



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**DISEÑO DE UN SISTEMA PARA LA ELABORACIÓN DE AUDIOMETRÍAS EN LA  
UNIDAD DE SALUD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

**Silvio Alejandro Urizar Salazar**

Asesorado por el Ing. Guillermo Antonio Puente Romero

Guatemala, julio de 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE UN SISTEMA PARA LA ELABORACIÓN DE AUDIOMETRÍAS EN LA  
UNIDAD DE SALUD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**SILVIO ALEJANDRO URIZAR SALAZAR**

ASESORADO POR EL ING. GUILLERMO ANTONIO PUENTE ROMERO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA**

GUATEMALA, JULIO DE 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADORA	Inga. Ingrid Salomé Rodríguez de Loukota
EXAMINADOR	Ing. Otto Fernando Andrino González
EXAMINADOR	Ing. José Aníbal Silva de los Ángeles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**DISEÑO DE UN SISTEMA PARA LA ELABORACIÓN DE AUDIOMETRÍAS EN LA UNIDAD DE SALUD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 4 de noviembre de 2013.



**Silvio Alejandro Urizar Salazar**

Guatemala, 02 de junio de 2015.

Ing. Carlos Eduardo Guzmán Salazar  
Coordinador de Área de Electrónica  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica  
Facultad de Ingeniería, USAC.

Ingeniero Guzmán:

Por este medio me permito dar aprobación al Trabajo de Graduación titulado: "DISEÑO DE UN SISTEMA PARA LA ELABORACIÓN DE AUDIOMETRÍAS EN LA UNIDAD DE SALUD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA", desarrollado por la estudiante Silvio Alejandro Urizar Salazar con carné 2009-15098, ya que considero que cumple con los requisitos establecidos, por lo que el autor y mi persona somos responsables del contenido y conclusiones del mismo.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarlo.

Atentamente,



Ing. Guillermo Antonio Puente Romero  
ASESOR  
Colegiado 5898

*Guillermo A. Puente R.*  
INGENIERO ELECTRONICO  
COL. # 5898



Ref. EIME 27. 2015  
Guatemala, 8 de junio 2015.

Señor Director  
Ing. Guillermo Antonio Puente Romero  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica  
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:  
**DISEÑO DE UN SISTEMA PARA LA ELABORACIÓN DE  
AUDIOMETRÍAS EN LA UNIDAD DE SALUD DE LA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA,** del  
estudiante **Silvio Alejandro Urizar Salazar,** que cumple con los  
requisitos establecidos para tal fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,  
ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Carlos Eduardo Guzmán Salazar  
Coordinador Área Electrónica





REF. EIME 27. 2015.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante; SILVIO ALEJANDRO URIZAR SALAZAR titulado: DISEÑO DE UN SISTEMA PARA LA ELABORACIÓN DE AUDIOMETRÍAS EN LA UNIDAD DE SALUD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, procede a la autorización del mismo.

Ing. Guillermo Antonio Puente Ro



GUATEMALA, 15 DE JUNIO 2,015.



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE UN SISTEMA PARA LA ELABORACIÓN DE AUDIOMETRÍAS EN LA UNIDAD DE SALUD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario: **Silvio Alejandro Urizar Salazar**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

  
Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Decano

Guatemala, 21 de julio de 2015

/gdech



## **ACTO QUE DEDICO A:**

### **Mis padres**

Silvio Urizar y Silvia Salazar, por siempre brindarme su apoyo incondicional. Por darme consejos y ser una parte crucial en mi desarrollo como ser humano.

### **Mi abuela**

Benicia Barillas, por ser como una madre para mí, por estar a mi lado en todo momento.

### **Mi abuelo**

Zoel Urizar, por ser el mayor ejemplo en mi vida.

### **Mis amigos**

En especial a mis colegas de la Rama Estudiantil IEEE Sección Guatemala. Por apoyarme siempre, su tiempo y ayuda en los momentos que más lo necesité.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por ser mi querida alma máter, por formarme como profesional dentro de sus aulas a lo largo de estos años.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por brindarme los conocimientos tan necesarios para mi vida profesional.
<b>Mis amigos de IEEE</b>	Víctor Carranza, Jorge Top, Pablo del Aguila, John Rojas, Edgar Barrera, Mauricio Vargas, Víctor Pérez, Juan Pablo Zapeta, Daniel González, por compartir tantas experiencias y buenas historias a lo largo de la universidad.
<b>Mis amigos de Fisired</b>	Alan García, Jeffrey Paredes, Andrés Monterroso, Roberto Montezuma, Jonathan Ball, Alex Rojas, Luis Tun, Deniz Arriaza, Sarafí Figueroa, Emilio Estrada, por compartir conmigo tanto dentro como fuera de la Licenciatura en Física.
<b>Mis amigos y compañeros de proyectos</b>	Allan Hernández, Jorge Top, José Miguel Ruano, Jimmy Cosme, Alex Díaz, Carlos Girón, Oscar Padilla y demás, por permitirme trabajar a su lado y adquirir invaluable conocimiento debido a ellos.

<b>Mis amigos de Proyecto LAGO</b>	Iván Morales, Luis García, Maynor Ballina, Hernán Velásquez, Vicente Balcárcel, por brindarme siempre apoyo en la realización de mis proyectos y en este trabajo de graduación.
<b>Familia Castellanos</b>	<b>Valent</b> Por ser como una segunda familia para mí. A Allan Valent, por ser como mi hermano, y un amigo incondicional desde mi infancia. A Anabella Castellanos, por brindarme su apoyo invaluable.
<b>Guillermo Fernández</b>	Por ser como un hermano. Por estar siempre ahí cuando más lo he necesitado.
<b>Guillermo Puente</b>	Por brindarme su ayuda y asesoría en la realización de este trabajo de graduación.
<b>Juan Elías</b>	Por su invaluable ayuda y consejos para la realización de este trabajo.
<b>Ana Beatriz Ruano</b>	Por su invaluable amistad a lo largo de estos años de universidad.
<b>Mis amigos</b>	Luis Reyes, Ruth Tijerino, Eduardo Golón, Silvia Pérez, Ana Lucía Martínez, Freddy Lorenti, Julio Carías, Gaby Coyoy, Daniel Oxom, Oscar Ramírez, Antony Chicol, Karin Corazón, por todo su apoyo, historias compartidas y gran amistad que ha perdurado por muchos años.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	IX
GLOSARIO .....	XI
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN .....	XIX
1. LA AUDICIÓN EN LOS HUMANOS .....	1
1.1. El sonido.....	1
1.1.1. Propagación del sonido .....	1
1.2. El oído .....	2
1.2.1. Oído externo .....	3
1.2.2. Oído medio .....	4
1.2.3. Oído interno .....	4
1.3. La audición .....	5
1.3.1. Proceso de audición .....	5
1.4. Magnitudes auditivas.....	6
1.4.1. Tono o altura del sonido .....	6
1.4.2. Sonoridad .....	7
1.5. Octava .....	8
1.5.1. Decibel.....	9
1.6. Audiometría .....	10
1.6.1. Audiometría tonal umbral.....	10
1.6.1.1. Audiometría tonal liminar .....	12
1.6.1.2. Audiometría tonal supraliminar .....	13

1.6.2.	Curva isofónica.....	13
1.6.3.	Simbología audiométrica .....	15
1.6.4.	Audiómetro .....	15
2.	TEORÍA DE LOS COMPONENTES ELECTRÓNICOS DEL PROTOTIPO.....	17
2.1.	Transductores .....	17
2.1.1.	Transductor electroacústico .....	17
2.1.1.1.	Tipos de transductor electroacústico ....	19
2.2.	Amplificación de señales.....	22
2.2.1.	Tipos de amplificadores.....	23
2.2.1.1.	Amplificador clase A y clase B .....	23
2.2.2.	Amplificador clase AB .....	23
2.2.3.	Amplificador clase C.....	24
2.3.	Amplificador operacional .....	25
2.3.1.	Configuraciones básicas del amplificador operacional.....	27
2.3.1.1.	Amplificador operacional en configuración inversora .....	28
2.3.1.2.	Amplificador operacional en configuración no inversora .....	31
2.3.1.3.	Amplificador operacional como comparador .....	32
2.4.	Microcontrolador .....	34
2.4.1.	Programación del microcontrolador.....	35
2.4.1.1.	Lenguaje ensamblador .....	36
2.4.1.2.	Ventajas de un lenguaje de alto nivel ...	36
2.5.	Generación de ondas .....	38

2.5.1.	Principios básicos de la generación de ondas senoidales.....	38
2.5.1.1.	El lazo de retroalimentación de un oscilador .....	38
2.5.1.2.	Criterio de oscilación .....	39
2.6.	Teclado matricial .....	40
3.	COMPONENTES DEL PROTOTIPO .....	43
3.1.	Descripción del prototipo .....	43
3.2.	Teclado matricial .....	45
3.3.	Amplificadores .....	46
3.3.1.	Amplificador para el micrófono .....	47
3.3.2.	Amplificador de salida.....	47
3.4.	Almacenamiento de datos .....	50
3.5.	Generación de sonido .....	51
3.6.	Microcontrolador.....	52
3.6.1.	Interfaz con la pantalla LCD.....	54
3.7.	Potenciómetro digital .....	54
4.	DIAGRAMAS Y DISEÑO FINAL DE HARDWARE .....	57
4.1.	Microcontrolador.....	57
4.2.	Pantalla.....	59
4.3.	Acondicionamiento de señal.....	60
4.4.	Micrófono.....	63
4.5.	Generación de tono .....	64
4.6.	Teclado.....	67
4.7.	Control de volumen .....	69
4.8.	Conmutación .....	71
4.9.	Salida.....	73

4.10.	Módulo de almacenamiento de datos.....	75
5.	DISEÑO DE SOFTWARE PARA EL PROTOTIPO.....	77
5.1.	Lenguaje de programación.....	78
5.2.	Interfaz de usuario.....	79
5.3.	Programación del microcontrolador.....	81
5.3.1.	Funciones básicas.....	81
5.3.1.1.	Modos de funcionamiento .....	83
5.4.	IDE utilizada .....	85
	CONCLUSIONES.....	87
	RECOMENDACIONES .....	89
	BIBLIOGRAFÍA.....	91
	ANEXOS.....	95

# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1.	Oído.....	3
2.	Representación en 3D del oído medio .....	4
3.	Tonos de diversas fuentes .....	7
4.	Gráfica de una audiometría.....	11
5.	Curva Isofónica .....	14
6.	Símbología audiométrica.....	15
7.	Audiómetro convencional.....	16
8.	Bocina de bovina móvil .....	19
9.	Micrófono de condensador.....	20
10.	Diseño de un transductor de flexión ultrasónico.....	21
11.	Sonar Tonpilz .....	22
12.	Salidas de amps. clase A (a), B (b), AB (c) y C (d) .....	24
13.	Símbolo de un amplificador operacional .....	25
14.	Circuito equivalente del amplificador operacional .....	27
15.	Configuración inversora del Op Amp.....	28
16.	Circuito Equivalente de la configuración inversora.....	30
17.	Amplificador operacional en configuración no inversora .....	31
18.	Análisis de la configuración no inversora .....	32
19.	Amplificador operacional como comparador .....	33
20.	Voltaje de referencia para la comparación .....	34
21.	Diagrama de un microcontrolador .....	35
22.	Programas en C y ASM que realizan las mismas funciones .....	37
23.	Red de retroalimentación positiva .....	39

24.	Diagrama esquemático de un teclado matricial .....	41
25.	Diagrama de bloques del prototipo .....	44
26.	Circuito del preamplificador .....	47
27.	Amplificador TDA8571J .....	48
28.	Diagrama de bloques del circuito TDA8571J .....	49
29.	Módulo microSD Card Board .....	50
30.	Circuito integrado XR-2206.....	51
31.	Diagrama del microcontrolador PIC18f4520 .....	53
32.	Módulo de conexión para pantalla LCD .....	54
33.	Distribución de pines del DS1809 .....	55
34.	Diagrama de bloques del DS1809 .....	56
35.	Esquemático del bloque de microcontrolador .....	58
36.	Diseño de PCB del módulo de microcontrolador .....	58
37.	Diagrama esquemático del módulo de pantalla .....	60
38.	Diseño PCB del módulo pantalla .....	60
39.	Diagrama esquemático del módulo de acondicionamiento .....	62
40.	PCB del módulo de acondicionamiento .....	62
41.	Diagrama esquemático del módulo de micrófono .....	64
42.	Diagrama esquemático del módulo de generación de tono .....	66
43.	Diseño de PCB del módulo de generación de tono .....	66
44.	Diagrama esquemático del módulo teclado .....	68
45.	PCB del módulo teclado .....	68
46.	Diagrama esquemático del módulo control de volumen .....	70
47.	Diseño en PCB para el módulo control de volumen.....	71
48.	Diagrama esquemático del módulo de conmutación .....	72
49.	PCB del módulo de conmutación.....	73
50.	Diagrama esquemático del módulo de salida .....	74
51.	Diseño del PCB del módulo de salida.....	75
52.	Diagrama de flujo del programa.....	77

53.	Interfaz gráfica del software .....	80
54.	Diagrama de flujo del funcionamiento básico del programa .....	82
55.	Diagrama de flujo para el modo examen.....	84
56.	Diagrama de flujo del modo voz .....	84
57.	Diagrama de flujo del modo prueba .....	85

## TABLAS

I.	Teclas y funciones del teclado del prototipo.....	45
II.	Especificaciones del amplificador TDA8571J.....	48
III.	Pines del circuito integrado XR-2206 .....	52
IV.	Componentes del módulo de microcontrolador .....	57
V.	Componentes del módulo de pantalla .....	59
VI.	Componentes del módulo de acondicionamiento de señal .....	61
VII.	Componente del módulo de micrófono.....	63
VIII.	Componentes del módulo de generación de tono .....	65
IX.	Componentes del módulo teclado .....	67
X.	Componentes del módulo de control de volumen .....	69
XI.	Componentes del módulo de conmutación .....	71
XII.	Componentes del módulo de salida .....	73
XIII.	Comandos más importantes en el programa del controlador .....	86



## LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
<b>dB</b>	Decibelio
<b><math>\rho</math></b>	Densidad
<b>I</b>	Entrada
<b><math>\varphi(\omega)</math></b>	Fase
<b><math>\omega</math></b>	Frecuencia angular
<b>A(s)</b>	Función de transferencia de un amplificador
<b><math>\beta(s)</math></b>	Función de transferencia del lazo de retroalimentación
<b>L(s)</b>	Ganancia de lazo
<b>G</b>	Ganancia de un circuito
<b>A</b>	Ganancia diferencial
<b>Hz</b>	Hercio
<b>k<math>\Omega</math></b>	Kilo ohmio
<b>kHz</b>	Kilohercio
<b>M</b>	Metro
<b><math>\mu</math>F</b>	Microfaradio
<b>B</b>	Módulo volumétrico
<b>nF</b>	Nanofaradio
<b><math>i_n</math></b>	n-ésima corriente en un circuito
<b><math>R_n</math></b>	n-ésima resistencia en un circuito
<b><math>\Omega</math></b>	Ohmio
<b>v</b>	Rapidez
<b>O</b>	Salida

<b>s</b>	Segundo
<b>T<sub>c</sub></b>	Temperatura del medio en grados Celsius
<b>j</b>	Unidad de número imaginario
<b>V<sub>cc</sub></b>	Voltaje de alimentación
<b>V<sub>i</sub></b>	Voltaje de entrada
<b>V<sup>-</sup></b>	Voltaje de la terminal negativa del amplificador operacional
<b>V<sub>1</sub></b>	Voltaje de la terminal inversora del amplificador operacional
<b>V<sub>2</sub></b>	Voltaje de la terminal no inversora del amplificador operacional
<b>V<sup>+</sup></b>	Voltaje de la terminal positiva del amplificador operacional
<b>V<sub>o</sub></b>	Voltaje de salida
<b>V<sub>s</sub></b>	Voltaje de salida

## GLOSARIO

<b>Celsius</b>	Escala de temperatura que toma como grado cero el punto de fusión del agua y el grado cien en el punto de ebullición de la misma.
<b>Circuito</b>	Arreglo de componentes electrónicos que forma una trayectoria cerrada.
<b>Código máquina</b>	Conjunto de instrucciones interpretado directamente por un circuito programable.
<b>Comunicación SPI</b>	Protocolo de comunicación síncrono que utiliza 4 señales para intercomunicar dos o más dispositivos.
<b>Cortocircuito virtual</b>	Condición que se da en un amplificador operacional, en la cual la terminal inversora tiene el mismo potencial que la terminal no inversora, a pesar que no circula corriente entre dichas terminales.
<b>Electroacústico</b>	Transductor que convierte señales acústicas a señales eléctricas, o viceversa.
<b>Filtro</b>	Circuito eléctrico que tiene como objetivo permitir el paso señales que se encuentran dentro de un rango específico de frecuencias.

<b>Ganancia diferencial</b>	Factor por el cual es amplificada la diferencia de voltajes entre los pines inversor y no inversor de un amplificador operacional.
<b>Hertz</b>	Unidad de medida que indica la cantidad de oscilaciones por segundo que sufre un sistema.
<b>Imán</b>	Dispositivo capaz de generar un campo magnético, ya sea por sí solo o mediante una corriente eléctrica.
<b>Interfaz</b>	Medio por el cual, un sistema, es capaz de interactuar con otro, permitiendo comunicación entre ambos.
<b>Memoria flash</b>	Tipo de memoria no volátil que permite la lectura y escritura en múltiples posiciones al mismo tiempo de la misma.
<b>Numeración hexadecimal</b>	Sistema de numeración que utiliza como base el número 16.
<b>Óseo</b>	Perteneciente a los huesos.
<b>Pantalla LCD</b>	Pantalla que utiliza cristal líquido y electricidad para desplegar caracteres.
<b><i>Stand-by</i></b>	Estado en el cual el sistema se encuentra esperando una señal para iniciar su funcionamiento.





## RESUMEN

En este trabajo de graduación se desarrolla el diseño de un audiómetro básico. A través de los cinco capítulos que conforman este trabajo se plantean los aspectos a considerar a la hora de diseñar un audiómetro.

En el capítulo 1 se analiza el funcionamiento del oído humano, se definen los órganos del oído, así como las propiedades del sonido y cómo este es captado por el oído humano. Además, se explica qué es una audiometría, los pasos a seguir, así como la simbología utilizada para presentar los datos obtenidos en una audiometría básica.

El capítulo 2 consiste en la exposición de la teoría detrás del funcionamiento de la circuitería eléctrica a utilizar. Se analiza, de forma general, el funcionamiento de los transductores electroacústicos, pieza clave en este dispositivo. Además, se explica el funcionamiento de un amplificador de señales, ya que se requiere de estos para el funcionamiento del audiómetro. Se introduce al lector el concepto de microcontrolador, así como las funciones que pueden realizarse con este dispositivo. Para finalizar se explican los principios de generación de señales eléctricas.

Los componentes seleccionados para la realización del diseño se enlistan en el capítulo 3. Se describe el prototipo que se desea diseñar, así como los componentes seleccionados para la fabricación del mismo. Se describen los componentes más importantes en el diseño del prototipo, tales como amplificadores, osciladores y circuitos integrados de uso específico.

A lo largo del capítulo 4 se exponen los módulos y circuitería diseñados para el audiómetro. Se presenta el diagrama esquemático de cada módulo, el diseño de PCB de cada uno de estos, así como un costo estimado para cada módulo.

Para finalizar, en el capítulo 5, se presenta la programación necesaria para el control del audiómetro por parte del operario. Se explica la programación realizada tanto para la interfaz del audiómetro con la PC y la interfaz entre el operario y el audiómetro. Se explica, mediante diagramas de flujo, el funcionamiento general de los programas realizados.

# OBJETIVOS

## General

Diseñar un audiómetro básico que podrá ser utilizado en la Unidad de Salud de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

## Específicos

1. Exponer los conocimientos necesarios sobre la audición en los humanos y de cómo evaluarla.
2. Presentar la teoría de los componentes electrónicos utilizados en el prototipo.
3. Enlistar los componentes necesarios para realizar el prototipo.
4. Diseñar los módulos necesarios para construir el audiómetro.
5. Explicar el software diseñado para el microcontrolador y la interfaz del dispositivo con la PC.



## INTRODUCCIÓN

En unidades de salud siempre son llevadas a cabo evaluaciones generales para determinar la condición física de los pacientes que a estas se avocan. En una evaluación general de calidad se llevan a cabo exámenes físicos de todo tipo, tales como exámenes de sangre, de orina, heces, vista, entre otros.

En unidades más especializadas se llevan a cabo exámenes de audición por medio de audiometrías. Mediante una audiometría se determinan las características auditivas de un paciente. Se evalúa la intensidad que debe de tener un sonido a una determinada frecuencia para ser captado por el oído del paciente evaluado. Para realizar este examen se necesita de un equipo especializado llamado audiómetro. Este dispositivo reproduce un grupo de frecuencias a una intensidad deseada por el operador, las cuales escucha el paciente y mediante este método se determina si hay alguna deficiencia en la audición del mismo.

Por lo general, estos dispositivos son de un costo muy elevado, haciéndolos poco accesibles para instituciones con escasos recursos. Debido a esto, se ha decidido realizar el diseño de un sistema de audiometría básico, el cual puede ser utilizado para elaborar un audiómetro económico y que pueda realizar las funciones básicas del mismo. El diseño tiene como objetivo, ser utilizado para desarrollar un audiómetro que supla las necesidades de la Unidad de Salud de la Universidad de San Carlos de Guatemala. La misma atiende actualmente a todos los estudiantes de dicha institución, proporcionando servicios de consulta médica, dental y psicológica.

