenidos en ambos estudios realizados, son considerablemente parecidos y esto ayuda a la calidad del proyecto. La diferencia de gráficas del proyecto con respecto al audiómetro profesional, se debe a que el programa ejecuta la imagen solo enfocándose a donde se encuentran los datos, y por esta causa se ve más detallado.

## 4.5 Estudio económico

En este estudio económico figura de manera sistemática y ordenada la información de carácter monetario y temporal, que resultó del desarrollo y viabilidad de este proyecto. Los gastos asociados al desarrollo se desglosan a continuación.

Artículo	Cantidad	Precio/unidad	Precio total
Computadora personal (PC)	1	\$4000	\$4000
Horas de trabajo efectivo	975	-	-
Audífonos	1 par	\$550	\$550
Licencia de matlab para estudiantes	1	\$670	\$670
Audiometrías clínicas	3	\$450	\$1350

**\$6.570**

Al comparar el costo final del proyecto contra el costo de los audiómetros utilizados actualmente (ver referencia[10]), se puede apreciar la gran diferencia de precios, concluyendo que el presente proyecto resulta sustentable para su adquisición.

## Conclusiones

En conclusión se puede considerar que los resultados obtenidos con este proyecto son aceptables y no presentan mayores variaciones, las variaciones que se pudieran presentar son debidas a las condiciones de la cámara, transductores utilizados y el ruido que se pudiera generar de la computadora.

Al ser un programa de computadora facilita la portabilidad, reduce costos, no requiere de personal capacitado, ya que lo puede usar cualquier persona debido a que es bastante amigable y fácil de entender, gracias a la interfaz gráfica.

La interfaz gráfica permite al usuario realizar las pruebas de manera sencilla, las instrucciones de manejo que se despliegan en pantalla fueron desarrolladas con la facilidad de uso en mente, la selección de frecuencia y duración son de fácil e inmediato acceso, la opción para graficar en automático las pruebas realizadas hace más confiable los resultados, y la posibilidad de almacenar los datos en un archivo facilita la implementación de un registro.

El uso de este proyecto para la realización de prácticas dentro de la Academia de Acústica será de gran ayuda para el mejor entendimiento del funcionamiento del oído y de la importancia de su cuidado, así también para detectar si hay alguna anomalía en la audición.

# A. Anexo Código de línea.

## A.1 Código de pruebas básicas

A continuación se presenta el código desglosado con el cual se realizaron las primeras pruebas, no contiene interfaz gráfica.

```
freq=125;
D = 4.0;
Fs = 44100;
numdemuestras = Fs * D;
muestreo = (1:numdemuestras) / Fs;
s = sin(2 * pi * freq * muestreo);

mostrar = [' a continuacion se presentara un sonido a', freq, 'hz'];%
disp (mostrar)%
A=0.01;
sound(A*s, Fs);
prompt = 'responde? 1=si 0 =no';%
resp = input(prompt);
cont=0;
u=40;
while resp == 0
    disp ('se incrementara 20db')
    db=20
    u=u+20
    Asob = 10^(db/20);%baja los dB
    A=A*Asob
    if A >=1
        disp ('limite superior')
        A=1;
    end
    sound(A*s, Fs);
    resp = input(prompt);
end
while resp == 1
    disp ('se decrementara 15db')
    db=-15
    u=u-15
    Asob = 10^(db/20);%baja los dB
    A=A*Asob
    sound(A*s, Fs);
    resp = input(prompt);
end
while resp == 0
    disp ('se incrementara 5db')
    db=5
    u=u+5
    Asob = 10^(db/20);%baja los dB
    A=A*Asob
    sound(A*s, Fs);
    resp = input(prompt);
end
while cont<3
```

```

sound(A*s, Fs);
resp = input(prompt);
if resp==1
    cont=cont+1
else
    while resp == 0
        disp ('se decrementara 10db')
        db=10
        u=u+10
        Asob = 10^(db/20);%baja los dB
        A=A*Asob
        sound(A*s, Fs);
        resp = input(prompt);
        cont=0
    end
end
end
end
freq=freq*2;
umbral(1)=u;%cambiar

