

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**  
**SEDE QUITO**

**CARRERA:**  
**INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:**  
**INGENIERA ELECTRÓNICA**

**TEMA:**  
**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE AUDÍFONO PARA**  
**OBTENER EL ESPECTRO DE FRECUENCIAS AUDIBLES A UN OÍDO**  
**HUMANO**

**AUTORA:**  
**PAMELA ALEXANDRA LÓPEZ CHANGO**

**TUTOR:**  
**EDUARDO RODRIGO TORRES SANTOS**

**Quito, Marzo 2017**

## **CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR**

Yo Pamela Alexandra López Chango con documento de identificación N° 1716431976, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autora del trabajo de titulación intitulado: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE AUDÍFONO PARA OBTENER EL ESPECTRO DE FRECUENCIAS AUDIBLES A UN OÍDO HUMANO, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniera Electrónica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autora me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



Pamela Alexandra López Chango

C.I: 1716431976

Quito, Marzo 2017

## **DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR/A**

Yo, declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE AUDÍFONO PARA OBTENER EL ESPECTRO DE FRECUENCIAS AUDIBLES A UN OÍDO HUMANO** realizado por Pamela Alexandra López Chango, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, Marzo 2017



Eduardo Rodrigo Torres Santos

C.I: 1713654604

## **DEDICATORIA**

A mí mami Beatriz quien siempre me ha demostrado que con esfuerzo y dedicación se puede alcanzar cualquier objetivo propuesto.

A mí padre Carlos y papá Angelito quienes me cuidan desde el cielo en su memoria le dedico este logro alcanzado.

A mí enamorado Danilo por su paciencia, por su apoyo, por su compañía, por cada palabra de aliento para nunca rendirme, por su amor incondicional durante este proceso.

A ellos toda mi gratitud y agradecimiento.

Pamela López

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a la Universidad Politécnica Salesiana por haber formado parte fundamental en mi formación profesional y al Ing. Eduardo Torres, como tutor del trabajo de titulación quien ha orientado, apoyado y corregido el trabajo con un interés y entrega que ha sabido sobrepasar todas las expectativas puestas en una persona.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	1
Planteamiento del problema .....	1
Justificación del Proyecto.....	2
Objetivo general .....	2
Objetivos específicos .....	2
MARCO TEÓRICO.....	3
1.1    Sonido.....	3
1.2    Espectro audible .....	4
1.3    Fisiología del oído humano .....	5
1.4    Pérdida auditiva .....	6
1.5    Audiometría.....	8
1.5.1    Audiometría tonal liminar .....	8
1.5.2    Audiometría tonal supraliminar .....	8
1.6    Filtros.....	9
1.6.1    Filtros Analógicos .....	10
1.6.2    Filtros Digitales.....	11
1.6.3    Tipos de filtros digitales.....	11
1.7    Prótesis auditivas .....	13
1.7.1    Prótesis analógicas .....	13
1.7.2    Prótesis Digitales.....	13
1.8    Micrófono .....	14
1.9    Auricular.....	16
1.10    Fuente de Alimentación.....	17
1.11    Microcontrolador.....	17
CAPÍTULO 2 .....	19
DISEÑO .....	19
2.1    Etapa de audiometría .....	19
2.2    Etapa de acondicionamiento.....	20
2.3    Descripción del proceso .....	20
2.4    Diseño por diagrama de bloques .....	22

2.5	Requerimientos de diseño .....	22
2.6	Diseño del software .....	26
2.7	Diseño de la estructura .....	26
2.8	Determinación de parámetros.....	27
CAPÍTULO 3 .....		29
IMPLEMENTACIÓN.....		29
3.1.	Hardware .....	29
3.2.	Software.....	30
CAPÍTULO 4 .....		38
PRUEBAS Y RESULTADOS.....		38
CONCLUSIONES .....		45
RECOMENDACIONES .....		47
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		48
ANEXOS .....		51