Como requisito, todos los estudiantes de primer ingreso deben de realizarse una evaluación en esta unidad, con el objetivo de censar el estado de salud de la población estudiantil. Para esto, se realizan diversos exámenes físicos, entre ellos, una audiometría. El equipo de audiometrías de la Unidad de Salud se encuentra defectuoso, por lo cual, se pretende diseñar un instrumento pudiendo ser armado a un bajo costo y que funcione según las necesidades de esta institución, que tantos servicios importantes brinda a la población universitaria.

# **1. LA AUDICIÓN EN LOS HUMANOS**

Los parámetros auditivos básicos son útiles para conocer las características físicas del sonido y cómo es captado por el humano. También, existen instrumentos que pueden ser utilizados para determinar el nivel de audición de una persona. Existen exámenes médicos que determinan los parámetros de la audición humana y presentan los datos con una nomenclatura estándar. En este capítulo se abarcan los parámetros físicos del sonido y la audición humana.

## **1.1. El sonido**

Es la transferencia de energía causada por la vibración de partículas en el medio de transmisión. Las partículas vibran hacia adelante y hacia atrás una distancia muy pequeña, causando que una onda longitudinal se propague en la misma dirección que las partículas vibrantes.

### **1.1.1. Propagación del sonido**

Algunas características del medio afectan la manera en la que se propaga el sonido. Debido a ello, se propaga más rápidamente en medios líquidos y en medios sólidos que en los medios gaseosos. En cuanto mayor sea la compresibilidad del medio tanto menor será la velocidad del sonido en dicho medio.

La rapidez de las ondas de sonido en un medio depende de la compresibilidad y de la densidad del mismo. Si el medio es un líquido o gas y

tiene módulo de volumen  $B$  y densidad  $\rho$ . La rapidez de las ondas de sonido en ese medio está dada por la ecuación 1.1.

$$v = \sqrt{B/\rho} \quad (1.1)$$

La rapidez del sonido también depende de la temperatura del medio. Para el sonido que se mueve en aire, la relación entre la rapidez de onda y la temperatura del medio está dada por la ecuación 1.2.

$$v = (331 \text{ m/s}) \sqrt{1 + \frac{T_c}{273^\circ\text{C}}} \quad (1.2)$$

Donde 331 m/s es la rapidez del sonido del aire a 0 °C y  $T_c$  es la temperatura del aire en grados Celsius. Usando esta ecuación se encuentra que a 20 °C la rapidez del sonido es aproximadamente 343 m/s.

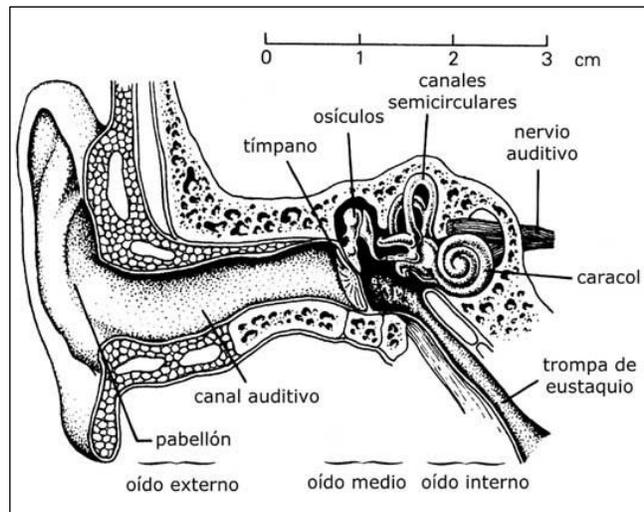
## 1.2. El oído

Consiste en los órganos encargados del equilibrio y la audición. Dentro de la medicina, también es denominado órgano vestíbulooclear.

Es un órgano que se encuentra altamente desarrollado en mamíferos, tales como los felinos o cetáceos. En el caso del ser humano, el oído no está desarrollado de una manera tan compleja.

En conjunto, el estudio histoanatómico del oído se divide en tres partes: oído externo, oído medio y oído interno. En la figura 1, se expone la estructura del órgano auditivo humano.

Figura 1. Oído



Fuente: *Oído*. <http://www.eumus.edu.uy/docentes/maggiolo/acuapu/sap>. Consulta: 20 de septiembre de 2013.

### 1.2.1. Oído externo

Está compuesto por el pabellón de la oreja, el conducto auditivo y la pelvis interiofica.

El pabellón auricular se encuentra en una base cartilaginosa elástica recubierto por piel blanda. Dicha piel contiene múltiples glándulas sebáceas, conocidas como vellosidad del trago. En su parte medial posee en la arquitectura ósea fibras de músculo estriado que se comunican con el conducto auditivo externo, dotando al pabellón de firmeza y apoyo al resto de la cabeza.

El conducto auditivo externo se extiende desde dicho pabellón hacia el tímpano. Dicho canal posee una longitud promedio de 2,5 cm de largo en el ser humano. Está compuesto de cartílago elástico, tejido óseo y piel blanda.

### 1.2.2. Oído medio

Está conformado por: la cavidad timpánica, la membrana timpánica, los osteocillos óticos, senos y celdas mastoideos, así como la tuba faríngea, antes denominada Trompa de Eustaquio. En la figura 2 se presenta un modelo tridimensional de las partes del oído medio.

Figura 2. Representación en 3D del oído medio



Fuente: *Oído medio*. <http://www.gaesivsordera.es/blog/otitis-infeccion-de-oido-medio-comun/>.

Consulta: 10 de marzo de 2015.

### 1.2.3. Oído interno

También conocido como laberinto, es dividido a su vez en laberinto óseo y laberinto membranoso. El óseo contiene los conductillos semicirculares que pertenecen al órgano propio del equilibrio, mientras que la caracola pertenece al

órgano de la audición. El laberinto óseo contiene un líquido linfático llamado perilinfa el cual se encuentra localizado en el espacio perilinfático.

El laberinto membranoso está conformado por el laberinto vestibular y el laberinto coclear. El laberinto vestibular incluye los estatoconios denominados *utrículus* y *saculus*, localizados en los conductillos semicirculares óseos. El laberinto coclear está formado por el conductillo coclearis ubicado en la cóclea ósea.

### **1.3. La audición**

La audición humana es un proceso en el que participan los dos oídos y el cerebro. Como respuesta a cualquier estímulo acústico se produce la sensación de escuchar. Los seres humanos catalogan un sonido según las características del mismo: por lo general, se conocen altura, timbre e intensidad de un sonido. La altura traduce la presencia de las vibraciones, dadas en Hertz. La sonoridad está en función de la intensidad física, dígame la amplitud de las vibraciones.

#### **1.3.1. Proceso de audición**

El oído capta los sonidos de la siguiente manera:

- La oreja capta las ondas sonoras que se transmiten a través del conducto auditivo hasta el tímpano.
- El tímpano es una membrana flexible que vibra cuando le llegan las ondas sonoras.
- Esta vibración llega a la cadena de huesecillos que amplifican el sonido y lo transmite al oído interno a través de la ventana oval.

- Finalmente las vibraciones hacen oscilar los dos líquidos que existen en la cóclea (perilinfia y endolinfia), deformando las células ciliadas existentes en el interior.
- Estas células transforman las ondas sonoras en impulsos eléctricos que llegan al nervio auditivo y de este nervio a la corteza auditiva que es el órgano encargado de interpretar los sonidos.

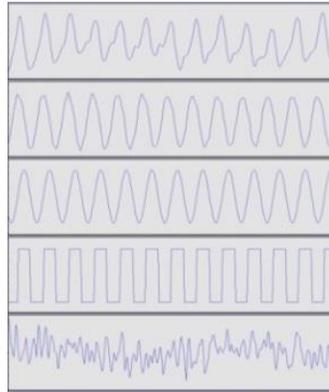
#### **1.4. Magnitudes auditivas**

Son aquellas que caracterizan el tipo de sonido que se está escuchando. A continuación se describen algunas de las magnitudes más importantes que posee un sonido.

##### **1.4.1. Tono o altura del sonido**

Los sonidos simples y algunos sonidos compuestos son capaces de producir la sensación de un tono definido. Considere, por ejemplo, los sonidos de un piano, una flauta, una función sinusoidal, una onda cuadrada y un instrumento de percusión. En la figura 3 se muestra un fragmento de la onda de cada uno de ellos, siguiendo el mismo orden.

Figura 3. **Tonos de diversas fuentes**



Fuente: *Tono o altura del sonido.*

<http://www.disca.upv.es/adomenec/IASPA/tema1/LaAudicion.html>. Consulta: 22 de septiembre de 2013.

En los cuatro primeros sonidos las ondas son periódicas, o casi periódicas, y el periodo es el mismo para todas ellas. El oído percibe en los cuatro casos una misma altura musical, que corresponde a la frecuencia de 440 Hz. La diferencia percibida entre los cuatro sonidos se llama timbre, y está relacionada con la amplitud de las diversas componentes de la serie de Fourier asociada.

### 1.4.2. **Sonoridad**

Es la potencia sonora percibida por un ser humano. Coloquialmente, es conocida como volumen o intensidad. La sonoridad no solo depende de la potencia absoluta del sonido, debido a que el oído no es un sistema lineal; por lo tanto, dos sonidos con la misma potencia pero con distinta frecuencia no serán captados de manera ecuánime por el oído humano.

Para medir la sonoridad se utiliza la unidad “fon”. Un sonido tiene una sonoridad de  $n$  fones si el oyente patrón lo percibe igual de fuerte que un sonido simple de 1 kHz de  $n$  dB de potencia.

Desde 1930, los investigadores han elaborado curvas isofónicas experimentalmente. Estas curvas tienen sus abscisas representando frecuencias y las ordenadas la potencia sonora medible. Esta curva recorre el conjunto de sonidos simples cuya potencia percibida es la misma para el oyente.

Todos los ruidos de la vida corriente están constituidos por una unión de sonidos puros de distintas frecuencias. El sonido es, físicamente, una vibración inducida a los elementos del medio donde se propaga, siendo este un gas, un líquido o un sólido. Esto significa que es una oscilación de partículas materiales alrededor de su posición normal de equilibrio. La sensación auditiva crece como el logaritmo de la excitación media en unidad física. Para objetivar mejor los crecimientos de sensación auditiva en altura e intensidad se han elegido las siguientes unidades:

- La octava para la frecuencia
- El decibel para la intensidad

### **1.5. Octava**

Es el intervalo que separa dos sonidos cuyas frecuencias fundamentales tienen una relación de dos a uno. También se denomina octava al rango de frecuencias entre dos notas que están separadas por una relación 2:1.

El nombre de octava obedece al hecho de que la escala occidental recorre esta distancia después de siete pasos desiguales de tono y semitono. Como los intervalos se cuantifican por una cifra que expresa el número de notas que comprende, incluidas las dos notas de los extremos, este intervalo se denomina octava.

El número de octavas entre dos frecuencias puede calcularse mediante el uso de logaritmos de base 2. Así, por ejemplo, si el rango de frecuencias audibles por el oído humano es de 20 Hz a 20 kHz, el número de octavas que abarca este rango de frecuencias es:

$$O = \log_2 \left( \frac{20\,000}{20} \right) = 9,965 \text{ octavas} \quad (1.3)$$

### 1.5.1. Decibel

El decibel, con símbolo dB, es la unidad relativa empleada en acústica, electricidad, y otras especialidades para expresar la relación entre dos magnitudes: la que se estudia y una magnitud de referencia.

Comúnmente se emplea para relacionar magnitudes acústicas, pero también es frecuente encontrar medidas en decibeles de otras magnitudes, como lumínicas o eléctricas. Se usa por lo general, un valor convenido muy bajo.

El decibelio es una unidad logarítmica, adimensional y matemáticamente escalar. Es la décima parte de un belio, que es el logaritmo de la relación entre la magnitud de interés y la de referencia.

Un belio equivale a 10 decibelios y representa un aumento de potencia de 10 veces sobre la magnitud de referencia. Cero belios es el valor de la magnitud de referencia. Así, dos belios representan un aumento de cien veces en la potencia.

## **1.6. Audiometría**

Se refiere a la medición de la capacidad de cada oído de percibir las vibraciones de diversas bandas del espectro audible. La audiometría electrónica permite estudiar:

- El umbral auditivo, es decir, la intensidad mínima audible para cada frecuencia.
- Ciertos fenómenos fisiopatológicos que se producen en las hipoacusias sensorineurales.
- La comprensión de la palabra, es decir, la capacidad que tiene el oído y la vía auditiva de discriminar un término de otro.

La audiometría es un examen que cifra las pérdidas auditivas y determina la magnitud de estas en relación con las vibraciones acústicas.

### **1.6.1. Audiometría tonal umbral**

La gráfica clínica está adoptada universalmente. En las abscisas están colocadas las frecuencias de 125 Hz a 8000 Hz o bien desde 128 Hz a 8192 Hz por intervalos iguales de octavas. En las ordenadas, en sentido descendientes están ubicadas las pérdidas en decibeles en relación al eje O, el que representa el umbral normal para las vías óseas y aéreas.

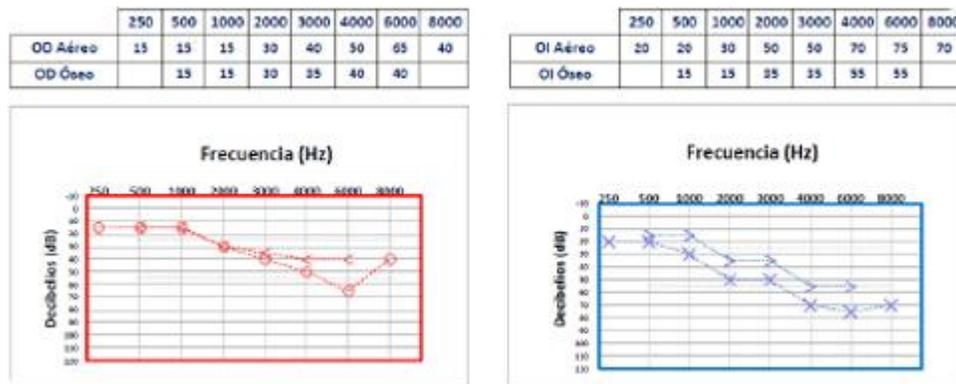
Cada señal está representada en un diagrama por un círculo para el oído derecho y por una cruz para el izquierdo. Así, pueden inscribirse los datos de ambos oídos en el mismo gráfico, el derecho en rojo y el izquierdo en azul.

Luego de analizarse la vía aérea se debe evaluar la vía ósea si es que se obtiene una hipoacusia en la vía aérea. En caso contrario, dicho procedimiento no es necesario.

La investigación del umbral óseo es mucho más delicada de realizar e interpretar, debido a que casi siempre debe eliminarse la audición del oído opuesto a través del enmascaramiento. Sin enmascaramiento se toma, de hecho, el umbral de audición del oído opuesto atravesando el sonido la base del cráneo por conducción ósea transcraneana.

La mayoría de los audiómetros traen ciertos ruidos enmascaradores tales como el ruido blanco, banda estrecha, sierra, entre otras.

Figura 4. **Gráfica de una audiometría**



Fuente: *Gestión de datos audiométricos.*

<http://www.saludintegralsanagustin.com/productos/Auriculares-para-audiometros.jpg>. Consulta:

13 de julio de 2015.

En la figura 4 se exponen los resultados de una audiometría típica de forma gráfica. Se muestran los resultados de una audiometría en donde se realizó un examen por vía aérea y por vía ósea. La gráfica en rojo muestra los resultados del oído derecho. Los resultados en azul muestran los resultados del oído izquierdo. Los resultados de una audiometría suelen presentarse en forma gráfica para una mejor interpretación por parte del operario, el médico y proporcionar una mejor explicación al paciente sobre su condición.

#### **1.6.1.1. Audiometría tonal liminar**

Es una prueba que consiste en determinar la intensidad mínima a la que una persona puede percibir un tono. Se examinan diferentes frecuencias, que van desde los 125 Hz a los 8 kHz.

El resultado obtenido se llama umbral de audición del paciente. Este si hay pérdida de audición o no. El audioprotesista, para realizar el ajuste de los audífonos, se valdrá de este resultado principalmente.

La audiometría tonal liminar se hace por vía aérea o por vía ósea.

- Vía aérea: el sonido es liberado por unos auriculares que están colocados en las orejas. El sonido que se emite hace el siguiente recorrido: conducto auditivo externo, membrana timpánica, caracol.
- Vía ósea: el sonido es liberado por un vibrador que se sitúa encima de un hueso del cráneo, normalmente la mastoides, desde allí llega directamente al caracol.

### **1.6.1.2. Audiometría tonal supraliminar**

Esta técnica se utiliza siempre que se encuentre una hipoacusia sensorineural unilateral o bilateral, y permite así efectuar el diagnóstico diferencial entre una lesión sensorial y una lesión neural.

Ciertamente, la noción de distorsiones de la sensación sonora existe desde hace mucho tiempo, pero es, no obstante, el gran mérito de la audiología moderna haber permitido elaborar pruebas especiales para examinar lo que pasa en el campo auditivo.

Esta audiometría sirve para determinar la intensidad máxima que soporta una persona. El resultado se llama umbral de incomodidad. Se suele situar en torno a los 120 dB. No suelen examinarse tantas frecuencias como en la audiometría tonal liminar.

### **1.6.2. Curva isofónica**

Son curvas de igual sonoridad. Estas curvas contienen información sobre la relación que existe entre la frecuencia y la intensidad (en decibelios) de dos sonidos para que éstos sean percibidos igual de fuertes por el oído, con lo que todos los puntos sobre una misma curva isofónica tienen la misma sonoridad. Un ejemplo de curvas isofónicas puede apreciarse en la figura 5.

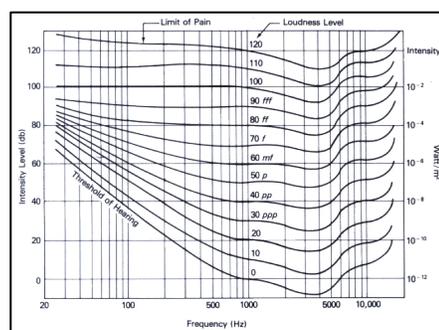
Así, si 0 fon corresponden a una sonoridad con una intensidad de 0 dB con una frecuencia de 1 kHz, también una sonoridad de 0 fon podría corresponder a una sonoridad con una intensidad de 60 dB con una frecuencia de 70 Hz. Las primeras curvas de igual sonoridad fueron establecidas por Fletcher y Munson en 1930.

En estas curvas isofónicas se observa cómo, a medida que aumenta la intensidad sonora, las curvas se hacen cada vez más planas. Esto puede interpretarse como la falta de dependencia de la frecuencia de un sonido y su sonoridad a medida que aumenta la frecuencia; lo que significa que si disminuye la intensidad sonora los últimos sonidos perceptibles en desaparecer serían los sonidos agudos.

Las curvas de Fletcher y Munson fueron recalculadas, más tarde, por Robinson y Dadson.

Las curvas Fletcher y Munson y las curvas de Robinson y Dadson solo son válidas para un campo sonoro directo, dado que no tienen en cuenta que no se perciben por igual los sonidos si provienen de diferentes direcciones. Las curvas isofónicas también son curvas que relacionan cómo escucha el oído lo bien y lo mal en función de la presión y de la frecuencia.

Figura 5. **Curva isofónica**

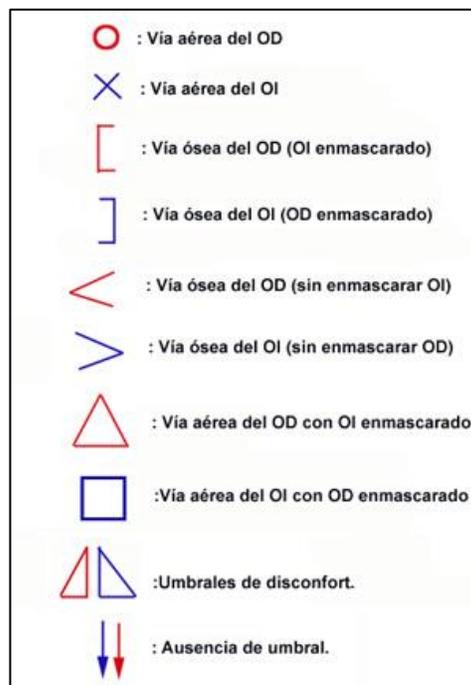


Fuente: *Curvas Isofónicas*. <https://ensmatejonathan.wordpress.com/otros/>. Consulta: 2 de octubre de 2013.

### 1.6.3. Simbología audiométrica

En las gráficas audiométricas médicas se utiliza una simbología especial para así reconocer distintos parámetros y curvas que pueden incluirse en las mismas. En la figura 6 se encuentra la simbología audiométrica básica:

Figura 6. **Símbología Audiométrica**



Fuente: *Signos audiométricos.*

<http://escuela.med.puc.cl/paginas/publicaciones/apuntesotorrino/audiometria.html>. Consulta: 22 de septiembre de 2013.

### 1.6.4. Audiómetro

Un audiómetro, como el que se muestra en la figura 7, es un instrumento que permite realizar audiometrías tonales por vía aérea, ósea y

logaudiometrías con micrófono o grabador. Este se utiliza para realizar pruebas audiométricas completas y específicas. Permite determinar el nivel auditivo de un paciente en cada uno de sus oídos.