```

```

umbral(1)=umbral(1)-23    %125
umbral(2)=umbral(2)-12    %250
umbral(3)=umbral(3)-6     %500
umbral(4)=umbral(4)-4     %1000
umbral(5)=umbral(5)-3     %2000
umbral(6)=umbral(6)-(-4) %4000

```

```

plot(umbral,'-.ro')
grid on

```

```

function umbral = tonopuro(freq,D,A)
Fs = 44100;
numdemuestras = Fs * D;
muestreo = (1:numdemuestras) / Fs;
s = sin(2 * pi * freq * muestreo);
sound(A*s, Fs);
umbral=1;
end

```

```

function Amplitud = SubeoBaja(db)
    Amplitud = 10^(db/20);%baja los dB
end

```

# B. Anexo Código principal con interfaz gráfica.

## B.1 Código principal desarrollado con interfaz gráfica

A continuación se presenta el código principal en el cual ya está integrada la interfaz gráfica y las funciones para realizar las audiometrías, también se encuentra el menú que al ejecutarse el programa se despliega en automático.

```
function varargout = GUI(varargin)
% GUI MATLAB code for GUI.fig
%   GUI, by itself, creates a new GUI or raises the existing
%   singleton*.
%
%   H = GUI returns the handle to a new GUI or the handle to
%   the existing singleton*.
%
%   GUI('CALLBACK',hObject,eventData,handles,...) calls the local
%   function named CALLBACK in GUI.M with the given input arguments.
%
%   GUI('Property','Value',...) creates a new GUI or raises the
%   existing singleton*. Starting from the left, property value pairs are
%   applied to the GUI before GUI_OpeningFcn gets called. An
%   unrecognized property name or invalid value makes property application
%   stop. All inputs are passed to GUI_OpeningFcn via varargin.
%
%   *See GUI Options on GUIDE's Tools menu. Choose "GUI allows only one
%   instance to run (singleton)".
%
% See also: GUIDE, GUIDATA, GUIHANDLES

% Edit the above text to modify the response to help GUI

% Last Modified by GUIDE v2.5 03-Feb-2015 13:43:53

% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                  'gui_Singleton',  gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @GUI_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn',  @GUI_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn',  [], ...
                  'gui_Callback',    []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
```

```

% --- Executes just before GUI is made visible.
function GUI_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
% This function has no output args, see OutputFcn.
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles     structure with handles and user data (see GUIDATA)
% varargin   command line arguments to GUI (see VARARGIN)

% Choose default command line output for GUI
handles.output = hObject;

% Update handles structure
guidata(hObject, handles);

% UIWAIT makes GUI wait for user response (see UIRESUME)
% uiwait(handles.figure1);

% --- Outputs from this function are returned to the command line.
function varargout = GUI_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)
% varargout  cell array for returning output args (see VARARGOUT);
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles     structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Get default command line output from handles structure
varargout{1} = handles.output;

function radiobutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)

function radiobutton2_Callback(hObject, eventdata, handles)

function radiobutton3_Callback(hObject, eventdata, handles)

function radiobutton4_Callback(hObject, eventdata, handles)

function radiobutton5_Callback(hObject, eventdata, handles)

function radiobutton6_Callback(hObject, eventdata, handles)

function uipanel1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

function uipanel2_SelectionChangeFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to the selected object in uipanel2
% eventdata  structure with the following fields (see UIBUTTONGROUP)
%   EventName: string 'SelectionChanged' (read only)
%   OldValue:  handle of the previously selected object or empty if none was
selected
%   NewValue:  handle of the currently selected object
% handles     structure with handles and user data (see GUIDATA)
switch get(eventdata.NewValue, 'Tag') % Get Tag of selected object.
    case 'radiobutton1'
        setappdata(handles.uipanel2, 'UserData', 125)
    case 'radiobutton2'
        setappdata(handles.uipanel2, 'UserData', 250)
    case 'radiobutton3'
        setappdata(handles.uipanel2, 'UserData', 500)