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Características físicas.....	4
Figura 1.2. Partes del oído humano.....	5
Figura 1.3. Porcentaje de personas con discapacidad .....	7
Figura 1.4. Filtro pasa bajo .....	9
Figura 1.5. Filtro pasa alto .....	9
Figura 1.6. Filtro pasa banda.....	10
Figura 1.7. Filtro elimina banda.....	10
Figura 1.8. Principio del filtro digital .....	11
Figura 1.9. Componentes de un audífono analógico.....	13
Figura 1.10. Componentes de un audífono digital .....	14
Figura 1.11. Funcionamiento del micrófono.....	15
Figura 2.2. Diseño del prototipo.....	21
Figura 2.2. Flujograma del prototipo de auxiliar auditivo .....	21
Figura 2.3. Diagrama de bloques del audiómetro .....	22
Figura 2.4 Tarjeta STM32F407 .....	23
Figura 2.5. Dimensiones del diseño estructural .....	27
Figura 3.1. Montaje fuente de alimentación.....	29
Figura 3.2. Acoplamiento fuente de alimentación y controlador.....	29
Figura 3.3. Hardware completo.....	30
Figura 3.4. Get hardware support packages .....	30
Figura 3.5. Instalación de los drivers .....	31
Figura 3.6. Paquete de STMicroelectronics Microcontrollers .....	31
Figura 3.7. Crear cuenta .....	32
Figura 3.8. Completar campos requerido.....	32
Figura 3.9. Aceptación de los términos.....	33
Figura 3.10. Descarga de paquetes.....	33
Figura 3.11. GUIDE.....	34
Figura 3.12. STM32 ST-LINK UTILITY.....	35
Figura 3.13. Programación Generador de frecuencias en Simulink.....	36
Figura 3.14. Programación acondicionador de frecuencias en Simulink.....	37
Figura 4.1. Audiometría tonal .....	39
Figura 4.2. Audiometría tonal vía aérea.....	40



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Clasificación de frecuencias por su tonalidad.....	5
Tabla 1.2. Clasificación de la pérdida auditiva.....	7
Tabla 1.3. Comparación entre filtros IIR y FIR.....	12
Tabla 1.4. Características de los micrófonos.....	15
Tabla 1.5. Características de los audífonos.....	16
Tabla 1.6. Características de las baterías.....	17
Tabla 1.7. Familias de microcontroladores.....	18
Tabla 2.1. Especificaciones Técnicas.....	24
Tabla 2.2. Especificaciones técnicas.....	24
Tabla 2.3. Especificaciones Técnicas.....	25
Tabla 2.4. Especificaciones Técnicas.....	26
Tabla 2.5. SIEMENS Intuis SP DIR.....	28
Tabla 2.6. SIEMENS Intuis SP DIR.....	28
Tabla 4.1 SIEMENS Intuis SP DIR vs Prototipo.....	38
Tabla 4.2 Comparación de características físicas.....	39
Tabla 4.3. Comparación oído derecho.....	41
Tabla 4.4. Comparación oído izquierdo.....	41
Tabla 4.5. Costes del prototipo.....	42
Tabla 4.6. Comparación cambio de batería.....	43
Tabla 4.7 Remplazo de batería SIEMENS.....	43
Tabla 4.8 Remplazo batería Prototipo.....	43

## **RESUMEN**

El presente proyecto técnico está orientado hacia personas que poseen algún tipo de discapacidad auditiva y que necesiten mejorar su estado, éste implementó un sistema que permite obtener el espectro de frecuencias audibles a un oído humano a través de un prototipo de audífono personalizado, en el cual se analiza una audiometría tonal que permita conocer las frecuencias más comunes que capta el oído, determinando el grado de pérdida auditiva que posee y en base a esos datos obtenidos se elaboró un diseño óptimo que proporciona a la persona con discapacidad mejorar su condición.

El prototipo está compuesto por un generador de frecuencias el cual permite medir los umbrales mínimos de audición y por un acondicionador de señales el mismo que permite mejorar la audición aumentando el nivel de intensidad de cada frecuencia que el individuo necesite, adicionalmente permite obtener un gráfico o audiograma en el cual se evidencia la pérdida auditiva de cada oído respectivamente, con estos datos se podrá determinar si el deterioro de la audición es progresivo.

Para realizar el diseño de este proyecto se analizó tanto las características técnicas como físicas logrando obtener un producto portátil, manejable, y principalmente permitiendo compensar las deficiencias auditivas de un individuo mejorando así su calidad de vida.