Figura 7. **Audiómetro convencional**



Fuente: *Audiómetro*. <http://sao-paulo.all.biz/audiometro-diagnostico-ad-229-g37641#.VUW7ZiHBzGc>. Consulta: 4 de octubre de 2013.

## **2. TEORÍA DE LOS COMPONENTES ELECTRÓNICOS DEL PROTOTIPO**

A continuación se explica la teoría básica de los componentes utilizados para diseñar el audiómetro deseado.

### **2.1. Transductores**

Son dispositivos que convierten una señal de un tipo de energía en otra. Comúnmente, el tipo de energía al que se convierte es de tipo eléctrico debido a su versatilidad en los procesos de medición. La relación matemática entre las variables puede ser cualquiera, pero lo más común es que sea de tipo lineal debido a la simplicidad de su análisis. A esta característica se le debe de agregar:

- Sensibilidad: de qué tamaño es la salida en relación con la entrada.
- Estabilidad: qué tanto se modifica la señal con el cambio de variables ajenas a la entrada.
- Complejidad en su condicionamiento: qué tan complejo es el circuito que debe de utilizarse para manejar la señal del transductor.

#### **2.1.1. Transductor electroacústico**

Es aquel transductor que convierte energía eléctrica en ondas sonoras o viceversa. Estos empezaron a popularizarse con la invención del teléfono. El

micrófono en el teléfono convertía la señal acústica de la voz humana en señales eléctricas y la bocina en el teléfono hacía el proceso inverso.

Hay muchos factores que afectan el diseño de un transductor eléctrico. Por ejemplo, un transductor diseñado para operar en un medio gaseoso como el aire, es muy diferente que uno diseñado para funcionar en un medio líquido, como el agua. A su vez, hay requisitos acústicos como la frecuencia de operación o el patrón e radiación, el cual influenciará el diseño.

Los transductores electroacústicos operan utilizando una variedad de materiales de transducción o de mecanismos para transformar energía eléctrica en sonido o viceversa. Por ejemplo, en los transductores que utilizan el magnetismo, una corriente eléctrica alterna que fluye a través de una bobina produce una variación en la fuerza magnética, causando que la estructura del transductor vibre. De la misma forma, una onda sonora puede hacer vibrar el transductor, el cual mueve la bobina en un campo magnético, generando así la señal eléctrica.

Los transductores pueden también ser diseñados usando materiales magnetostrictivos para transducción. Cuando estos materiales se colocan en un campo magnético, sus dimensiones mecánicas cambian como una función de la fuerza que le aplica el campo magnético. Mediante esta forma se puede generar sonido.

Otros transductores utilizan cristales piezoeléctricos, tales como el cuarzo. Estos desarrollan una carga eléctrica entre dos superficies cuando el cristal es mecánicamente comprimido, y estos se expanden y contraen en tamaño en la presencia de un campo eléctrico aplicado.

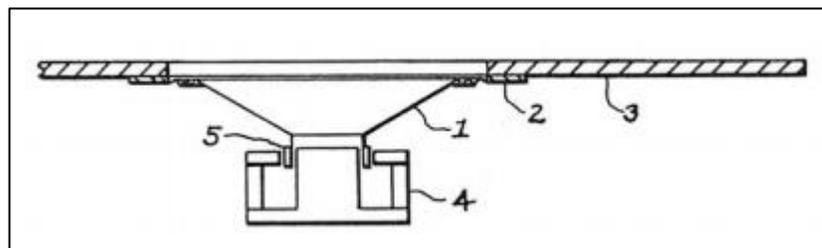
Los materiales de transducción más utilizados son las cerámicas electrostrictivas. Estos materiales cerámicos, tales como el Titanato de Bario, son por lo general conocidas como cerámicas piezoeléctricas y también producen carga eléctrica cuando un esfuerzo mecánico es aplicado, y viceversa. Sin embargo, estos deben de tener un campo de polarización interno establecido para que la transducción ocurra. Son muy populares debido a su bajo costo y su facilidad para ser fabricados.

### 2.1.1.1. Tipos de transductor electroacústico

Existen diversos tipos de transductores electroacústicos, entre ellos los más comunes son:

- Bocinas de bobina móvil: las bocinas más utilizadas en sistemas estéreo son transductores electrodinámicos, los cuales contienen una bobina suspendida en un campo magnético. Cuando una corriente alterna pasa a través de la bobina, las fuerzas mecánicas que se desarrollan entre el campo electromagnético de la bobina y el campo en el que está suspendida hace que estas vibren.

Figura 8. **Bocina de bobina móvil**

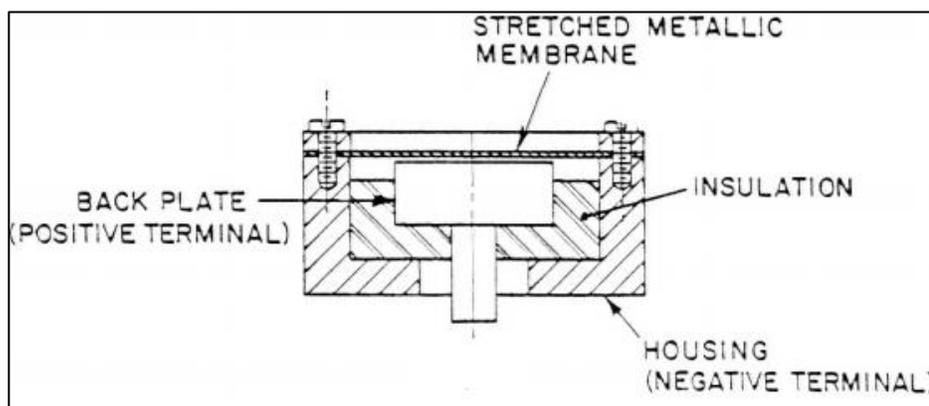


Fuente: MASSA D. *An Overview of Electroacoustic Transducers*. p. 14.

La figura 8 muestra el diagrama de una bocina de bobina móvil. Como puede verse, la bobina de voz (5), es una bobina enrollada alrededor de un tubo cilíndrico. Este está conectado al diafragma de la bocina (1). Este diafragma está montado sobre el encapsulado (3). Esto mantiene a la bobina dentro del campo magnético que es producido por un imán permanente (4), pero aun así, le permite vibrar libremente dentro de este campo.

- **Micrófono de condensador:** produce una variación en su capacitancia en la presencia de una onda acústica. En la imagen 7 se ilustra la construcción de dicho transductor. La delgada y estirada membrana metálica está separada de una placa rígida por una pequeña banda de aire. Cuando una onda sonora vibra en la membrana, causa que la banda de aire cambie su grosor, produciendo una variación eléctrica en la capacitancia entre esta y la placa metálica. La variación en la capacitancia es convertida en una señal eléctrica que es proporcional a la presión de la onda sonora.

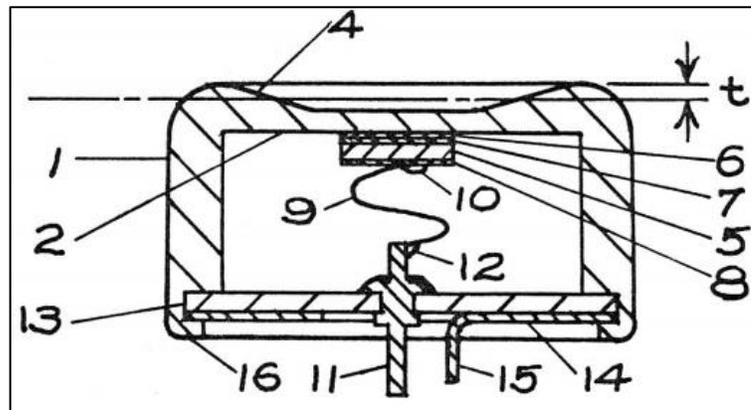
Figura 9. **Micrófono de condensador**



Fuente: MASSA D. *An Overview of Electroacoustic Transducers*. p. 15.

- Transductor de flexión ultrasónica de aire utilizando cerámicas electrostrictivas: los transductores de flexión ultrasónica utilizan la resonancia de un diafragma mecánico para producir el movimiento requerido generando la presión sonora requerida. En la imagen 8 se muestra un corte transversal de un típico transductor de flexión ultrasónica.

Figura 10. **Diseño de un transductor de flexión ultrasónico**



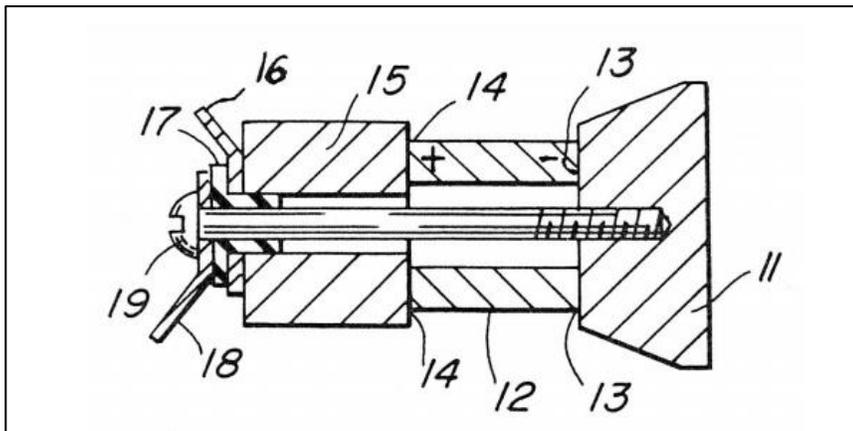
Fuente: MASSA D. *An Overview of Electroacoustic Transducers*. p. 16.

La figura 10 muestra el diseño de un transductor de flexión de aire ultrasónica. La carcasa de aluminio consiste de una cubierta cilíndrica (1), la cual es relativamente gruesa de los lados. También posee un diafragma delgado con forma circular. Esto produce un disco circular rígido en el cual la frecuencia resonante es regulada por su diámetro y rigidez. Un delgado disco cerámico (5), está pegado al diafragma radiante.

- Sonar Tonpilz: un transductor cargado con masa vibrante es comúnmente usado como sonar. Un ejemplo típico es el que se encuentra en la figura

11. En esta figura, el cilindro cerámico (12), está conectado a la masa de la cabeza (11) y de la cola (15). Dependiendo de la longitud del cilindro o del grosor de sus paredes variará la frecuencia de resonancia.

Figura 11. **Sonar Tonpilz**



Fuente: MASSA D. *An Overview of Electroacoustic Transducers*. p. 17.

## 2.2. Amplificación de señales

Un amplificador electrónico puede ser tanto un circuito electrónico o una etapa de este. Su objetivo es aumentar la intensidad de corriente, voltaje o potencia de una señal aplicada en su entrada; teniendo así la señal amplificada a su salida.

El amplificador puede funcionar de manera pasiva, variando la relación entre la corriente y el voltaje mientras se mantiene constante la potencia. También puede funcionar de forma activa, tomando potencia de una fuente de alimentación y aumentando la potencia de la señal a su salida. Habitualmente, manteniendo la forma de la señal, pero amplificándola.

La relación entre la entrada y la salida del amplificador puede expresarse en función de la frecuencia de la señal de entrada, lo cual es conocido como función de transferencia.

### **2.2.1. Tipos de amplificadores**

Un amplificador puede clasificarse por la forma de onda que se encuentra a la salida del mismo. En esta sección se expone la clasificación de un amplificador para el caso de una señal de entrada senoidal.

#### **2.2.1.1. Amplificador clase A y clase B**

La etapa de clase A, cuya forma de onda se muestra en la figura 12(a), está polarizada a una corriente de colector mayor que la amplitud de la corriente de señal. Entonces, el transistor de una etapa clase A conduce durante todo el ciclo de la señal de entrada; es decir, el ángulo de conducción es de  $360^\circ$ . En contraste, la etapa clase B, cuya forma de onda respectiva se muestra en la figura 12(b), está polarizada a cero corriente de CD. Así, un transistor de clase B conduce durante solo la mitad del ciclo de la onda, resultando en un ángulo de conducción de  $180^\circ$ .

#### **2.2.2. Amplificador clase AB**

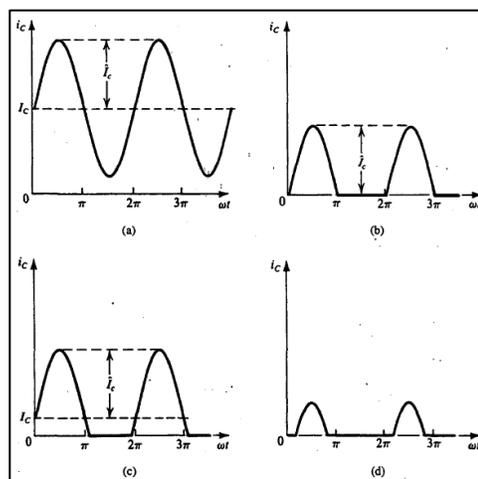
Una clase intermedia entre A y B, denominada clase AB, se logra mediante la polarización de un transistor a una corriente CD diferente de cero. Dicha corriente es mucho más pequeña que la corriente de pico de la señal de onda senoidal. Debido a esto, el transistor conduce durante un intervalo ligeramente mayor de medio ciclo, como se muestra en la figura 12(c). El ángulo de conducción resultante se encuentra entre  $180^\circ$  y  $360^\circ$ . La etapa de

clase AB tiene otro transistor que conduce durante un intervalo ligeramente mayor que el del semiciclo negativo, y las corrientes de los dos transistores se combinan en la carga.

### 2.2.3. Amplificador clase C

En la figura 12(d) se ilustra la onda de corriente de colector para un transistor operado como amplificador de clase C. El transistor conduce durante un intervalo más corto que el de un semiciclo. El resultado es la onda de corriente periódica pulsante que se ilustra. Para obtener un voltaje sinusoidal de salida, esta corriente se pasa por un circuito LC paralelo, sintonizado a la frecuencia de la senoide de entrada. El circuito sintonizado actúa como filtro pasabanda y produce un voltaje de salida proporcional a la amplitud de la componente fundamental de la representación de la serie de Fourier de la onda de corriente.

Figura 12. Salidas de amps. clase A (a), B (b), AB (c) y C (d)



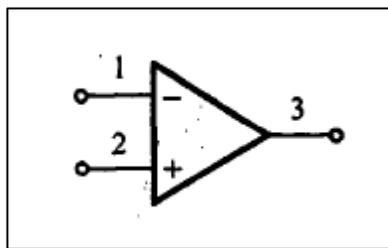
Fuente: SEDRA A., SMITH K., *Circuitos Microelectrónicos*. p. 753.

El componente principal de estos amplificadores, denominado elemento activo, suele ser un transistor o un amplificador operacional.

### 2.3. Amplificador operacional

Es un circuito integrado. Desde un punto de vista de señales, el amplificador operacional consta de tres terminales: dos de entrada y uno de salida. En la figura 13 se muestra el símbolo utilizado para representar al amplificador operacional en un circuito eléctrico. Los terminales 1 y 2 son terminales de entrada, y el terminal 3 es el de salida. Estos amplificadores necesitan energía para operar. La mayoría de estos requieren dos fuentes de alimentación. Dos terminales 4 y 5 salen del encapsulado del amplificador y se conectan a un voltaje positivo  $V^+$  y a un voltaje negativo  $V^-$ , respectivamente. Estos terminales, por lo general, no se representan en el símbolo de un amplificador operacional, por lo tanto, no se muestran en la figura.

Figura 13. Símbolo de un amplificador operacional



Fuente: SEDRA A., SMITH K., *Circuitos Microelectrónicos*. p. 61.

El amplificador operacional está diseñado para captar diferencia entre las señales de voltaje aplicadas en sus dos terminales de entrada, multiplicarla por un número A y hacer que el voltaje resultante de dicho producto se encuentre en la terminal de salida.

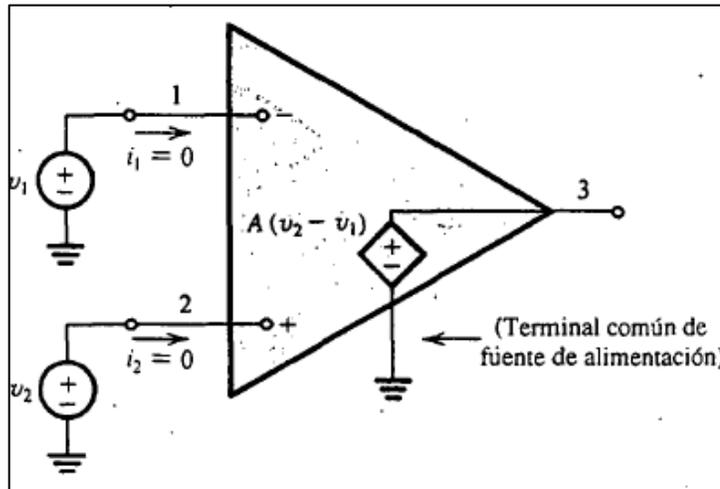
El amplificador operacional ideal no toma ninguna corriente de entrada, es decir, la corriente señal presente en el terminal 1 y la corriente de señal en el terminal 2 son cero ambas. Lo que significa que la impedancia de entrada de un amplificador operacional es infinita.

La terminal de salida actúa como salida de una fuente ideal de voltaje. Es decir, el voltaje entre el terminal 3 y tierra siempre será igual a  $A(v_2 - v_1)$  y se mantendrá constante sin importar la corriente que demande la resistencia de carga. Esto significa que la impedancia de salida de un amplificador operacional ideal es cero.

Al reunir todo lo anterior se llega al modelo de circuito equivalente que se muestra en la figura 14. Nótese que la salida está en fase con  $v_2$  y fuera de fase con  $v_1$ . Por esta razón, el terminal 1 de entrada se llama terminal inversor de entrada, entando que el terminal 2 de entrada se llama terminal no inversora de entrada.

Como puede verse de la descripción anterior, el amplificador operacional responde solo a la diferencia de señal entre sus terminales y por lo tanto hace caso omiso de cualquier señal común a ambas entradas. Esta propiedad recibe el nombre de rechazo en modo común y se concluye que un amplificador operacional ideal tiene rechazo infinito en modo común.

Figura 14. **Circuito equivalente del amplificador operacional**



Fuente: SEDRA A., SMITH K., *Circuitos Microelectrónicos*. p. 63.

Además, la ganancia  $A$  se llama ganancia diferencial debido a que el voltaje de salida depende de la diferencia entre los voltajes de las entradas. También se le conoce como ganancia de circuito abierto. La razón de este nombre se debe a que el amplificador operacional solo tendrá esta ganancia al no tener un lazo de retroalimentación. Esta ganancia  $A$  es infinita idealmente.

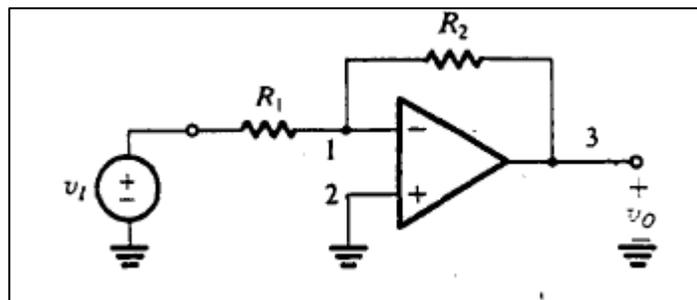
### 2.3.1. **Configuraciones básicas del amplificador operacional**

Utilizando el amplificador operacional como componente activo en un circuito se pueden crear diversos circuitos que cumplen funciones específicas. La función que estos circuitos desempeñan dependerá de los componentes que conformen la red externa del circuito y cómo el amplificador operacional esté conectado a dicha red. A continuación se mencionan algunas configuraciones básicas para un amplificador operacional.

### 2.3.1.1. Amplificador operacional en configuración inversora

Considere el circuito que se ilustra en la imagen 15, el cual está conformado por un amplificador operacional y dos resistencias  $R_1$  y  $R_2$ . El terminal  $R_2$  está conectado del terminal de salida del amplificador operacional, de regreso al terminal de entrada inversora.  $R_2$  genera retroalimentación negativa; si  $R_2$  se conectara entre los terminales 3 y 2, daría retroalimentación positiva. Nótese también que  $R_2$  cierra el circuito alrededor del amplificador operacional. Además de  $R_2$ , se ha conectado a tierra el terminal no inversor y conectado un resistor  $R_1$  entre el terminal inversor y una fuente de señales de entrada con un voltaje  $V_1$ . La salida del circuito total se toma en el terminal 3. El terminal 3 es, por supuesto, un punto conveniente para tomar la salida, ya que el nivel de impedancia ahí es idealmente cero. Así, el voltaje  $V_o$  no dependerá del valor de la corriente que pudiera ser suministrada a la impedancia de carga conectada entre ese punto y tierra.

Figura 15. Configuración inversora del Op Amp



Fuente: SEDRA A., SMITH K., *Circuitos Microelectrónicos*. p. 65.