```

```

case 'radiobutton4'
    setappdata(handles.uipanel2, 'UserData', 1000)
case 'radiobutton5'
    setappdata(handles.uipanel2, 'UserData', 2000)
case 'radiobutton6'
    setappdata(handles.uipanel2, 'UserData', 4000)
end

function pushbutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to pushbutton1 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see GUIDATA)
% Call modaldlg with the argument 'Position'.
    if isempty(getappdata(handles.uipanel2, 'UserData'))== 1
        freq=125;
    else
        freq = getappdata(handles.uipanel2, 'UserData')
    end
    if isempty(getappdata(handles.uipanel3, 'UserData'))==1
        D=1;
    else
        D = getappdata(handles.uipanel3, 'UserData');
    end
    Fs = 44100; %frecuencia de muestreo
    numdemuestras = Fs * D;
    muestreo = (1:numdemuestras) / Fs;
    s = sin(2 * pi * freq * muestreo);
    A=0.01;
    h = waitbar(0, 'Reproduciendo tono puro');%barra espera
    steps = D*1000;
    sound(A*s, Fs);
    for step = 1:steps
        waitbar(step / steps)
    end
    close(h)%termina barra espera
    choice = questdlg('responde?', ...%ventana diálogo
    'Tono puro', ...
    'si', 'no', 'no');
    switch choice
    case 'si'
        resp = 1;
    case 'no'
        resp = 0;
    end%termina ventana diálogo
    cont=0;
    u=40;
    while resp == 0
        db=20;
        u=u+20;
        Asob = 10^(db/20);%baja los dB
        A=A*Asob;
        h = waitbar(0, 'Reproduciendo tono puro');%barra espera
        steps = D*1000;
        sound(A*s, Fs);
        for step = 1:steps
            waitbar(step / steps)
        end
        close(h)%termina barra espera
        choice = questdlg('responde?', ...

```

```

'sube 20', ...
'si', 'no', 'no');
switch choice
case 'si'
    resp = 1;
case 'no'
    resp = 0;
end
disp (resp)
if A >=1%si se alcanza el límite
    errordlg('El límite máximo se ha alcanzado', 'Advertencia');
    A=1;
    resp = 1
    uiwait(gcf);
    helpdlg('El dato se ha guardado', ...
        'Éxito');
end
end
if A <1%si se alcanzó el límite no realiza las sig operaciones
while resp == 1
    db=-15;
    u=u-15;
    Asob = 10^(db/20);%baja los dB
    A=A*Asob;
    h = waitbar(0, 'Reproduciendo tono puro');%barra espera
    steps = D*1000;
    sound(A*s, Fs);
    for step = 1:steps
        waitbar(step / steps)
    end
    close(h)%termina barra espera
    choice = questdlg('responde?', ...
        'baja 15', ...
        'si', 'no', 'no');
    switch choice
    case 'si'
        resp = 1;
    case 'no'
        resp = 0;
    end
    disp (resp)
end
while resp == 0
    db=5;
    u=u+5;
    Asob = 10^(db/20);%baja los dB
    A=A*Asob;
    h = waitbar(0, 'Reproduciendo tono puro');%barra espera
    steps = D*1000;
    sound(A*s, Fs);
    for step = 1:steps
        waitbar(step / steps)
    end
    close(h)%termina barra espera
    choice = questdlg('responde?', ...
        'sube 5', ...
        'si', 'no', 'no');
    switch choice
    case 'si'