## **ABSTRACT**

The present technical project is aimed at people who have some kind of hearing impairment and who need to improve their condition, is a system that allows the spectrum of audible frequencies to be obtained to a human ear through a prototype of a personalized hearing aid. Analyzed a tonal audiometry that allows us to know the most frequent frequencies that the ear captures, determining the degree of hearing loss that it possesses and based on these data, an optimal design was developed that provides a person with a disability to improve their condition.

The prototype is composed of a frequency generator that allows you to measure the minimum thresholds of hearing and by a conditioner of the same signal that allows to improve the hearing increasing the level of intensity of each frequency that the individual needs, O Audiogram in which it is Evidence the hearing loss of each ear, respectively, with these data can determine if the deterioration of the hearing is progressive.

To carry out the design of this project, the technical and physical characteristics were analyzed, obtaining a portable product, manageable, and in general allow to compensate the hearing deficiencies of an individual, thus improving their quality of life.

## **INTRODUCCIÓN**

En la actualidad la pérdida de la capacidad auditiva se ha incrementado considerablemente de ahí que las personas que padecen esta discapacidad tienen una gran desventaja tanto en aspectos personales como laborales dado que al no poder receptor con claridad los mensajes podrían llegar a ser discriminados, este proyecto busca que personas con problemas de audición de bajos recursos puedan contar con un audífono de alta tecnología que se adapte a sus necesidades, logrando así contribuir con su inclusión en la sociedad y mejorar su calidad de vida.

### **Planteamiento del problema**

En el Ecuador según las estadísticas del Registro Nacional de Discapacidades a febrero del 2016, 51.875 personas sufren de alguna discapacidad auditiva, y no todas las personas se encuentran registradas. (Registro Nacional de Discapacidades, 2016)

Según la OMS la pérdida del sentido auditivo puede ser ocasionada por causas congénitas tales como: rubéola materna, sífilis u otras infecciones durante el embarazo, bajo peso al nacer, asfixia del parto; otras se deben a causas adquiridas como por ejemplo: enfermedades infecciosas, traumatismos craneoencefálicos o de los oídos, la exposición al ruido excesivo, la degeneración de las células sensoriales por envejecimiento y la presencia de líquido en el oído. (Organización Mundial de la Salud, 2015)

La mayor parte de personas cuentan con dispositivos auditivos donados por fundaciones y organizaciones públicas o privadas. Estos dispositivos les permiten mejorar su calidad de vida, sin embargo todavía existe un importante porcentaje que no cuentan con esta tecnología.

Tomando en consideración cada ser humano es único, se desea realizar un prototipo personalizado que ayude a mejorar los sonidos con una alta fidelidad para las frecuencias audibles de cada persona.

## **Justificación del Proyecto**

Según la Constitución de la República del Ecuador Art. 47 “El Estado garantizará políticas de prevención de las discapacidades y, de manera conjunta con la sociedad y la familia, procurará la equiparación de oportunidades para las personas con discapacidad y su integración social.” (Constitución de la Republica del Ecuador , 2008)

El nivel de capacidad auditiva es propio de cada persona, la cual por diversos motivos pueden disminuir llegando a ocasionar una pedida parcial o completa de este sentido.

Este proyecto permitirá que personas con problemas de audición de bajos recursos puedan contar con un audífono de alta tecnología que se adapte a sus necesidades, logrando así contribuir con su inclusión en la sociedad y mejorar su calidad de vida.

Para realizar este proyecto se requiere de un microcontrolador y su respectivo software en el cual se analizará el espectro de frecuencias que pueden ser percibidas por el oído de un paciente, analizando las que son audibles y aquellas que no lo son. A las frecuencias que el paciente percibe se las acondicionará, y luego de ser procesadas las señales serán trasmitidas por el auricular hacia el oído.

## **Objetivo general**

- Diseñar e implementar un prototipo de audífono personalizado mediante la utilización de filtros digitales para obtener el espectro audible a un oído humano.