Para analizar el circuito de la imagen 15 se debe de determinar la ganancia  $G$  a circuito cerrado, la cual está definida mediante la ecuación 2.1.

$$G \equiv \frac{v_o}{v_i} \quad (2.1)$$

Se hará esto suponiendo que el amplificador operacional es ideal. En la figura 14 se muestra el circuito equivalente y el análisis es como sigue: la ganancia  $A$  es muy grande (idealmente infinita). Si se supone que el circuito está trabajando y produciendo un voltaje de salida finito en el terminal 3, entonces el voltaje entre los terminales de entrada del amplificador operacional debe ser despreciable. Específicamente, si al voltaje de salida se le llama  $v_o$ , entonces, por definición, se obtiene la ecuación 2.2.

$$v_2 - v_1 = \frac{v_o}{A} = 0 \quad (2.2)$$

Se concluye que el voltaje en el terminal de inversión de entrada  $v_1$  tiende al valor de  $v_2$ , esto es, debido a que la ganancia  $A$  se aproxima al infinito. Se puede considerar que los dos terminales de entrada se rastrean entre sí en potencial, habiendo así un cortocircuito virtual. Un cortocircuito virtual quiere decir que cualquiera que sea el voltaje presente en 2, aparecerá automáticamente en 1 debido a la ganancia infinita  $A$ . Pero, sucede que el terminal 2 está conectado a tierra, por lo que  $v_2=0$  y  $v_1$  tiende a cero. Se habla del terminal 1 como una tierra virtual, es decir, que tiene voltaje cero pero no está físicamente conectado a tierra.

Ahora mediante este dato se puede utilizar la ley de Ohm para hallar la corriente  $i_1$  que pasa por  $R_1$ . La cual viene dada por la ecuación 2.3.

$$i_1 = \frac{(v_i - v_1)}{R_1} \cong \frac{v_i}{R_1} \quad (2.3)$$

Debido a que esta corriente no entra a través del amplificador operacional debido a que este es ideal, toda la corriente circula por  $R_2$ . Utilizando la ley de Ohm se puede obtener una expresión para la corriente que pasa por  $R_2$ , dada por la ecuación 2.4.

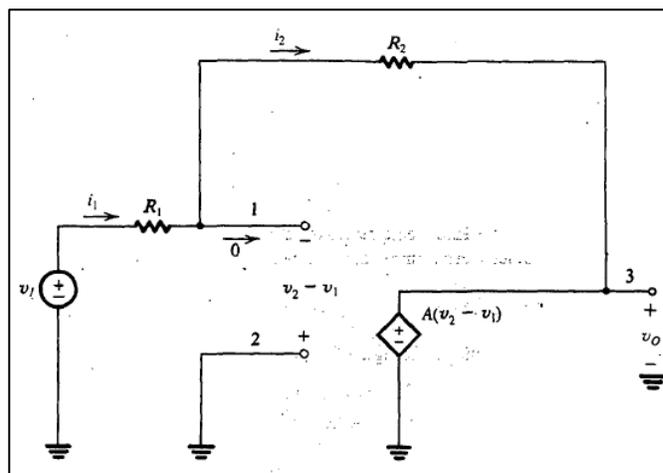
$$v_o = v_1 - i_1 R_2 = -\frac{v_i}{R_1} R_2 \quad (2.4)$$

Entonces, al despejar la ecuación 2.4 se obtiene el término de ganancia para el amplificador en configuración inversora, mostrada en la ecuación 2.5.

$$\frac{v_o}{v_i} = -\frac{R_2}{R_1} \quad (2.5)$$

En la figura 16 se muestra el circuito equivalente a la configuración inversora. Se puede observar que el amplificador operacional no consume corriente alguna, lo cual se expresa por el circuito abierto en la figura.

Figura 16. **Circuito Equivalente de la configuración inversora**

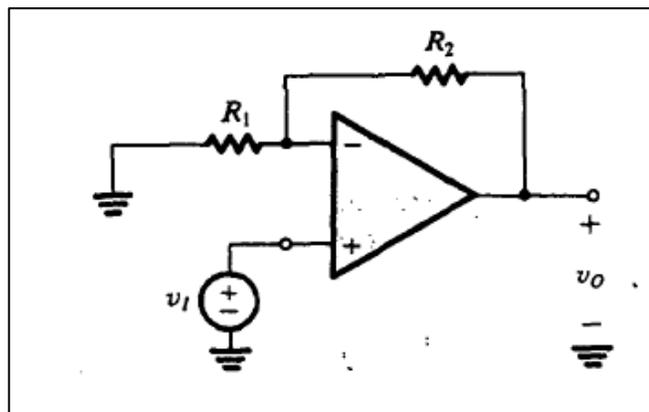


Fuente: SEDRA A., SMITH K., *Circuitos Microelectrónicos*. p. 66.

### 2.3.1.2. Amplificador operacional en configuración no inversora

En la figura 17 se muestra un amplificador operacional en configuración no inversora, la señal de entrada  $v_i$  se aplica directamente al terminal positivo de entrada del amplificador operacional, mientras que una terminal de  $R_1$  se conecta a tierra.

Figura 17. Amplificador operacional en configuración no inversora



Fuente: SEDRA A., SMITH K., *Circuitos Microelectrónicos*. p. 82.

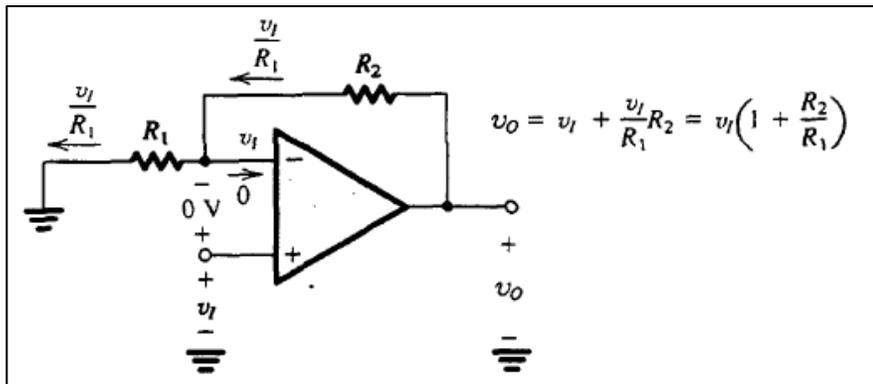
El análisis del circuito no inversor para determinar su ganancia a circuito cerrado se ilustra en la imagen 16. Si se supone que el amplificador operacional es ideal con ganancia infinita, existe un cortocircuito virtual entre sus dos terminales de entrada. De esta forma, el voltaje en el terminal de inversión de entrada será igual al del terminal no inversor de entrada, que es el voltaje aplicado  $v_i$ . La corriente que circula por  $R_1$  puede entonces determinarse como  $v_i/R_1$ . Debido a la infinita impedancia de entrada del amplificador operacional, esta corriente circulará por  $R_2$ . Ahora el voltaje de salida se puede expresar a partir de la ecuación 2.6.

$$v_o = v_i + \left(\frac{v_i}{R_1}\right) R_2 \quad (2.6)$$

Con lo cual, al despejar se obtiene la ganancia expresada en la ecuación 2.7. Este análisis se muestra en la figura 18.

$$\frac{v_o}{v_i} = 1 + \frac{R_2}{R_1} \quad (2.7)$$

Figura 18. **Análisis de la configuración no inversora**

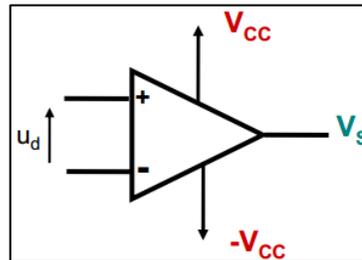


Fuente: SEDRA A., SMITH K., *Circuitos Microelectrónicos*. p. 82.

### 2.3.1.3. Amplificador operacional como comparador

El amplificador operacional puede funcionar como un circuito comparador de voltaje. En la figura 19 se ilustra la configuración del amplificador operacional como comparador.

Figura 19. **Amplificador operacional como comparador**



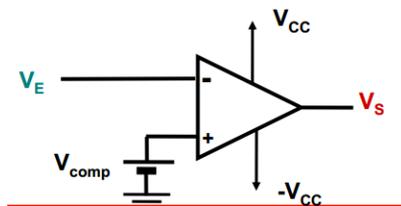
Fuente: ARANDA A., *Amplificadores Operacionales Comparadores*.  
Universidad de Granada. p. 2.

Esta configuración utiliza la diferencia de voltaje entre las terminales del amplificador operacional para dar el voltaje de salida  $V_s$ . El voltaje de salida se determina por la siguiente relación, mostrada en la ecuación 2.8.

$$V_s = \begin{cases} V_{cc} & \text{si } V_2 > V_1 \\ -V_{cc} & \text{si } V_2 < V_1 \end{cases} \quad (2.8)$$

Para realizar una comparación de voltaje, en la práctica suele colocarse un voltaje de referencia en una de las terminales del amplificador operacional. Entonces el voltaje de salida  $V_s$  será el resultado de la comparación del voltaje de entrada y el voltaje que haya sido puesto como referencia, como se muestra en la figura 20.

Figura 20. **Voltaje de referencia para la comparación**



Fuente: ARANDA A., *Amplificadores Operacionales Comparadores*.  
Universidad de Granada. p. 5.

## 2.4. Microcontrolador

Las personas que no se especializan en electrónica suelen suponer que un microcontrolador y un microprocesador son lo mismo. Esto no es verdad. Difieren uno del otro en muchos sentidos. La primera y la más importante diferencia es su funcionalidad. Un microprocesador necesita circuitería externa, tal como bancos de memoria y módulos para funcionar en una aplicación real. Aunque el microprocesador se considera una máquina de computación poderosa, no está preparado para la comunicación con los dispositivos periféricos que se le conectan. Para que el microprocesador se comunique con algún periférico, se deben utilizar los circuitos especiales.



les denominan colectivamente conjunto de instrucciones. Como es más fácil trabajar con el sistema de numeración hexadecimal, el código ejecutable se representa con frecuencia como una serie de los números hexadecimales denominada código HEX. En los microcontroladores PIC con las palabras de programa de 14 bits de anchura, el conjunto de instrucciones tiene 35 instrucciones diferentes.

#### **2.4.1.1. Lenguaje ensamblador**

Como el proceso de escribir un código ejecutable era considerablemente arduo, en consecuencia fue creado el primer lenguaje de programación denominado ensamblador (ASM). Siguiendo la sintaxis básica del ensamblador, era más fácil escribir y comprender el código. Las instrucciones en ensamblador consisten en las abreviaturas con significado y a cada instrucción corresponde una localidad de memoria. Un programa denominado ensamblador compila (traduce) las instrucciones del lenguaje ensamblador a código máquina (código binario).

Este programa compila instrucción a instrucción sin optimización. Permitiendo controlar en detalle todos los procesos puestos en marcha dentro del chip, este lenguaje de programación todavía sigue siendo popular.

#### **2.4.1.2. Ventajas de un lenguaje de alto nivel**

A pesar de todos los lados buenos, el lenguaje ensamblador tiene algunas desventajas:

- Incluso una sola operación en el programa escrito en ensamblador consiste en muchas instrucciones, haciéndolo muy largo y difícil de manejar.

- Cada tipo de microcontrolador tiene su propio conjunto de instrucciones que un programador tiene que conocer para escribir un programa.
- Un programador tiene que conocer el hardware del microcontrolador para escribir un programa.

Cabe mencionar, que todo programa elaborado con un lenguaje de alto nivel, como C, puede realizarse en un lenguaje de bajo nivel, como lo es el lenguaje ensamblador. Un lenguaje de alto nivel utilizará un número reducido de instrucciones para realizar una acción; mientras que un lenguaje de bajo nivel emplea múltiples líneas de instrucciones para realizar la misma acción, como se muestra en la figura 22.

Figura 22. **Programas en C y ASM que realizan las mismas funciones**

<pre>int num_a = 34; int num_b = 14; int result;  void main() {     result = num_a * num_b; }</pre>	<pre>; ADDRESS \$0000 MOV LW    128 GOTO   \$000A \$0005D MC \$001E \$1C03 \$0005D \$000B BTFSS MOV LW  CC \$001F \$0033 \$0CF9 \$0005E \$000C GOTO \$+10 RRF  STACK_9, F BCF ST  BT \$0020 \$0034 \$0CF8 \$0005F \$000D MOVF STAC RRF  STACK_8, F BCF ST  GC \$0021 \$0035 \$1C03 \$00060 \$000E ADDWF   BTFSS STATUS, C MOVWF  CC \$0022 \$0036 \$281C \$00061 \$000F MOVF STAC GOTO \$-26 MOV LW  CC \$0023 \$0037 \$1C7D \$00062 \$0010 BTFSC   BTFSS  STACK_13, 0 MOVWF  IN \$0024 \$0038 \$2844 \$00063 \$0011 INCF SZ  GOTO \$+12 MOV LW  BT \$0025 \$0039 \$09FB \$00064 \$0012 ADDWF   COME STACK_11, F MOVWF  IN \$0026 \$003A \$09FA \$00065 \$0013 BTFSC   COME STACK_10, F MOV LW  IN \$0027 \$003B \$09F9 \$00066 \$0014 INCF STAC COME STACK_9, F MOVWF  BT \$0028 \$003C \$09F8 \$00067 \$0015 BCF STAT COME STACK_8, F RETURN GC \$0029 \$003D \$0AF8 \$00068 \$0016 BTFSS   INCF STACK_9, F \$00069 \$0004 CC \$002A \$003E \$1903 BCF ST  GOTO \$+7 BTFSC  STATUS, Z \$0006A \$0005 CC \$002B \$003F \$0AF9 BCF ST  \$0018 MOVF STAC INCF STACK_9, F \$0006B \$0006 IN \$002C \$0040 \$1903 \$0006C \$0019 ADDWF   BTFSC  STATUS, Z \$0006D \$0004 BT \$002D \$0041 \$0AFA \$0006E \$0005 BTFSC   INCF STACK_10, F \$0006F \$0004 \$002E \$0042 \$1903 \$00070 \$0005 BTFSC   STATUS, Z \$00071 \$0004 \$0043 \$0AFB</pre>
---	---

Fuente: *Lenguajes C y ASM*. <http://www.mikroe.com/chapters/view/80/capitulo-2-programacion-de-los-microcontroladores/>. Consulta: 10 de octubre de 2013.

## **2.5. Generación de ondas**

En el diseño de sistemas electrónicos, con frecuencia, surge la necesidad de señales que tengan formas de ondas estándar prescritas, como senoidales, cuadradas, triangulares, entre otras. Para realizar esta tarea se utilizan dispositivos conocidos como generadores de señales.

### **2.5.1. Principios básicos de la generación de ondas senoidales**

Estas son generadas mediante osciladores lineales. A pesar de su nombre, se tiene que emplear alguna forma de no linealidad para obtener el control de la amplitud de la onda sinusoidal de salida. Esto complica el trabajo de análisis y diseño de osciladores, pero se han perfeccionado técnicas por medio de las cuales se pueden obtener osciladores sinusoidales rápidamente.

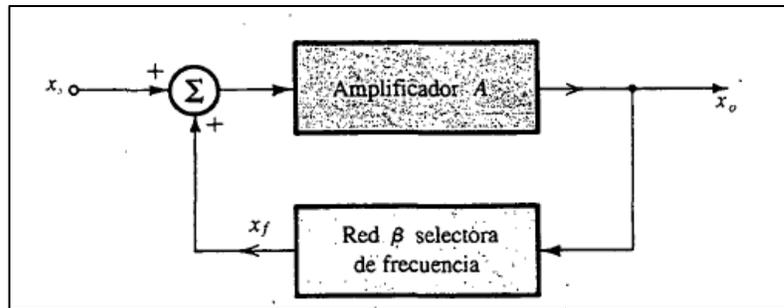
#### **2.5.1.1. El lazo de retroalimentación de un oscilador**

Un oscilador sinusoidal consta básicamente de un amplificador y una red selectiva de frecuencia conectada en un lazo de retroalimentación positiva, como se muestra en forma de diagrama de bloques en la figura 23. Aun cuando en un circuito oscilador real no habrá señal de entrada presente, se incluye una señal de entrada aquí para ayudar a explicar el principio de operación. Es crucial observar que, a diferencia del lazo de retroalimentación negativa, aquí la señal de retroalimentación se suma con un signo positivo. Entonces la ganancia con retroalimentación está dada por la ecuación 2.9.

$$A_f(s) = \frac{A(s)}{1 - A(s)\beta(s)} \quad (2.9)$$

En donde se observa el signo negativo en el denominador.

Figura 23. **Red de retroalimentación positiva**



Fuente: SEDRA A., SMITH K., *Circuitos Microelectrónicos*. p. 975.

La ganancia de lazo del circuito de la figura 21 es  $-A(s)\beta(s)$  pero, por conveniencia, se omite el signo negativo y se define la ganancia de lazo  $L(s)$  como se muestra en la ecuación 2.10.

$$L(s) = A(s)\beta(s) \quad (2.10)$$

La ecuación característica se vuelve:

$$1 - L(s) = 0 \quad (2.11)$$

### 2.5.1.2. **Criterio de oscilación**

Si a una frecuencia específica  $f$ , la ganancia de lazo  $L$  es igual a la unidad, se deduce de la ecuación anterior que  $A_f$  será infinita. Esto significa, que en este punto, se tendrá una salida de voltaje finita con un voltaje de entrada igual a cero. Esto define al circuito como un oscilador. Por lo tanto, la condición para

que el lazo de retroalimentación de la figura 23 produzca oscilaciones sinusoidales de frecuencia  $\omega$  es que

$$L(j\omega) = A(j\omega)\beta(j\omega) = 1 \quad (2.12)$$

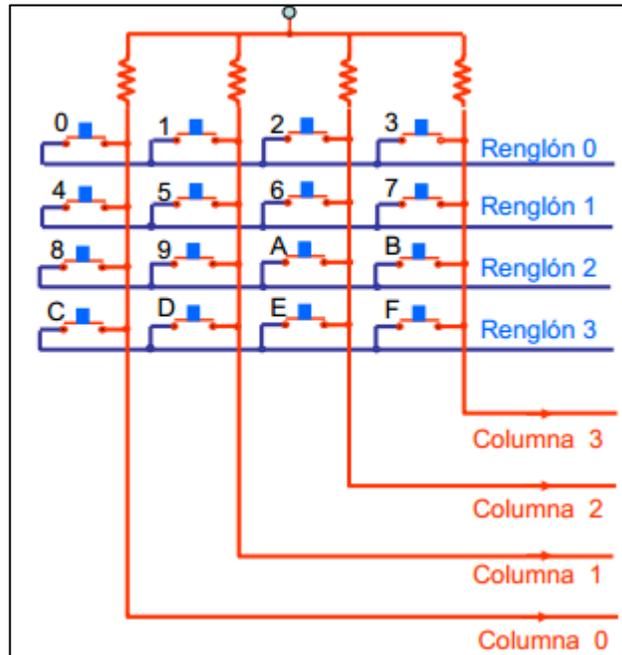
Es decir, a  $\omega$  la fase de la ganancia de lazo debe ser cero y la magnitud de la ganancia de lazo debe ser la unidad. Esto se conoce como criterio de Barkhausen. Nótese que para que el circuito oscile a una frecuencia, el criterio de oscilación debe satisfacer solo a una frecuencia; de otra forma, la onda resultante no será una senoide simple.

Debe observarse que la frecuencia de oscilación  $\omega$  está determinada únicamente por las características de fase del lazo de retroalimentación; el lazo oscila a la frecuencia para la cual la fase es cero. Se deduce que la estabilidad de la frecuencia está determinada por la forma en que la fase  $\varphi(\omega)$  resultará en una frecuencia más estable. Esto se puede ver si se imagina un cambio en fase  $\Delta\varphi$  debido a un cambio en uno de los componentes del circuito. Si  $d\varphi/d\omega$  es muy grande, el cambio resultante en  $\omega$  será pequeño.

## 2.6. Teclado matricial

Es un conjunto de botones dispuestos en forma de malla, de modo que no se requieran de muchas líneas para su interfaz. El esquema básico de un teclado matricial se muestra en la figura 24.

Figura 24. Diagrama esquemático de un teclado matricial



Fuente: CANTO, C., *El teclado matricial*. p. 2.



### **3. COMPONENTES DEL PROTOTIPO**

En este capítulo se exponen los componentes a utilizar en la elaboración del prototipo. Además, se describe el prototipo a diseñar mediante un diagrama de bloques. Se describen los componentes importantes de cada bloque del diseño, así como la función de cada uno de ellos.

#### **3.1. Descripción del prototipo**

El prototipo a realizar es un audiómetro básico. Este audiómetro debe de ser capaz de realizar 4 pruebas audiométricas por vía aérea a la vez. El proyecto debe de poseer la interfaz necesaria tanto para el operario como para el usuario. Además, debe de tener una pantalla por la cual le comunique al operario sobre los parámetros de las señales que se están enviando, así como el estado en el que se encuentra el dispositivo.

Dicho proyecto debe contemplar tres modos de operación. Cada modo de operación es definido por el tipo de señales que es enviado al usuario. Los modos que debe de tener dicho prototipo son:

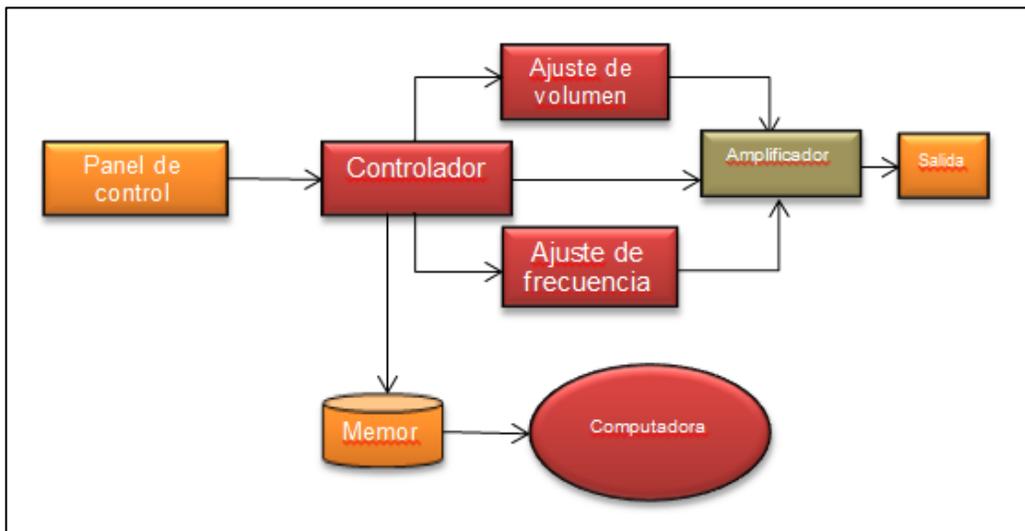
- Modo voz: este modo permite una comunicación de una vía entre el operario del equipo y los usuarios. Mediante el modo voz, el operario puede comunicar a los usuarios las instrucciones necesarias para que la audiometría se lleve a cabo con normalidad.
- Modo prueba: al seleccionar este modo, se inicializa una rutina de prueba. Esta consiste en enviar una serie de tonos a los usuarios para verificar el buen funcionamiento del equipo.