```

```

        resp = 1;
    case 'no'
        resp = 0;
    end
    disp (resp)
end
while cont<3
    h = waitbar(0,'Reproduciendo tono puro');%barra espera
    steps = D*1000;
    sound(A*s, Fs);
    for step = 1:steps
        waitbar(step / steps)
    end
    close(h)%termina barra espera
    choice = questdlg('responde?', ...
        'Tono puro', ...
        'si','no','no');
    switch choice
    case 'si'
        resp = 1;
    case 'no'
        resp = 0;
    end
    disp (resp)
    if resp==1
        cont=cont+1;
    else
        while resp == 0
            db=10;
            u=u+10;
            Asob = 10^(db/20);%sube los dB
            A=A*Asob;
            h = waitbar(0,'Reproduciendo tono puro');%barra espera
            steps = D*1000;
            sound(A*s, Fs);
            for step = 1:steps
                waitbar(step / steps)
            end
            close(h)%termina barra espera
            choice = questdlg('responde?', ...
                'sube 10', ...
                'si','no','no');
            switch choice
            case 'si'
                resp = 1;
            case 'no'
                resp = 0;
            end
        end
        disp (resp)
        cont=0;
    end
end
helpdlg('El dato se ha guardado',...
    'Éxito');
end
switch freq
case 125
    setappdata(handles.pushbutton1,'UserData1',u)

```

```

case 250
    setappdata(handles.pushbutton1, 'UserData2', u)
case 500
    setappdata(handles.pushbutton1, 'UserData3', u)
case 1000
    setappdata(handles.pushbutton1, 'UserData4', u)
case 2000
    setappdata(handles.pushbutton1, 'UserData5', u)
case 4000
    setappdata(handles.pushbutton1, 'UserData6', u)
end

function uipanel3_SelectionChangeFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to the selected object in uipanel3
% eventdata  structure with the following fields (see UIBUTTONGROUP)
%   EventName: string 'SelectionChanged' (read only)
%   OldValue: handle of the previously selected object or empty if none was
selected
%   NewValue: handle of the currently selected object
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
switch get(eventdata.NewValue, 'Tag') % Get Tag of selected object.
    case 'radiobutton7'
        setappdata(handles.uipanel3, 'UserData', 1)
    case 'radiobutton8'
        setappdata(handles.uipanel3, 'UserData', 2)
    case 'radiobutton9'
        setappdata(handles.uipanel3, 'UserData', 5)
    case 'radiobutton10'
        setappdata(handles.uipanel3, 'UserData', 10)
end

function pushbutton2_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to pushbutton2 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
if isempty(getappdata(handles.pushbutton1, 'UserData1'))== 1
    g1=0;
else
    g1= getappdata(handles.pushbutton1, 'UserData1')
end
if isempty(getappdata(handles.pushbutton1, 'UserData2'))== 1
    g2=0;
else
    g2= getappdata(handles.pushbutton1, 'UserData2')
end
if isempty(getappdata(handles.pushbutton1, 'UserData3'))== 1
    g3=0;
else
    g3= getappdata(handles.pushbutton1, 'UserData3')
end
if isempty(getappdata(handles.pushbutton1, 'UserData4'))== 1
    g4=0;
else
    g4= getappdata(handles.pushbutton1, 'UserData4')
end
if isempty(getappdata(handles.pushbutton1, 'UserData5'))== 1
    g5=0;
else

```

```

    g5= getappdata(handles.pushbutton1,'UserData5')
end
if isempty(getappdata(handles.pushbutton1,'UserData6'))== 1
    g6=0;
else
    g6= getappdata(handles.pushbutton1,'UserData6')
end
cuad=getappdata(handles.Cuadricula,'UserData');
unidades=getappdata(handles.Unidades,'UserData');
if unidades==1
    g1hl=-(g1-47.5)
    g2hl=-(g2-26.5)
    g3hl=-(g3-13.5)
    g4hl=-(g4-7.5)
    g5hl=-(g5-11)
    g6hl=-(g6-10.5)
end
graf=[g1hl g2hl g3hl g4hl g5hl g6hl];
E=getappdata(handles.Estilo,'UserData1')
if E==1
    plot(graf,'-.ro')
else
    plot(graf,'-.b*')
end
if cuad==1
grid on
end

function OP_Callback(hObject, eventdata, handles)

function Unidades_Callback(hObject, eventdata, handles)

function Cuadricula_Callback(hObject, eventdata, handles)

function Herramientas_Callback(hObject, eventdata, handles)

function Calibrar_Callback(hObject, eventdata, handles)
D=15
freq=1000
Fs = 44100; %frecuencia de muestreo
numdemuestras = Fs * D;
muestreo = (1:numdemuestras) / Fs;
s = sin(2 * pi * freq * muestreo);
A=0.01;
h = waitbar(0,'Reproduciendo tono para calibración a 40 dB');%barra espera
steps = D*1000;
sound(A*s, Fs);
for step = 1:steps
waitbar(step / steps)
end
close(h)%termina barra espera

function Prendida_Callback(hObject, eventdata, handles)
setappdata(handles.Cuadricula,'UserData',1)

function Apagada_Callback(hObject, eventdata, handles)
setappdata(handles.Cuadricula,'UserData',0)

function dbHL_Callback(hObject, eventdata, handles)