- Modo examen: se envía un tono con frecuencia y potencia escogidas por el operario. Es el modo utilizado para realizar las pruebas de audiometría.

El operario debe de ser capaz de seleccionar uno de los tres modos a la vez mediante una interfaz que le permita la manipulación de las variables del audiómetro. Para esto, el prototipo debe tener una interfaz de teclado con las teclas necesarias para controlar las funciones del prototipo.

El prototipo debe de tener un sistema de almacenamiento de datos para exportarlos a una PC y analizarlos de una manera más completa. El prototipo debe generar un archivo de texto y exportarlo a dicha unidad de almacenamiento. El diagrama de bloques del prototipo se muestra en la figura 25.

Figura 25. **Diagrama de bloques del prototipo**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word®.

### 3.2. Teclado matricial

Para el teclado del prototipo se escogió utilizar un teclado matricial de 4 filas por 4 columnas, dando un total de 16 teclas. Este teclado posee teclas que son de uso específico para el operario y de uso específico para los pacientes. Mediante este teclado, el operario es capaz de controlar el modo de operación y los parámetros básicos del prototipo y, a su vez, los pacientes se comunican con el prototipo para notificar que han recibido una señal enviada desde el mismo. Las teclas y funciones del teclado se explican a continuación en la tabla I.

Tabla I. **Teclas y funciones del teclado del prototipo**

<b>Tecla</b>	<b>Nombre</b>	<b>Función</b>
1	Subir volumen	Incrementa la potencia de la salida en 10 dB.
2	Subir frecuencia	Aumenta la frecuencia a la siguiente programada.
3	Oído derecho	Programa el dispositivo para realizar pruebas en el oído derecho.
4	Paciente A	Este botón debe ser presionado por el paciente A cuando escuche un sonido mientras se realiza una prueba.
5	Bajar volumen	Reduce la potencia de la salida en 10 dB.
6	Bajar frecuencia	Disminuye la frecuencia a la siguiente frecuencia programada.
7	Oído izquierdo	Programa el dispositivos para realizar pruebas en el oído izquierdo.
8	Paciente B	Este botón debe de ser presionado por el paciente B cuando escuche un sonido mientras se realiza una prueba.
9	Modo examen	Alista el prototipo para realizar una prueba audiométrica.
10	Modo voz	Habilita la comunicación entre el operario y los usuarios.
11	Modo prueba	Prepara el prototipo para una prueba de funcionamiento general.

Continuación de la tabla I.

12	Paciente C	Este botón debe de ser presionado por el paciente C cuando escuche un sonido mientras se realiza una prueba.
13	Iniciar prueba	Inicia una secuencia de prueba audiométrica.
14	Activar voz	Inicia la comunicación entre el operario y los usuarios.
15	Guardar datos	Hace que el prototipo escriba los datos recolectados en memoria.
16	Paciente D	Este botón debe de ser presionado por el paciente D cuando escuche un sonido mientras se realiza una prueba.

Fuente: elaboración propia.

Al presionar una tecla de dicho teclado se desplegará en la pantalla del equipo la información requerida para cada opción. Los botones de pacientes solo estarán habilitados mientras se esté llevando a cabo una rutina de prueba.

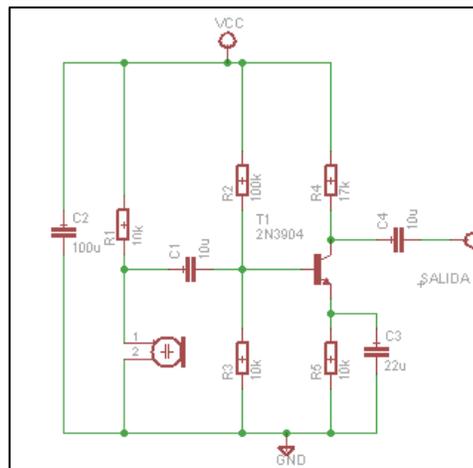
### **3.3. Amplificadores**

Se utilizaron dos circuitos de amplificadores en este proyecto. Se realizó un preamplificador transistorizado para la entrada del micrófono que posee el prototipo. También se realizó un amplificador para la salida de audio del mismo. A este segundo amplificador convergen todas las señales, pero solo habiendo una a la vez en el mismo. El usuario elige, mediante el teclado, qué señal enviar al amplificador de salida, ya sea de voz, un tono durante una audiometría o un sonido para verificar el funcionamiento del equipo.

### 3.3.1. Amplificador para el micrófono

Se optó por un amplificador transistorizado tipo A, con este se amplifica la señal proveniente del micrófono escogido, el cual es un tipo electret, o micrófono de condensador. En la figura 26 se muestra el circuito utilizado para este amplificador.

Figura 26. Circuito del preamplificador



Fuente: elaboración propia, empleando EAGLE CAD.

### 3.3.2. Amplificador de salida

Para el amplificador de salida se utilizó un circuito integrado TDA8571J. Este circuito integrado es un amplificador de audio cuádruple, el cual se muestra en la figura 27. El diagrama de bloques del mismo se muestra en la figura 28. Esto quiere decir que posee cuatro entradas y cuatro salidas independientes. Por motivos de diseño se han unido todas las entradas, ya que solo se tiene un canal de audio, el cual puede ser utilizado por voz, por los tonos de la audiometría o por los tonos de prueba. Las salidas del amplificador

se encuentran conectadas a un circuito de conmutadores CD-4066, los cuales servirán para que la señal sea escuchada en el oído que haya sido seleccionado por el operador del prototipo.

Figura 27. **Amplificador TDA8571J**



Fuente: *TDA8571J*. rcscomponents.kiev.ua. Consulta: 4 de mayo de 2014.

Las especificaciones del circuito integrado TDA8571J se exponen en la tabla II. Se puede observar que este posee bastante potencia, asegurando que se podrán obtener los niveles de volumen deseados para este prototipo.

Tabla II. **Especificaciones del amplificador TDA8571J**

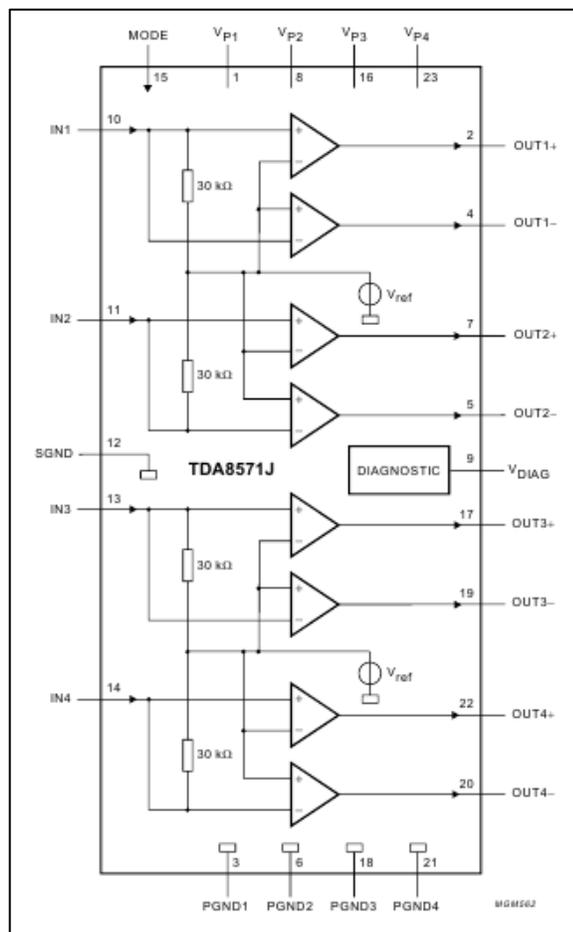
<b>Magnitud</b>	<b>Valor</b>
Voltaje máximo de operación	18 V
Corriente máxima repetitiva	7,5 A
Potencia total disipada	60 W
Potencia máxima de salida	40 W

Fuente: elaboración propia

Este amplificador además, posee tres modos de operación, los cuales son: operación, silencio y *stand-by*.

En el modo de operación, el amplificador opera de una manera normal, amplifica la señal de entrada y a la salida se tiene la señal de audio. Al estar en modo de *stand-by*, el amplificador consume una corriente menor a 100  $\mu\text{A}$ . Cuando se encuentra en modo silencio, las señales de entrada son completamente suprimidas y la salida es completamente nula.

Figura 28. **Diagrama de bloques del circuito TDA8571J**



Fuente: PHILLIPS. *TDA8571J*. p. 3.

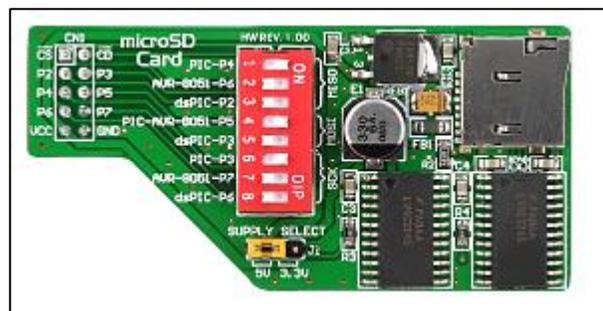
Este circuito integrado tiene la ventaja que no se necesita ninguna circuitería externa para su funcionamiento, solo requiere voltaje de alimentación para funcionar eficientemente. Además, es de alta potencia, gracias a esto, se pueden obtener desde 0 dB hasta 120 dB sin problema alguno.

### 3.4. Almacenamiento de datos

Los datos deben de ser almacenados por el prototipo para luego ser exportados hacia la PC para su análisis e interpretación. Para esto, se optó por utilizar una tarjeta microSD, la cual será usada como dispositivo de almacenamiento. La tarjeta seleccionada para esto se muestra en la figura 29. El microcontrolador creará un archivo de texto con los datos necesarios, los cuales serán guardados en esta tarjeta para luego ser trasladados a la PC.

Para conectar la tarjeta microSD con el resto del prototipo se recurrió al módulo microSD Card Board de la empresa MikroElektronika. Este módulo contiene todo lo necesario para conectar una tarjeta microSD de 2GB o menos a los microcontroladores fabricados por la misma empresa.

Figura 29. **Módulo microSD Card Board**



Fuente: *microSD MMC Module*, <http://www.mikroe.com/add-on-boards/storage/microsd-card/>.

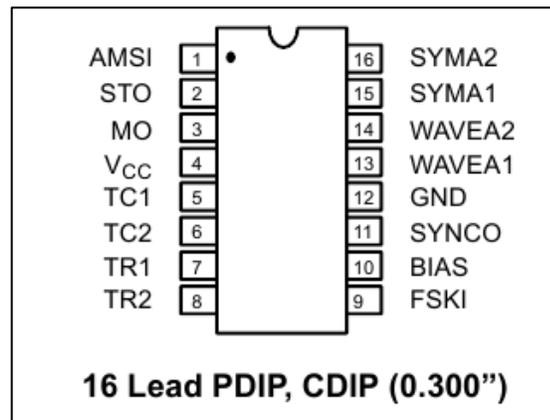
Consulta: 20 de marzo de 2014.

Esta tarjeta se conecta al microcontrolador, el cual es el cerebro del prototipo, por medio de comunicación SPI, haciendo su manejo muy versátil y fácil. Además, solo utiliza tres pines del microcontrolador, y por lo tanto, no consume tanto espacio del mismo, el cual es utilizado para realizar otras tareas dentro del prototipo.

### 3.5. Generación de sonido

Para generar los tonos necesarios para la audiometría, se utilizó un circuito integrado XR-2206, cuya distribución de pines se muestra en la figura 30. Este circuito integrado es un generador de onda senoidal, onda cuadrada y onda triangular. La frecuencia de salida de dicho integrado es controlada por medio de un circuito RC conectado a este.

Figura 30. **Circuito integrado XR-2206**



Fuente: EXAR. XR2206. p. 3.

Este circuito integrado viene en un empaquetado CDIP de 16 pines. Los pines que este posee se explican en la tabla III.

Tabla III. **Pines del circuito integrado XR-2206**

Número	Nombre	Tipo	Acción
1	AMSI	I	Entrada de señal moduladora en AM.
2	STO	O	Salida de onda senoidal o triangular.
3	MO	O	Salida de multiplicador.
4	Vcc		Fuente de voltaje positiva.
5	TC1	I	Entrada de capacitor temporizador.
6	TC2	I	Entrada de capacitor temporizador.
7	TR1	O	Salida 1 para resistencia temporizadora.
8	TR2	O	Salida 2 para resistencia temporizadora.
9	FSKI	I	Entrada para señal codificadora en FSK.
10	BIAS	O	Voltaje interno de referencia.
11	SYNCO	O	Salida de sincronización (colector abierto).
12	GND		Pin de tierra.
13	WAVEA1	I	Entrada 1 para ajuste de forma de onda
14	WAVEA2	I	Entrada 2 para ajuste de forma de onda
15	SYMA1	I	Ajuste 1 para simetría de onda
16	SYMA2	I	Ajuste 2 para simetría de onda

Fuente: EXAR. XR2206. p. 3.

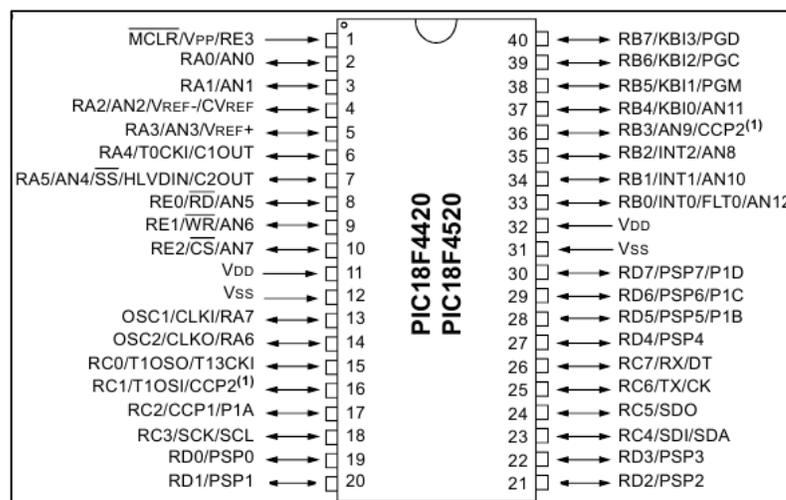
### 3.6. **Microcontrolador**

Es el cerebro del prototipo. Mediante este se reciben las señales del teclado y se realizan las operaciones que el usuario haya seleccionado. Este controla los procesos de conmutación entre los distintos modos del prototipo y los oídos, así como la variación de frecuencia y decibelios de la señal de salida.

También mediante este se escribe la información en la unidad de almacenamiento del prototipo.

Como microcontrolador, se eligió el PIC18f4520, cuyo diagrama de pines se muestra en la figura 31. Esto se hizo debido a que se necesita un PIC de gama alta para realizar las funciones que son necesarias en este prototipo. El PIC18f4520 consta de 40 pines, de los cuales 4 son utilizados para alimentación, lo cual deja 36 pines para realizar diversas funciones con el hardware que este controla.

Figura 31. **Diagrama del microcontrolador PIC18f4520**



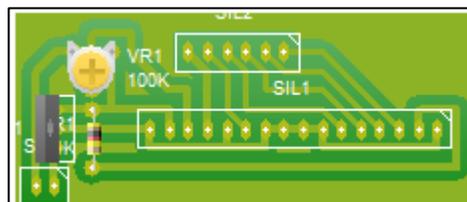
Fuente: MICROCHIP. *PIC18F2420/2550/4420/4520*. p. 5.

Este microcontrolador posee módulos internos, los cuales pueden ser utilizados para facilitar la programación del mismo y evitar la utilización de hardware adicional a la hora de conectarlo con el hardware externo.

### 3.6.1. Interfaz con la pantalla LCD

El microcontrolador despliega la información requerida mediante una pantalla LCD. Esta se conecta al microcontrolador utilizando el puerto B del mismo, el cual consta de ocho pines identificados como RBx, donde x es un número entre 0 y 7. Esta pantalla LCD ocupa seis de estos ocho pines. Para poder conectarla, se realizó un PCB el cual contiene todo lo necesario para conectar la pantalla LCD. El módulo LCD a utilizar se muestra en la figura 32.

Figura 32. **Módulo de conexión para pantalla LCD**



Fuente: elaboración propia, empleando PCB WIZARD.

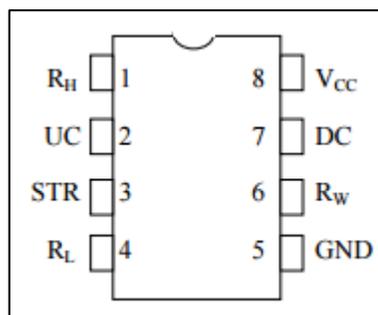
Esta interfaz cuenta con un regulador de voltaje LM7805 para asegurar que el potencial al que estará sometida la pantalla no exceda los 5V. Además, cuenta con un potenciómetro tipo *presét* para regular el contraste de la misma.

### 3.7. Potenciómetro digital

Un potenciómetro es un componente pasivo resistivo el cual varía su resistencia dentro de un rango establecido. Existen diversos tipos de potenciómetros, pero en esta sección, se hará énfasis en el potenciómetro digital; esto debido a que toma un papel importante en el diseño propuesto del prototipo de audiómetro.

Este varía su resistencia de forma discreta dentro del rango establecido por el fabricante. Para hacer que este potenciómetro varía su resistencia, señales eléctricas son enviadas a terminales de control presentes en el mismo. Existen diversas formas de comunicarse con él, dichas formas varían dependiendo del código del circuito integrado que se utiliza como potenciómetro digital. En este diseño, se propone el uso del potenciómetro digital DS1809. En la figura 33 se muestra la apariencia del DS1809 y su distribución de pines.

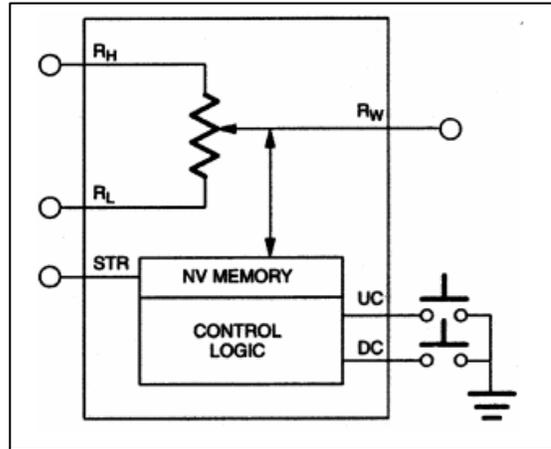
Figura 33. **Distribución de pines del DS1809**



Fuente: MAXIM INTEGRATED™. *DS1809 Datasheet*. p. 1.

El DS1809 es controlado mediante tres pines, CS, U/D e INC. CS activa o desactiva las entradas de señales del integrado dependiendo de su estado. Cuando se encuentra en estado bajo, activa las entradas del integrado; en estado alto, desactiva las entradas del integrado. U/D es el control de subida o bajada, el potenciómetro aumentará o disminuirá su valor al recibir un impulso en la terminal INC dependiendo del estado de U/D. Si se encuentra en estado bajo, el potenciómetro disminuirá su valor, si se encuentra en estado alto, el potenciómetro aumentará su valor. La terminal INC cambia el valor de resistencia del potenciómetro cada vez que se recibe un flanco positivo en esta terminal. En la figura 34 se muestra el diagrama de bloques del DS1809.

Figura 34. Diagrama de bloques del DS1809



Fuente: MAXIM INTEGRATED™. *DS1809 Datasheet*. p. 2.

## 4. DIAGRAMAS Y DISEÑO FINAL DE HARDWARE

Este capítulo contiene los diagramas finales del diseño elaborado, así como los materiales utilizados para la elaboración del mismo perteneciente al prototipo. Para facilitar la explicación del diseño se ha seccionado por módulos. El prototipo consiste en siete módulos: microcontrolador, teclado, conmutación, control de frecuencia, control de volumen, amplificación y almacenamiento. En las secciones subsiguientes de este capítulo se explicará a detalle en qué consiste cada uno de dichos módulos.

### 4.1. Microcontrolador

En este módulo se encuentra el microcontrolador y su sistema de alimentación. La función del mismo es albergar el microcontrolador y proporcionar las conexiones pertinentes para que pueda comunicarse con los demás módulos de manera eficiente y segura. En la tabla IV se enlistan los componentes utilizados en este módulo.

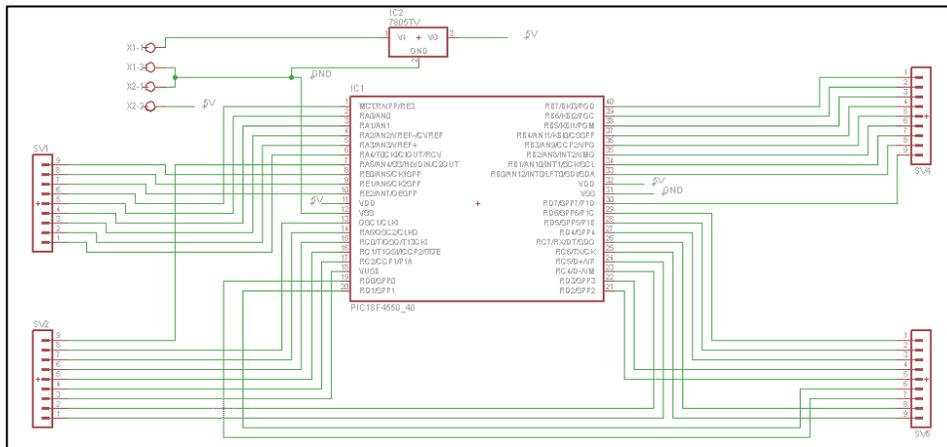
Tabla IV. **Componentes del módulo de microcontrolador**

Componente	Cantidad	Precio unitario	Precio total
PIC 18F4550	1	Q 75,00	Q 75,00
Terminal Block de 2 entradas	2	Q 2,50	Q 5,00
Regulador LM7805	1	Q 5,00	Q 5,00
Fila de 20 pines IDC SIL macho	2	Q 5,00	Q 10,00
Socket ZIF	1	Q 50,00	Q 50,00
		Total	Q 145,00

Fuente: elaboración propia.

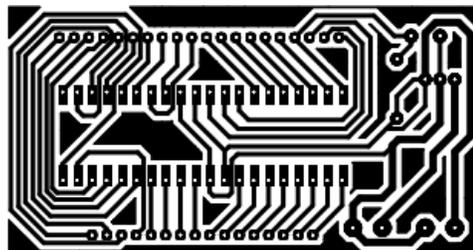
El módulo es alimentado con 12 VDC a través de uno de los *terminal blocks*. Este voltaje pasa a través del integrado LM7805, regulando el voltaje a 5 VDC, para alimentar posteriormente el PIC18F4550. Los pines IDC son utilizados para interconectar los pines del PIC con los demás módulos del sistema. El PIC se coloca en la placa utilizando el socket ZIF. En la figura 35 se muestra el diagrama esquemático del módulo de microcontrolador, y en la figura 36, el diseño de PCB del mismo.

Figura 35. Esquemático del bloque de microcontrolador



Fuente: elaboración propia, empleando EAGLE CAD.

Figura 36. Diseño de PCB del módulo de microcontrolador



Fuente: elaboración propia, empleando ULTIBOARD.

## 4.2. Pantalla

El módulo de pantalla es utilizado para interconectar una pantalla LCD al sistema. Este posee todos los componentes y conexiones necesarias para que la pantalla pueda ser conectada al módulo de microcontrolador. El módulo consiste de un regulador LM7805, un potenciómetro de precisión, una resistencia de 330  $\Omega$ , conectores SIL macho para la conexión entre este módulo y el de microcontrolador. Además, posee conectores SIL hembra para conectar la pantalla LCD. En la tabla V se enlistan los materiales utilizados en este módulo.

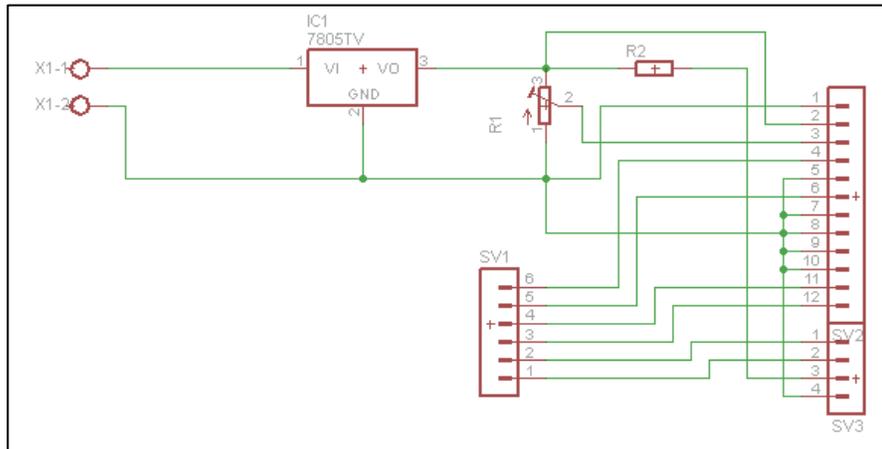
Tabla V. **Componentes del módulo de pantalla**

Componente	Cantidad	Precio unitario	Precio total
LM7805	1	Q 5,00	Q 5,00
Potenciómetro de precisión, 10 k $\Omega$	1	Q 4,50	Q 4,50
Fila de 20 pines IDC SIL hembra	1	Q 5,00	Q 5,00
Fila de 20 pines IDC SIL macho	1	Q 5,00	Q 5,00
Resistencia de 330 $\Omega$	1	Q 0,60	Q 0,60
		Total	Q 20,10

Fuente: elaboración propia.

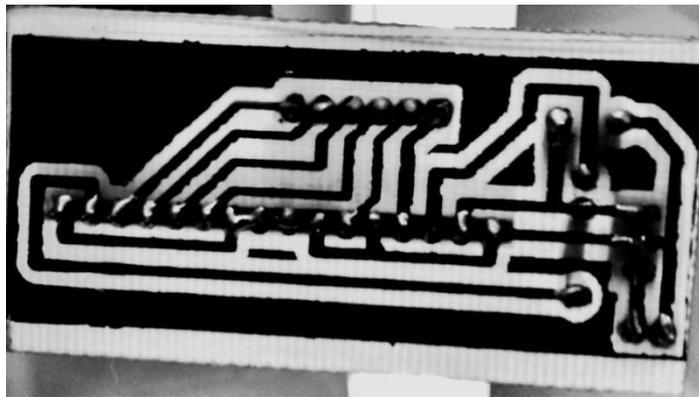
El regulador es utilizado para entregar 5 VDC a la pantalla LCD. Los pines SIL macho son utilizados para proveer alimentación 12 VDC al módulo. La resistencia es utilizada para el led de la pantalla, y el potenciómetro para regular el contraste de la misma. En las figuras 37 y 38 se muestran el diagrama esquemático y el diseño PCB del módulo pantalla respectivamente.

Figura 37. Diagrama esquemático del módulo de pantalla



Fuente: elaboración propia, empleando EAGLE CAD.

Figura 38. Diseño PCB del módulo pantalla



Fuente: Laboratorio de Circuitos Eléctricos I.

### 4.3. Acondicionamiento de señal

Debido a que algunos circuitos integrados solo funcionan con voltajes entre 0V y 5V, se deben de acondicionar las señales a utilizar en el prototipo

para así evitar daños en el mismo. Para esto, el bloque de acondicionamiento de señal se encarga de recibir las señales de audio provenientes del generador de frecuencias y del micrófono, para así proporcionar a la salida del módulo, señales que se encuentren entre el rango de operación de los circuitos integrados más delicados del sistema. Los materiales necesarios para este módulo se encuentran enlistados en la tabla VI.

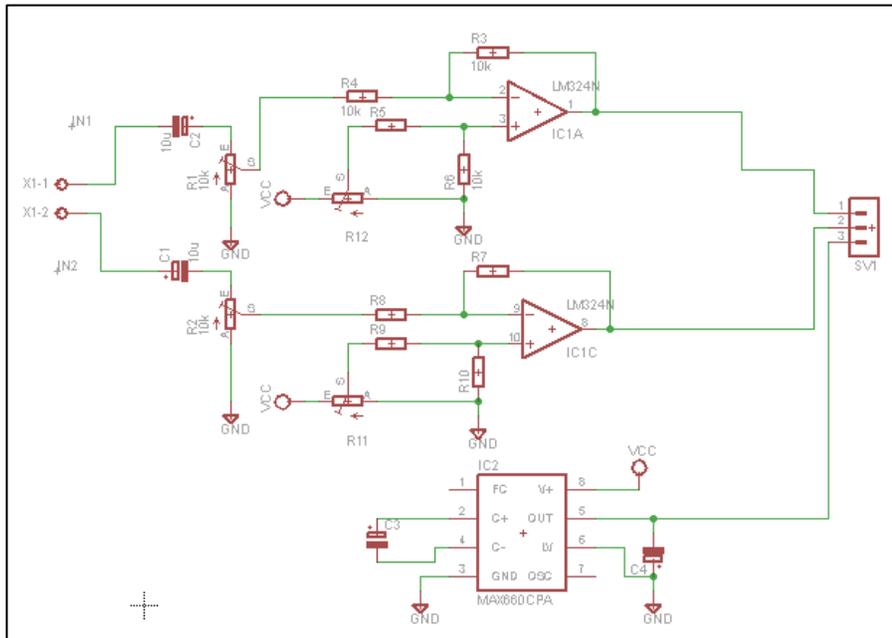
Tabla VI. **Componentes del módulo de acondicionamiento de señal**

Componente	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Amplificador Operacional LM324	1	Q 4,00	Q 4,00
CI MAX660	1	Q 75,00	Q 75,00
Potenciómetro de precisión, 10k $\Omega$	4	Q 5,00	Q 20,00
Fila de 20 pines IDC SIL	1	Q 5,00	Q 5,00
Resistencia de 10k $\Omega$	8	Q 0,60	Q 4,80
Capacitor de 10 $\mu$ F	4	Q 1,50	Q 6,00
		Costo total	Q 114,80

Fuente: elaboración propia.

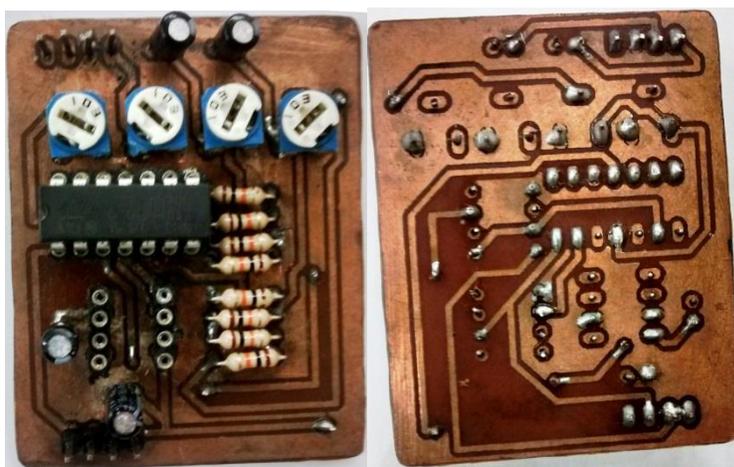
Las señales a tratar ingresan pasando por sus respectivos capacitores de *bypass* para así eliminar la componente directa de la señal. A continuación, cada una pasa a través de un potenciómetro para reducir el tamaño de la señal. Después de ello, cada potenciómetro se conecta a través de su derivación a un amplificador operacional configurado como restador. A las señales, se les suma una componente DC, la cual es regulada por un potenciómetro para cada amplificador operacional. La salida de cada amplificador operacional es tomada como salida de este módulo. En la figura 39 se muestra el diagrama esquemático de este módulo, así como en la figura 40, se muestra el PCB de dicho módulo.

Figura 39. **Diagrama esquemático del módulo de acondicionamiento**



Fuente: elaboración propia, empleando EAGLE CAD.

Figura 40. **PCB del módulo de acondicionamiento**



Fuente: Laboratorio de Circuitos Eléctricos I.

#### 4.4. Micrófono

El operario del equipo debe ser capaz de comunicarse con los pacientes en el momento que sea requerido. El módulo de micrófono, es el encargado de captar la voz del operario y convertirla en señales eléctricas. Este módulo consta de un preamplificador para adecuar la señal proveniente de un micrófono tipo electret a una señal de voltaje que pueda ser utilizada en el prototipo. En la tabla VII se enlistan los componentes que conforman este módulo.

Tabla VII. **Componente del módulo de micrófono**

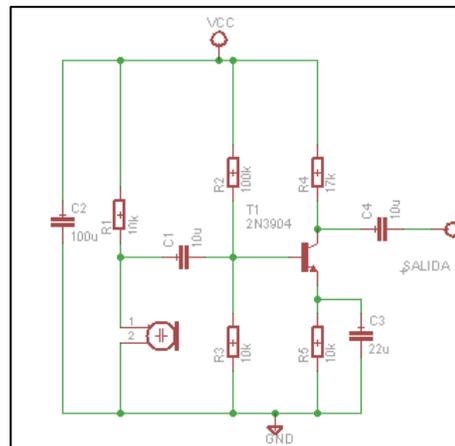
Componente	Cantidad	Precio unitario	Precio final
Transistor 2N3904	1	Q 1,75	Q 1,75
Micrófono electret	1	Q 6,00	Q 6,00
Fila de 20 pines IDC SIL	1	Q 5,00	Q 5,00
Capacitor de 22 $\mu$ F	1	Q 1,50	Q 1,50
Capacitor de 10 0 $\mu$ F	1	Q 1,50	Q 1,50
Capacitor de 10 $\mu$ F	1	Q 1,50	Q 1,50
Resistencia de 100 k $\Omega$	1	Q 0,60	Q 0,60
Resistencia de 10 k $\Omega$	3	Q 0,60	Q 1,80
Resistencia de 17 k $\Omega$	1	Q 0,60	Q 0,60
		Total	Q 20,25

Fuente: elaboración propia.

Al hablar cerca del micrófono, genera pequeñas variaciones de potencial, las cuales son sentidas por la base del transistor. La parte DC de la señal es bloqueada por el capacitor C1. Esta señal es amplificada por el amplificador clase A, el cual da a su salida una señal de voltaje alterno con un máximo de  $\pm 4.5$  V aproximadamente. La amplitud de esta señal dependerá de la amplitud de las variaciones del micrófono, las cuales, a su vez, dependen de qué tan

fuerte hable el operario del prototipo. En la figura 41 se muestra el diagrama esquemático del módulo micrófono.

Figura 41. **Diagrama esquemático del módulo de micrófono**



Fuente: elaboración propia, empleando EAGLE CAD.

#### 4.5. **Generación de tono**

Es de los puntos más importantes de un audiómetro. Se debe de tener especial cuidado en este módulo y en los componentes que lo conforman. Para realizar las pruebas de audiometría se deben de generar tonos de una frecuencia definida. Para esto se diseñó el módulo de generación de tono. Este módulo tiene como componente principal el circuito integrado XR2206, el cual es un generador de tono explicado en la sección 3,5. Además de este dispositivo, para el control de frecuencia, se utiliza el potenciómetro digital DS1809 en este módulo. En la tabla VIII se presenta un listado detallado de los materiales utilizados en este módulo.

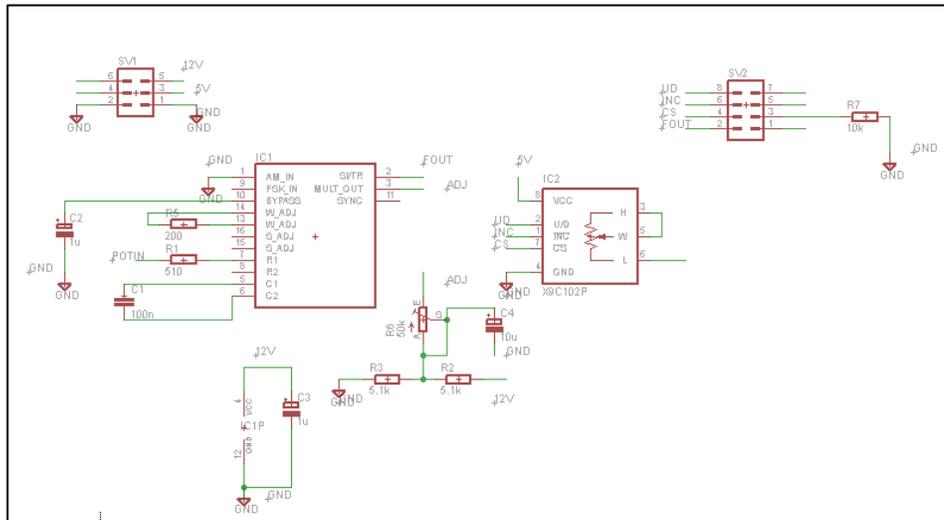
Tabla VIII. **Componentes del módulo de generación de tono**

Componente	Cantidad	Precio unitario	Precio total
CI XR2006	1	Q 50,00	Q 50,00
Potenciómetro digital DS1809-100	1	Q 100,00	Q 100,00
Potenciómetro de precisión de 50 k $\Omega$	1	Q 4,50	Q 4,50
Capacitor de 1 $\mu$ F	2	Q 1,50	Q 3,00
Capacitor de 10 $\mu$ F	1	Q 1,50	Q 1,50
Capacitor de 10 nF	1	Q 1,00	Q 1,00
Resistencia de 5.1 k $\Omega$	2	Q 0,60	Q 1,20
Resistencia de 200 $\Omega$	1	Q 0,60	Q 0,60
Resistencia de 510 $\Omega$	1	Q 0,60	Q 0,60
Resistencia de 10 k $\Omega$	1	Q 0,60	Q 0,60
Bloque de 20 conectores DIL tipo IDC	1	Q 6,00	Q 6,00
		Total	Q 169,00

Fuente: elaboración propia.

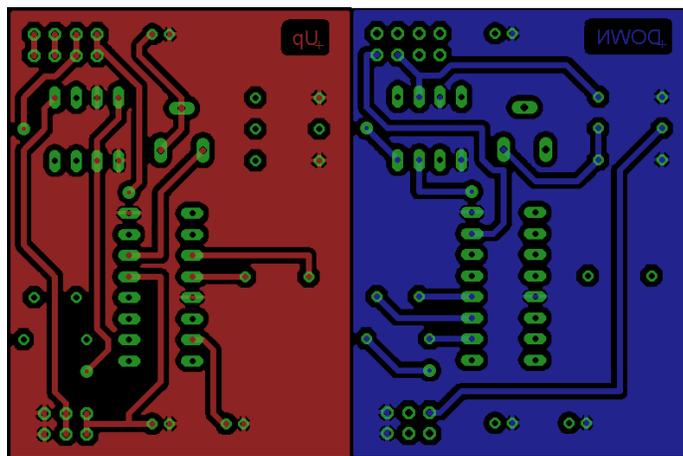
Este módulo utiliza el XR-2206 como componente principal para la generación de frecuencia. Para la variación de la frecuencia de la señal producida por dicho integrado se utiliza el potenciómetro digital DS1809-100, que puede alcanzar valores de resistencia hasta de 100 k $\Omega$ . Para variar la resistencia del mismo, el módulo recibe señales provenientes del módulo de microcontrolador. Estas señales controlan el valor de resistencia del potenciómetro digital. La demás circuitería en este módulo es circuitería auxiliar que permite que el XR-2206 funcione correctamente. En la figura 42 se muestra el diagrama esquemático del módulo de generación de tono, y en la figura 43 el diseño de PCB del mismo.

Figura 42. Diagrama esquemático del módulo de generación de tono



Fuente: elaboración propia, empleando EAGLE CAD.

Figura 43. Diseño de PCB del módulo de generación de tono



Fuente: elaboración propia, empleando EAGLE CAD.

#### 4.6. Teclado

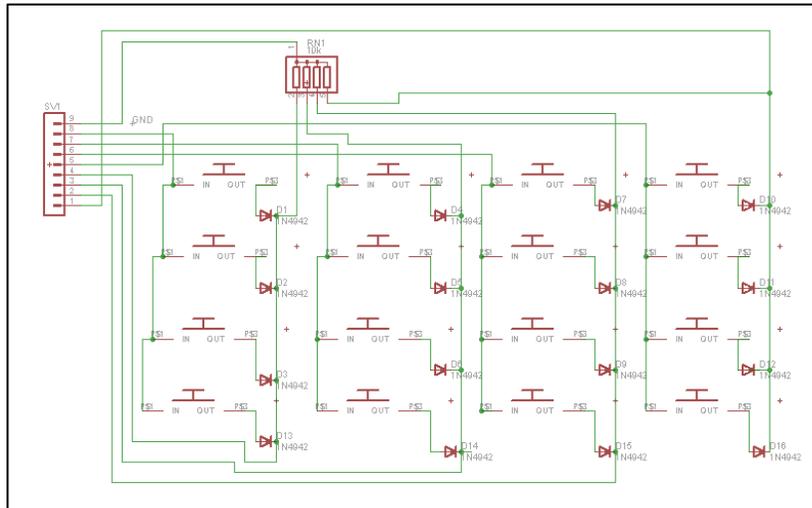
El módulo de teclado es el que se encarga de comunicar al usuario con el audiómetro. El principio de funcionamiento de un teclado matricial es explicado en la sección 2,6. Mediante este, el usuario dicta las instrucciones que el microcontrolador debe seguir, y así controlar el funcionamiento del audiómetro. En la figura 44 se muestra el diagrama esquemático del bloque de teclado, y en la figura 45 el PCB del bloque de teclado diseñado para este prototipo. Además, los materiales utilizados para la fabricación de este módulo se encuentran en la tabla IX.