```

```

setappdata(handles.Unidades,'UserData',1)
S='Unidades en dB(HL) '
set(handles.text1,'string',S);

function dB_Callback(hObject, eventdata, handles)
setappdata(handles.Unidades,'UserData',0)
S='Unidades en dB(SPL) '
set(handles.text1,'string',S);

function Archivo_Callback(hObject, eventdata, handles)

function Guardarcomo_Callback(hObject, eventdata, handles)
g1= getappdata(handles.pushbutton1,'UserData1');
g2= getappdata(handles.pushbutton1,'UserData2');
g3= getappdata(handles.pushbutton1,'UserData3');
g4= getappdata(handles.pushbutton1,'UserData4');
g5= getappdata(handles.pushbutton1,'UserData5');
g6= getappdata(handles.pushbutton1,'UserData6');
uisave({'g1','g2','g3','g4','g5','g6'},'Audiomet');

function Abrir_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to Abrir (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see GUIDATA)
uiopen
    setappdata(handles.pushbutton1,'UserData1',g1)
    setappdata(handles.pushbutton1,'UserData2',g2)
    setappdata(handles.pushbutton1,'UserData3',g3)
    setappdata(handles.pushbutton1,'UserData4',g4)
    setappdata(handles.pushbutton1,'UserData5',g5)
    setappdata(handles.pushbutton1,'UserData6',g6)
    helpdlg('Se ha cargado el archivo, presione "graficar" para ver los datos
cargados',...
    'Éxito');

function Guardaraudimet_Callback(hObject, eventdata, handles)
F = getframe(handles.axes2);
Image = frame2im(F);
imwrite(Image, 'Image.jpg')

function Estilo_Callback(hObject, eventdata, handles)

function OI_Callback(hObject, eventdata, handles)
setappdata(handles.Estilo,'UserData1',1)

function OD_Callback(hObject, eventdata, handles)
setappdata(handles.Estilo,'UserData1',0)

```

# Bibliografía

- [1] Sebastián, Gonzalo de Badaraco, Jose J., David G. “*Audiología Práctica*”. Madrid España, Médica panamericana, 1999, pág 280.
- [2] Seto William W. “*Teoría y problemas de Acústica*”, México, McGraw-Hill, 1973, pág 195.
- [3] Norton SJ, Bhama PK, Perkins JA. “*Early detection and diagnosis of infant hearing impairment*”, 5th ed. Philadelphia; 2010: pág 290.
- [4] Beranek Leo, “*Acoustical Measurements*”, New York, Ed. american Institute of physics, Second edition, 1998, pág 841.
- [5] Kileny, Zwolan TA. “Diagnostic audiology, ed. Otolaryngology: Head & Neck Surgery”, 5th ed. Philadelphia; 2010: pág 133.
- [6] Kaplan, Gladstone y Lloyd, “Audiometric Interpretation. A manual of basic audiometry”. Boston, Ed Pearson, Second Edition, 1998, pág 352.
- [7]<http://www.sennheiser.com/earphones-ear-headphones-volume-control-cx-280>  
consulta 27 marzo 2014
- [8]<http://www.dof.gob.mx/nom-011-stps-2001> consulta 06 junio 2014
- [9] [www.mathworks.com/products/matlab](http://www.mathworks.com/products/matlab) consulta 14 octubre 2014
- [10][www.catalogomedico.mx/tienda/index.php?cpath=209](http://www.catalogomedico.mx/tienda/index.php?cpath=209) consulta 25 febrero 2015