Tabla IX. **Componentes del módulo teclado**

Componente	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Pulsadores normalmente abiertos	16	Q 2,00	Q 32,00
Resistencia de 10 k $\Omega$	4	Q 0,60	Q 2,40
Diodo 1N4001	16	Q 1,00	Q 16,00
Fila de 20 conectores SIL tipo IDC	1	Q 5,00	Q 5,00
		Total	Q 71,40

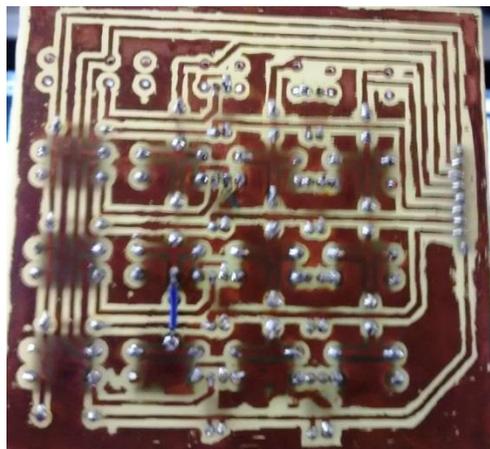
Fuente: elaboración propia.

Figura 44. **Diagrama esquemático del módulo teclado**



Fuente: elaboración propia, empleando EAGLE CAD.

Figura 45. **PCB del módulo teclado**



Fuente: Laboratorio de Circuitos Eléctricos I.

#### 4.7. Control de volumen

Es el módulo encargado de controlar el volumen de la señal de salida del sistema. Para esto, el módulo incluye un potenciómetro digital DS1809 de 10 k $\Omega$ , el cual recibe señales provenientes del módulo de microcontrolador para aumentar o disminuir el volumen de la señal de salida. Para realizar esto de forma correcta, el potenciómetro requiere de circuitería adicional, la cual se encuentra dentro de este módulo. En la tabla X se enlistan los materiales utilizados para la realización de dicho módulo, así como el costo de la realización del mismo.

Tabla X. **Componentes del módulo de control de volumen**

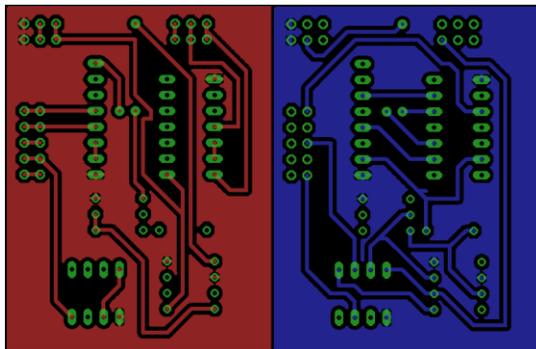
Componente	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Potenciómetro digital DS1809-10	1	Q 100,00	Q 100,00
Amplificador operacional TL082	1	Q 5,00	Q 5,00
Paquete de resistencias SIL de 10 k $\Omega$	1	Q 6,00	Q 6,00
Resistencia de 10 k $\Omega$	2	Q 0,60	Q 1,20
Resistencia de 5,1 k $\Omega$	1	Q 0,60	Q 0,60
CI CD406	1	Q 5,00	Q 5,00
Bloque de 20 pines IDC DIL macho	2	Q 6,00	Q 12,00
		Total	Q 129,80

Fuente: elaboración propia.

El módulo consiste en un conmutador CD4066, el cual utiliza 2 de sus cuatro canales para comunicar las señales provenientes del módulo de acondicionamiento de señal. Una de estas dos señales será introducida a un amplificador operacional en configuración inversora, el cual preparará la señal para ser regulada en amplitud en un segundo amplificador operacional en configuración inversora. En el segundo amplificador operacional se encuentra el



Figura 47. **Diseño en PCB para el módulo control de volumen**



Fuente: elaboración propia, empleando EAGLE CAD.

#### 4.8. **Conmutación**

El prototipo debe de ser capaz de atender a cuatro pacientes a la vez. Debido a esto, deben enviarse los sonidos pertinentes de manera ordenada a los pacientes para así recabar datos de una manera más sencilla. Para esta tarea, se diseñó el módulo de conmutación. Este se encarga de recibir la señal saliente del módulo de control de volumen, y la reparte en ocho posibles canales, dos por paciente. En la tabla XI se enlistan los materiales necesarios para este módulo.

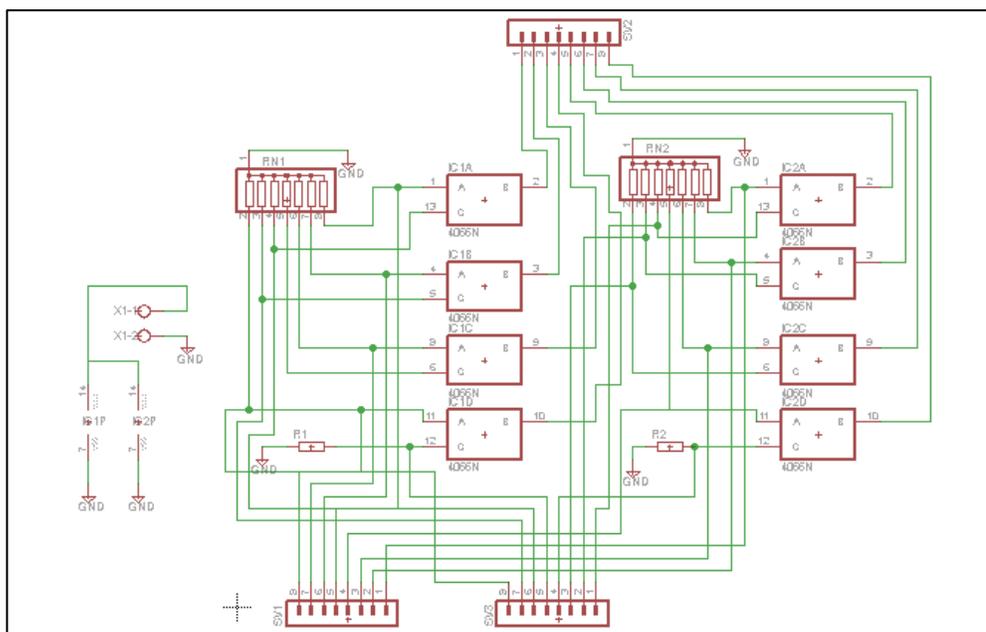
Tabla XI. **Componentes del módulo de conmutación**

Componente	Cantidad	Precio unitario	Precio total
CI CD4066	2	Q 6,00	Q 12,00
Paquete de resistencias SIL de 10 k $\Omega$	2	Q 6,00	Q 12,00
Resistencia de 10 k $\Omega$	2	Q 0,60	Q 1,20
Fila de 20 pines SIL tipo IDC	2	Q 5,00	Q 10,00
		Total	Q 35,20

Fuente: elaboración propia.

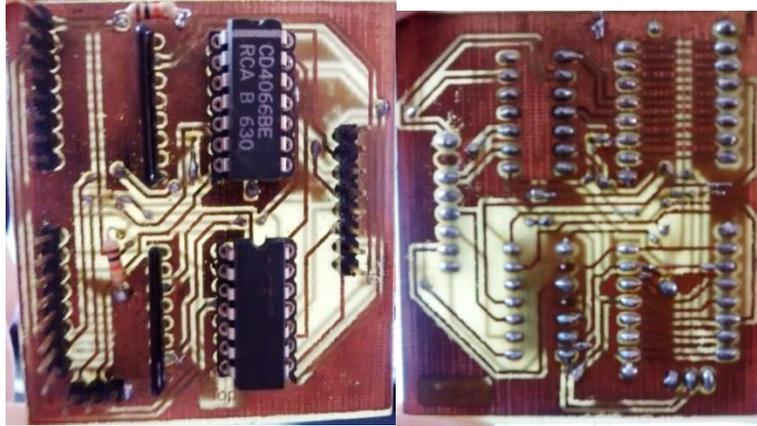
Las señales provenientes del módulo de control de volumen ingresan a este módulo y pasan a través de los CD4066, mediante los cuales se envía la señal entrante a uno de los auriculares de los pacientes luego de pasar por el módulo de salida. Para esto, el módulo recibe señales provenientes del módulo de microcontrolador, seleccionando el canal a abrir. La salida de este módulo va directo al módulo de salida. En la figura 48 se muestra el diagrama esquemático de este módulo, y su PCB se muestra en la figura 49.

Figura 48. **Diagrama esquemático del módulo de conmutación**



Fuente: elaboración propia, empleando EAGLE CAD.

Figura 49. **PCB del módulo de conmutación**



Fuente: Laboratorio de Circuitos Eléctricos I.

#### 4.9. **Salida**

El módulo final del prototipo es el módulo de salida. Este consiste de amplificadores de audio, los cuales son los encargados de amplificar la señal proveniente del módulo de conmutación y enviarla a los auriculares de los pacientes. En la tabla XII se muestran los materiales necesarios para ensamblar el módulo de salida.

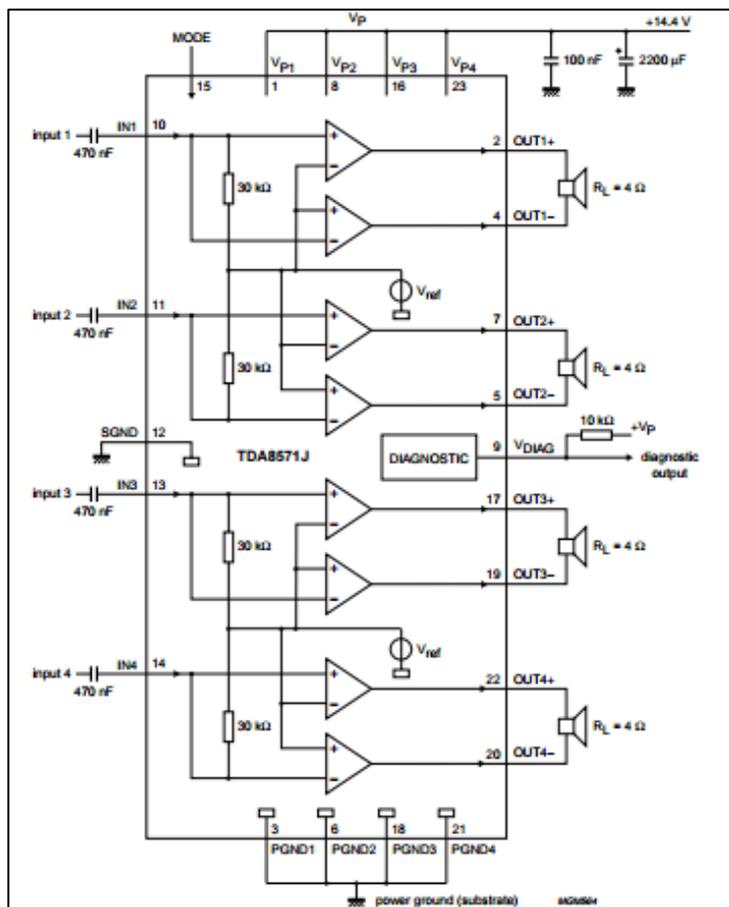
Tabla XII. **Componentes del módulo de salida**

Componente	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Amplificador TDA8571J	2	Q 75,00	Q 150,00
Capacitor de 470 nF	8	Q 1,00	Q 8,00
Capacitor de 2200 $\mu$ F	1	Q 1,50	Q 1,50
Terminal block de 2 terminales	14	Q 2,50	Q 35,00
		Total	Q 194,50

Fuente: elaboración propia.

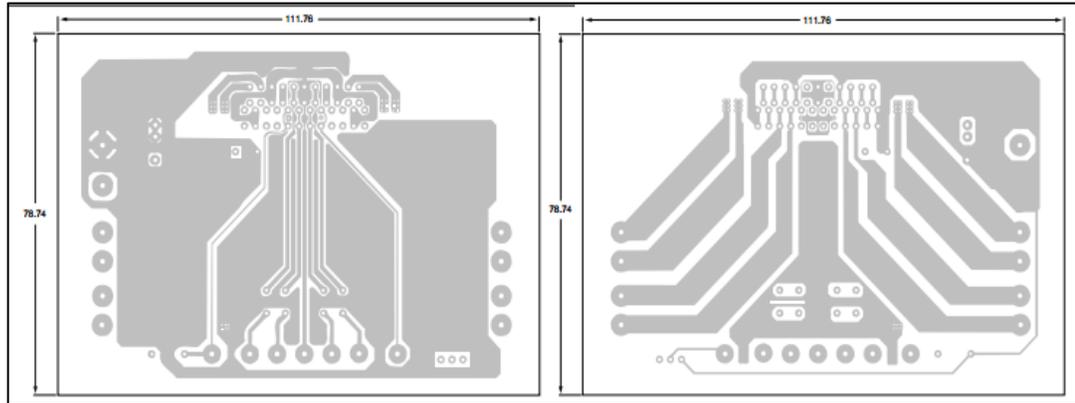
Las señales ingresan al módulo, pasan a través de los capacitores, los cuales quitan el componente DC de la señal, para ingresar a continuación a los auriculares que se conectan a través de los *terminal block* de la placa. En la figura 50 se muestra el diagrama esquemático del circuito, y en la figura 51 el diseño del PCB recomendado por el fabricante.

Figura 50. Diagrama esquemático del módulo de salida



Fuente: PHILLIPS. *TDA8571J*. p. 3.

Figura 51. **Diseño del PCB del módulo de salida**



Fuente: PHILLIPS. *TDA8571J*. p. 14.

#### 4.10. **Módulo de almacenamiento de datos**

Para el almacenamiento de datos, se utilizó el módulo prefabricado que se explica en la sección 3.4. Este es fabricado por Mikroelektronika<sup>®</sup>, compañía que se dedica a fabricar módulos para desarrollo con PIC<sup>®</sup>. El costo de este módulo es de Q 250,00.



## 5. DISEÑO DE SOFTWARE PARA EL PROTOTIPO

Para hacer posible el análisis de los datos adquiridos mediante el prototipo se realizó un software para la PC. Mediante este software, se importan los datos a la computadora para ser analizados posteriormente por el operario. En la figura 52 se explica el funcionamiento de dicho programa.

Figura 52. Diagrama de flujo del programa



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word®.

## 5.1. Lenguaje de programación

Antes de iniciar la realización del programa se evaluaron distintas opciones de lenguaje de programación para la realización del mismo. Después de analizar los distintos lenguajes de programación disponibles, se eligió el lenguaje de programación C# para la realización de este proyecto.

El lenguaje C# (pronunciado C Sharp) es un lenguaje de programación orientado a objetos. Este fue desarrollado y estandarizado por la empresa Microsoft. Este permite que los desarrolladores de código compilen aplicaciones que puedan ser usadas en .NET Framework. Con el lenguaje C#, también se pueden elaborar aplicaciones cliente de Microsoft Windows®. Mediante la suite de programación de Microsoft Visual C#, se pueden elaborar proyectos con interfaz gráfico, con lo cual se facilita la interacción entre el usuario y el ordenador.

La sintaxis del lenguaje C# está basada en signos de llave. Esto hace que una persona que ha trabajado con los lenguajes C, C++ o Java la reconozcan fácilmente. Esta sintaxis ayuda a simplificar muchas de las complejidades de C++ y proporciona características eficaces tales como tipos de valor que admiten valores NULL, delegados, enumeraciones, y otras que no se encuentran en Java. C# admite métodos y tipos genéricos e iteradores.

Como lenguaje orientado a objetos C# admite los conceptos de encapsulación, herencia y polimorfismo. Todas las variables y métodos se encapsulan dentro de definiciones de clase. Una clase puede heredar directamente de una clase primaria, pero puede implementar cualquier número de interfaces. Los métodos que reemplazan a los métodos virtuales en una clase primaria requieren la palabra clave *override* como medio para evitar

redefiniciones accidentales. En C#, una estructura es como una clase sencilla. Es un tipo asignado en la pila que puede implementar interfaces pero que no admite la herencia.

Además de estos principios básicos orientados a objetos, C# facilita el desarrollo de componentes de software a través de varias construcciones de lenguaje, entre las que se incluyen:

- Firmas de métodos encapsulados denominadas delegados.
- Propiedades que actúan como descriptores de acceso para variables miembro privadas.
- Atributos, que proporcionan metadatos declarativos sobre tipos en tiempo de ejecución.
- Comentarios en línea de documentación XML.
- Language-Integrated Query (LINQ) que proporciona funciones de consulta integradas en una gran variedad de orígenes de datos.

Los puertos COM o los archivos DLL nativos de Win32 se pueden utilizar mediante el lenguaje C# usando un proceso denominado “interoperabilidad”. Esta habilita los programas de C# para que se puedan realizar las mismas tareas que una aplicación C++ nativa. C# permite el uso de punteros y el concepto de código “no seguro” en los casos en que el acceso directo a la memoria es crítico.

## **5.2. Interfaz de usuario**

La interfaz con el usuario final consta de un entorno gráfico sencillo, en el cual el usuario tiene la opción de cargar el archivo para ser procesado por el

software. El manejo de las opciones de la interfaz se realiza mediante botones con los cuales, al presionarlos, se realizan las opciones correspondientes.

La interfaz del usuario con el software para exportar los datos se muestra en la figura 53.

Figura 53. **Interfaz gráfica del software**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Visual Express 2013®.

El usuario puede interactuar con el software mediante los dos botones que este posee, los cuales son “cargar archivo” y “exportar hoja de datos”. Dichos botones se explican a continuación.

- Cargar archivo: al oprimir este botón, se carga una ventana en la cual el usuario puede seleccionar un archivo “.txt”, el cual contenga la información extraída del audiómetro. Luego de seleccionar el archivo correspondiente, este se guarda dentro del programa para ser exportado a un archivo de Microsoft Excel®.
- Exportar hoja de datos: ya que el archivo de texto proveniente del audiómetro ha sido cargado. Se habilita la opción de exportar los datos a

una hoja de datos de Microsoft Excel<sup>®</sup>. Al pulsar este botón, se abrirá una interfaz para guardar datos. El usuario puede elegir mediante esta interfaz el nombre de la hoja de datos a exportar y la ubicación de esta. Después de seleccionado el nombre y la locación de la hoja de datos, esta se creará, conteniendo en ella los datos que estaban en el archivo de texto original.

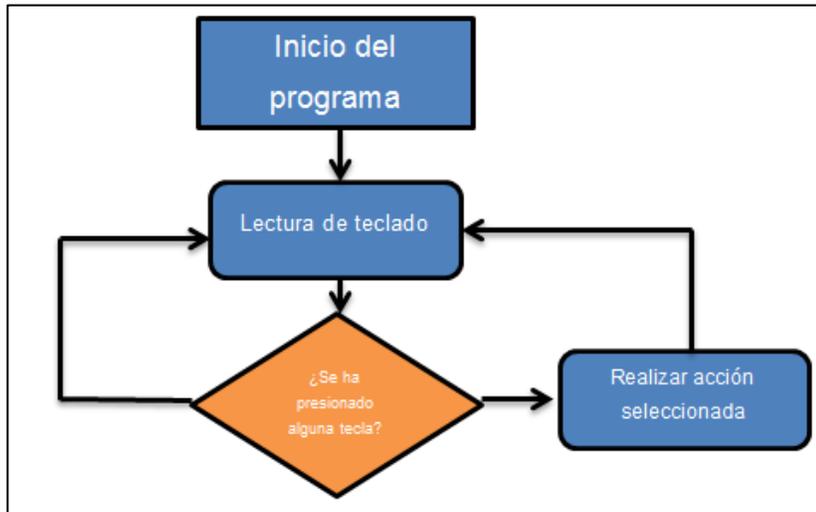
### **5.3. Programación del microcontrolador**

Una de las partes más importantes del diseño de este dispositivo es la programación del microcontrolador. El microcontrolador es el cerebro del dispositivo, controlando las funciones que se llevan a cabo dentro del prototipo.

#### **5.3.1. Funciones básicas**

Para el audiómetro que se desea elaborar, el microcontrolador debe de ser capaz de interpretar señales provenientes del teclado matricial del dispositivo, y variar las variables pertinentes dependiendo de cuál sea el botón pulsado por el operario. En la figura 54 se muestra el diagrama de flujo básico de cómo debe operar el microcontrolador en el audiómetro.

Figura 54. **Diagrama de flujo del funcionamiento básico del programa**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word®.

Las acciones que debe de realizar el microcontrolador son:

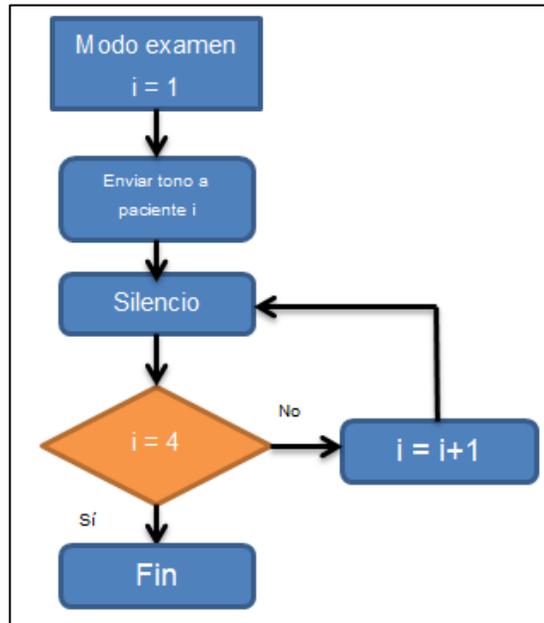
- Control de volumen: el microcontrolador debe de variar el volumen de salida del audiómetro según lo que desee el operario.
- Control de frecuencia: debe ser posible aumentar o disminuir la frecuencia del tono de salida del audiómetro.
- Guardar datos: el microcontrolador almacenará todos los datos recabados durante la audiometría en una memoria SD.
- Presentar datos en pantalla: los valores actuales y el modo seleccionado por el operario serán presentados en una pantalla LCD en el dispositivo.
- Seleccionar modo de operación: el audiómetro puede funcionar en tres modos distintos, los cuales son seleccionados por el operario.

### **5.3.1.1. Modos de funcionamiento**

El microcontrolador también debe ser capaz de controlar cómo y en qué momento el sonido será trasladado a los pacientes. El audiómetro tiene tres modos de audio, modo prueba, modo voz y modo examen. El microcontrolador debe reconocer el modo de audio que desea ser utilizado por el operador, y así llevar a cabo las funciones pertinentes. En el modo prueba, se enviará un tono de una frecuencia fija durante 5 segundos a todos los pacientes al unísono; este modo tiene como objetivo comprobar la conexión entre los pacientes y el equipo. Si el operario selecciona el modo voz, los cuatro canales se activarán al mismo tiempo, permitiendo así que todos los pacientes reciban el mensaje al mismo tiempo.

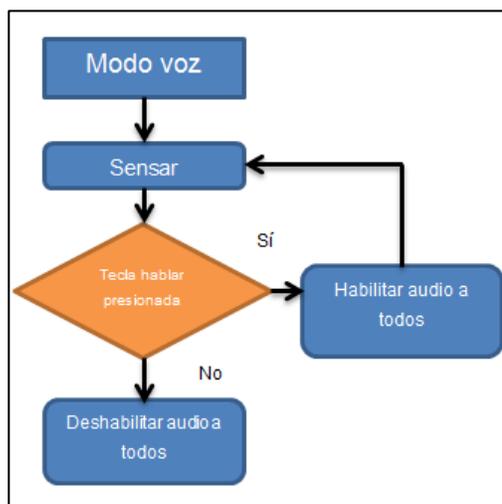
Por otro lado, al seleccionar el modo examen, se enviará un tono a una frecuencia determinada por el operario hacia los pacientes. Dicho tono será enviado a un paciente a la vez durante un lapso fijo. Después de que un paciente ha escuchado el tono, el audiómetro no emitirá sonido alguno, para después enviar el tono al paciente siguiente. El procedimiento se repetirá hasta que el tono haya sido enviado a los cuatro pacientes. En las figuras 55, 56 y 57 se muestra el diagrama de flujo que explica cómo el microcontrolador se encargará de dirigir sonidos hacia los pacientes en cada uno de los modos posibles.

Figura 55. Diagrama de flujo para el modo examen



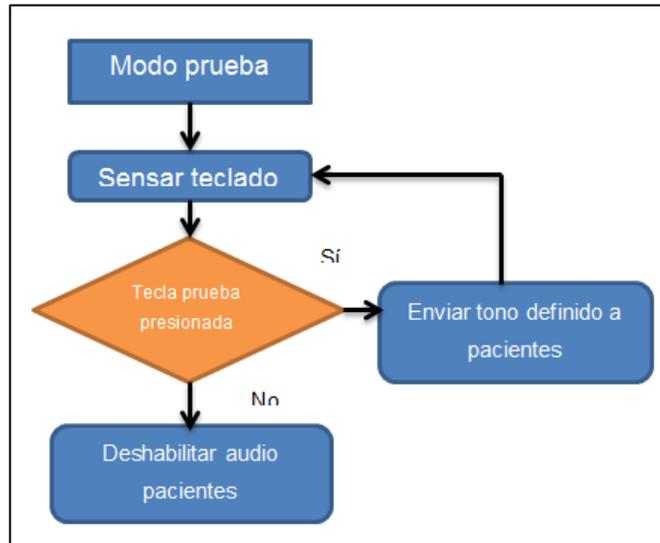
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word®.

Figura 56. Diagrama de flujo del modo voz



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word®.

Figura 57. Diagrama de flujo del modo prueba



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word®.

#### 5.4. IDE utilizada

Para la programación del microcontrolador se escogió el lenguaje C. Esto se hizo debido a la versatilidad y funcionalidad de dicho lenguaje de programación. Específicamente, para programar el microcontrolador, se utilizó la IDE de Mikroelektronika®, MikroC® for PIC®. Este IDE posee las librerías necesarias para implementar de manera eficiente todo el control del audiómetro, así como para almacenar dentro de la memoria SD la información tomada durante la audiometría. En la tabla XIII se enlistan los comandos más importantes utilizados en el diseño del software del microcontrolador. El código realizado, por motivos didácticos, se encuentra en la sección de apéndices.

Tabla XIII. **Comandos más importantes en el programa del controlador**

Comando	Función
OSCON = 255	Configura el microcontrolador para utilizar su oscilador interno a 8MHz.
ADCON1 = 15	Deshabilita todas las entradas analógicas del microcontrolador.
CMCON = 7	Deshabilita los comparadores del microcontrolador.
LCD_Init()	Inicializa la librería para controlar una pantalla LCD.
LCD_CMD(_LCD_CLEAR)	Limpia el contenido de la pantalla LCD.
LCD_OUT()	Escribe en la pantalla LCD.
Keypad_Init()	Inicializa la librería de control de teclado matricial.
Keypad_Key_Click()	Detecta si se ha presionado una tecla.
T0CON.TMR0ON	Activa el temporizador del PIC al ser 1 lógico, lo desactiva al ser 0 lógico.
Delay_ms()	Pone una pausa en el programa por los milisegundos especificados.
SPI1_Init_Advanced(_SPI_MASTER_OSC_DIV6 4, _SPI_DATA_SAMPLE_MIDDLE, _SPI_CLK_IDLE_LOW, _SPI_LOW_2_HIGH);	Inicializa el módulo SPI con las especificaciones dadas.
Mmc_Fat_Init()	Inicializa la librería de memoria SD.
Mmc_Fat_Rewrite();	Inicia el modo escritura en la SD, si ya existe el archivo, lo reescribe.
Mmc_Fat_Write()	Escribe una cadena dada en la memoria SD.

Fuente: elaboración propia, empleando ayuda de MikroC® for PIC®.

## CONCLUSIONES

1. El diseño presentado es capaz de realizar las funciones básicas de un audiómetro convencional.
2. La audiometría es utilizada para evaluar la respuesta del oído a estímulos de distinta frecuencia e intensidad. Este tiene una respuesta logarítmica a los estímulos.
3. El audiómetro contiene un circuito generador de frecuencia, así como circuitos de amplificación para enviar los tonos y el audio necesario a los pacientes.
4. Circuitería auxiliar es necesaria para que el audiómetro funcione correctamente. Circuitos de conmutación y acondicionamiento de señal son necesarios para que el audiómetro funcione de manera correcta.
5. Mediante la programación del microcontrolador, la interfaz entre el usuario y el audiómetro se realizó de la forma más simple posible. Además, la interfaz entre los datos almacenados y la PC se programó para que los datos sean exportados rápida y fácilmente.



## RECOMENDACIONES

1. Implementar el diseño siguiendo las direcciones y diagramas presentados en este trabajo de graduación.
2. Diseñar un módulo de conexión inalámbrica para el audiómetro, donde la información de la audiometría pueda ser trasladada en tiempo real a una aplicación en la PC o un dispositivo móvil.
3. Elaborar un chasis adecuado, con ventilación y el espacio suficiente, para que los módulos se mantengan a una temperatura óptima y se eviten fallas por sobrecalentamiento.
4. Actualizar las cotizaciones e investigar sobre la existencia de componentes de menor costo para la realización del prototipo.
5. Diseñar los PCB de cada módulo de tal manera que se utilicen únicamente componentes de soldadura en superficie, para así disminuir las dimensiones del prototipo a elaborar.



## BIBLIOGRAFÍA

1. *Audición, Anatomía del oído interno.* [en línea].  
<<http://escuela.med.puc.cl/paginas/publicaciones/ApuntesOtorrino/AnatomiaOidoInt.html>> [Consulta: 20 de septiembre de 2013].
2. *Audiometría.* [en línea].  
<<http://escuela.med.puc.cl/paginas/publicaciones/apuntesotorrino/audiometria.html>> [Consulta: 20 de septiembre de 2013].
3. *Audiometría tonal, Audiometría tonal liminar.* [en línea].  
<<http://dromargonzales.com/Audiometr%C3%ADa-tonal.php>> [Consulta: 28 de septiembre de 2013].
4. *Audiómetro.* [en línea].  
<[http://www.hnt.cl/p4\\_hospital/site/pags/20030812113123.html](http://www.hnt.cl/p4_hospital/site/pags/20030812113123.html)> [Consulta: 2 de octubre de 2013].
5. *DS1809 Dallastat.* [en línea].  
<<http://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS1809.pdf>> [Consulta: 10 de mayo de 2015].
6. *El mundo de los microcontroladores, Capítulo 1, el mundo de los microcontroladores.* [en línea]  
<<http://www.mikroe.com/chapters/view/79/capitulo-1-el-mundo-de-los-microcontroladores/>> [Consulta: 9 de octubre de 2013].

7. *El mundo de los microcontroladores, Capítulo 2, Programación de los microcontroladores.* [en línea].  
<<http://www.mikroe.com/chapters/view/80/capitulo-2-programacion-de-los-microcontroladores/>> [Consulta: 9 de octubre de 2013].
8. *El sentido del oído.* [en línea].  
<<http://es.slideshare.net/KennyTurpoEspinoza/el-sentido-del-oido>> [Consulta: 21 de septiembre de 2013].
9. *El sistema auditivo.* [en línea].  
<[http://tanis.lpi.tel.uva.es/~nacho/docencia/ing\\_ond\\_1/trabajos\\_04\\_05/io5/public\\_html/serhumanocentro4.htm](http://tanis.lpi.tel.uva.es/~nacho/docencia/ing_ond_1/trabajos_04_05/io5/public_html/serhumanocentro4.htm)> [Consulta: 23 de septiembre de 2013].
10. GUSTEMS, J. *Música y sonido en los audiovisuales.* Universidad de Barcelona: Gráficas Rey, 2010. 41 p.
11. *La audición humana.* [en línea].  
<<http://www.disca.upv.es/adomenec/IASPA/tema1/LaAudicion.html>> [Consulta: 10 de octubre de 2013].
12. MASSA, D. *An Overview of Electroacoustic Transducers.* Massa Products Corporation. 18 p.
13. *Otitis, infección del oído medio común.* [en línea]  
<<http://www.gaesivsordera.es/blog/otitis-infeccion-de-oido-medio-comun/>> [Consulta: 6 de octubre de 2013].

14. *PIC18F2420/2520/4420/4520*, [en línea]  
<<http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/39631a.pdf>>  
[Consulta: 10 de mayo de 2015].
15. SEDRA, A.; SMITH, K. *Circuitos microelectrónicos*. Cuarta edición.  
México: Oxford University Press, 1999. 1158 p.
16. *Sistema auditivo periférico*. [en línea].  
<<http://www.eumus.edu.uy/docentes/maggiolo/acuapu/sap.html>>  
[Consulta: 28 d septiembre de 2013].
17. *TDA8571J*. [en línea]  
<[http://www.nxp.com/documents/data\\_sheet/TDA8571J.pdf](http://www.nxp.com/documents/data_sheet/TDA8571J.pdf)>  
[Consulta: 10 de mayo de 2015].
18. *Transductores*. [en línea]  
<<http://www.ehu.eus/acustica/espanol/electricidad/transes/transes.html>> [Consulta: 4 de febrero de 2014].



## ANEXOS

### 1. Código fuente del microcontrolador

```
//Keypad
char keypadPort at PORTD;
sbit LCD_RS at RB2_bit;
sbit LCD_EN at RB3_bit;
sbit LCD_D4 at RB4_bit;
sbit LCD_D5 at RB5_bit;
sbit LCD_D6 at RB6_bit;
sbit LCD_D7 at RB7_bit;
//Keypad
// MMC module connections
sbit Mmc_Chip_Select at LATC0_bit; // for writing to output pin always use latch (PIC18 family)
sbit Mmc_Chip_Select_Direction at TRISC0_bit;
// eof MMC module connections

// LCD
sbit LCD_RS_Direction at TRISB2_bit;
sbit LCD_EN_Direction at TRISB3_bit;
sbit LCD_D4_Direction at TRISB4_bit;
sbit LCD_D5_Direction at TRISB5_bit;
sbit LCD_D6_Direction at TRISB6_bit;
sbit LCD_D7_Direction at TRISB7_bit;
//LCD
char txt3[] = "USAC";
char txt4[] = "Audiometro 1.0";
int seleccion = 0;
int paciente = 0;
int contador = 0;
int contador2 = 0;
int ban = 0; //bandera para el oído
int modo = 0; //modo voz, prueba o examen
int x = 0; //variable para el volumen
int y = 0; //variable para la frecuencia
char vol[][6] = {"0dB", "10dB", "20dB", "30dB", "40dB", "50dB", "60dB", "70dB", "80dB", "90dB", "100dB",
"110dB", "120dB"};
```

```

char freq[][7] = {"125 Hz", "250 Hz", "500 Hz", "1 kHz", "2 kHz", "4 kHz", "6 kHz", "8 kHz", "10 kHz", "12 kHz",
"16 kHz", "18 kHz"};
//MMC VARIABLES
const LINE_LEN = 43;
char err_txt[20] = "FAT16 not found";
char file_contents[LINE_LEN] = "XX MMC/SD FAT16 library by Anton Rieckert\n";
char filename[14] = "MIKRO00x.TXT"; // File names
unsigned short loop, loop2;
unsigned long i, size;
char Buffer[512];
//MMC
//Función de control de volumen y frecuencia faltan los niveles de frecuencia
int control_potenciometro(int pot_a_controlar,int subir_bajar){
    PORTE.F0 = 1; //INC
    switch(pot_a_controlar)
    {
    case 0:
        PORTB.F0 = 0; //CS Frecuencia
        break;
    case 1:
        PORTB.F1 = 0; //CS Volumen
    }
    switch(subir_bajar){
    case 0:
        PORTE.F1 = 0; //bajar volumen
        break;
    case 1:
        PORTE.F1 = 1; //Subir volumen
        break;
    }
    delay_ms(15);
    for(x = 0; x <= 1; x++)
    {
        PORTE.F0 = 0;
        delay_ms(15);
        PORTE.F0 = 1;
        delay_ms(15);
    }
    PORTB.F0 = 1;
    PORTB.F1 = 1;
}
//Funciones de volumen y frecuencia
//ESCRIBIR
void M_Open_File_Rewrite() {

```

```

filename[7] = 'C';
Mmc_Fat_Assign(&filename, 0);
Mmc_Fat_Rewrite();
for(loop = 1; loop <= 55; loop++) {
    file_contents[0] = loop / 10 + 48;
    file_contents[1] = loop % 10 + 48;
    Mmc_Fat_Write(file_contents, LINE_LEN-1); // write data to the assigned file
}
}
//ESCRIBIR

// interrupción del Timer

void interrupt () {
    INTCON.TMR0IF = 0;
    contador = contador + 1;
    if (contador == 255)
    {
        contador = 0;
        contador2 = contador2 + 1;
    }
    if (contador2 == 100)
    {
        contador2 = 0;
        paciente = paciente + 1;
    }
    //if (paciente < 8)
    //{

    if (paciente > 9)
    {
        paciente = 0;
        INTCON.TMR0IF = 1;
    }
    //}
}
//MMC
//variar lo del pot
//función de desplegar
void desplegar(int bana, int modoa, int xa, int ya)
{
    Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);
        Lcd_Out(2,12,vol[xa]);
        Lcd_Out(2,1,"F:");
}

```

```

        Lcd_Out(2,10,"V:");
        Lcd_Out(2,3,freq[ya]);
        switch (bana)
        {
            case 0:
                Lcd_Out(1,15,"OD");
                break;
            case 1:
                Lcd_Out(1,15,"OI");
                break;
        }
        switch (modoa)
        {
            case 1:
                Lcd_Out(1,1,"Modo Examen");
                break;
            case 2:
                Lcd_Out(1,1,"Modo Prueba");
                break;
            case 3:
                Lcd_Out(1,1,"Modo Voz");
                break;
        }
    }
}

//inicio del main

void main() {
    OSCCON = 255;
    INTCON = 0;
    CMCON = 7;
    ADCON1 = 15;
    ADCON0.F0 = 0;
    TRISB.F1 = 0;
    CCP1CON = 0;
    CCP2CON = 0;
    Lcd_Init();           // Initialize LCD
    Keypad_Init();
    Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR); // Clear display
    Lcd_Cmd(_LCD_CURSOR_OFF); // Cursor off
    Lcd_Out(1,6,txt3);    // Write text in first row
    Lcd_Out(2,2,txt4);    // Write text in second row
    Delay_ms(5000);
    INTCON.GIE = 1;
}

```

```

INTCON.TMR0IE = 1;
INTCON.TMR0IF=0;
TOCON = 0b01001111;
//TRISA.F0 = 0;
//PORTA.F0 = 0;
TRISB.F0 = 0; //CS para frecuencia
TRISB.F1 = 0; //CS para volumen
TRISE.F0 = 0; //Subir/bajar resistencia
TRISE.F1 = 0; //Modo U o D
PORTB.F0= 1;
PORTB.F1 =1;
PORTE.F0 = 1;
PORTE.F1 = 1;
Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);
Lcd_Out(1,1,"Audiometro");
//desplegar(ban,modo,x,y);
Lcd_Out(1,1,txt4);          // Write text in first row
Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);
while (1)
{
    seleccion = Keypad_Key_Click();
    TOCON.TMROON = 0;
    switch (seleccion)
    {
        case 1: //subir volumen
            seleccion =0;
            if(x < 13)
            {
                if (x < 12)
                {
                    x++;
                    desplegar(ban,modo,x,y);
                    //pots(1,1);
                }
            }
            break;
        case 2: //subir frecuencia
            seleccion =0;
            if(y <= 10)
            {
                if ( y < 12)
                {
                    y++;
                }
            }
            break;
    }
}

```

```

        desplegar(ban,modo,x,y);
        //pots(0,1);

    }

}

break;
case 3:          //oído derecho
    seleccion =0;
    Lcd_Out(1,15,"OD");
    ban = 0;
    break;
case 4:          //paciente A
    seleccion =0;
    Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);
    Lcd_Out(1,1,"A");
    break;
case 5:          //Bajar volumen
    seleccion =0;
    if ( x > 0)
    {
        x = x-1;
        desplegar(ban,modo,x,y);
        //pots(1,0);
    }

    break;
case 6:          //bajar frecuencia
    seleccion =0;
    if ( y > 0)
    {
        y = y-1;
        desplegar(ban,modo,x,y);
        //pots(0,0);
    }

    break;
case 7: //oído izquierdo
    seleccion =0;
    Lcd_Out(1,15,"OI");
    ban = 1;
    break;
case 8: //paciente B

```

```

    seleccion =0;
    Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);
    Lcd_Out(1,1,"B");
    break;
case 9: //modo examen
    seleccion =0;
    Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);
    modo = 1;
    desplegar(ban,modo,x,y);
break;
case 10: //modo de prueba
    seleccion =0;
    Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);
    modo = 2;
    desplegar(ban,modo,x,y);
break;
case 11:
    seleccion =0;
    modo = 3;
    desplegar(ban,modo,x,y);
    break;
case 12:
    seleccion =0; //paciente c
    Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);
    Lcd_Out(1,6,"C");
    break;
case 13: //iniciar modo prueba
    if (modo == 1)
    {
        seleccion =0;
        paciente = 0;
        Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);
        Lcd_Out(1,6,"Enviar Tono:");
        delay_ms(1000);
        T0CON.TMR0ON = 1;
        INTCN.TMR0IF = 0;
        while ( paciente < 8)
        {
            Lcd_Out(1,3,paciente);
            switch(paciente)
            {
                case 0:
                    Lcd_Out(2,1,"A");
                    break;

```

```

        case 1:
            Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);
        break;
        case 2:
            Lcd_Out(2,1,"B");
        break;
        case 3:
            Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);
        break;
        case 4:
            Lcd_Out(2,1,"C");
        break;
        case 5:
            Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);
        break;
        case 6:
            Lcd_Out(2,1,"D");
        break;
        case 7:
            Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);
        break;
    }
}
    TOCON.TMR0ON = 0;
    desplegar(ban,modo,x,y);
}
break;
case 14: //hablar
    seleccion =0;
    Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);
    Lcd_Out(1,6,"Hablar");
    break;
case 15: //escribir datos
    seleccion =0;
    Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);
    Lcd_Out(1,6,"Guardar datos");
    delay_ms(1000);
    SPI1_Init_Advanced(_SPI_MASTER_OSC_DIV64, _SPI_DATA_SAMPLE_MIDDLE,
_SPI_CLK_IDLE_LOW, _SPI_LOW_2_HIGH);

// use fat16 quick format instead of init routine if a formatting is needed
if (Mmc_Fat_Init() == 0) {
    // reinitialize spi at higher speed

```

```

        SPI1_Init_Advanced(_SPI_MASTER_OSC_DIV4,          _SPI_DATA_SAMPLE_MIDDLE,
        _SPI_CLK_IDLE_LOW, _SPI_LOW_2_HIGH);

M_Open_File_Rewrite();

    }
    else {
        Lcd_Out(1,1,err_txt); // Note: Mmc_Fat_Init tries to initialize a card more than once.
        // If card is not present, initialization may last longer (depending on clock speed)
    }

    break;
case 16: //paciente D
    seleccion =0;
    Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);
    Lcd_Out(1,6,"D");
    break;
}

}
}

```