## **Objetivos específicos**

- Seleccionar un proceso de audiometría tonal acorde con el diagnóstico médico de mayor utilización en el mercado.
- Proponer el hardware de un prototipo de audífono personalizado para ser usado por personas con discapacidad auditiva.
- Realizar pruebas audiométricas para comprobar la eficiencia del prototipo con respecto a audífonos comerciales.
- Analizar costos y beneficios del prototipo y comparar con productos existentes para evaluar la rentabilidad del proyecto.

# CAPÍTULO 1

## MARCO TEÓRICO

### 1.1 Sonido

El ser humano capta fenómenos físicos a través de la vista aproximadamente el 65%, por el oído el 33%, y el restante para los demás sentidos. (Boix, 2013)

El sonido tiene varias características, desde el punto de vista físico puro el sonido es un movimiento ondulatorio, longitudinal que se transfiere por un medio denso; o a través del punto de vista psíquico en la se estudia las sensaciones que este produce en personas normales. (Boix, 2013)

#### Características Físicas

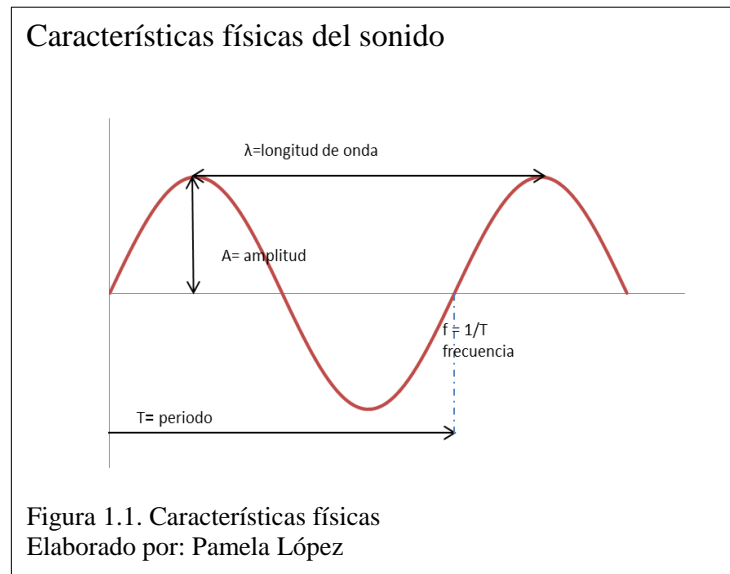
El periodo (T) representa el tiempo que se emplea en producirse una onda, normalmente se mide en segundos. (Miraya, 2006)

La amplitud (A) indica el nivel máximo que alcanza una onda durante un ciclo.

La frecuencia (f) es el número de vibraciones que se repite al cabo de un segundo, su unidad de medida son los ciclos por segundo (Hz).

La longitud de onda ( $\lambda$ ) describe el espacio que recorre una onda en un periodo de tiempo. (Miraya, 2006)

A continuación en la figura 1.1 se puede apreciar las características físicas del sonido descritas.



### Características Psíquicas

El tono hace referencia a la altura del sonido, permitiendo distinguir un sonido grave de uno agudo, la capacidad del oído humano para percibir el tono es limitada y no es igual para todas las frecuencias. (Ciges, 1993)

La intensidad depende de la amplitud de la onda sonora, mientras mayor amplitud más fuerte será el sonido y viceversa, esta sensación sigue la ley de Weber Fechner “La sensación es igual al logaritmo del estímulo” lo que quiere decir que existe una relación entre la intensidad de la sensación y la intensidad del estímulo. Para expresar la intensidad del sonido se utiliza el decibelio (dB) como unidad. (Ciges, 1993)

El timbre o calidad del sonido es una cualidad propia de cada individuo que da la posibilidad de diferenciar tonos de la misma amplitud y frecuencia, el oído humano puede distinguir si una nota musical es producida por un violín o por un piano. (Boix, 2013)

### 1.2 Espectro audible

Es una serie de frecuencias que percibe el oído humano. Se encuentran comprendidas entre los 20Hz y 20000Hz. El espectro audible es distinto para cada individuo y puede

ser alterado debido a enfermedades a los ambientes ruidosos o por el envejecimiento. (Ignasi & Eduard, 2011)

Como muestra la tabla 1.1 las frecuencias se clasifican dependiendo de su valor en tonalidades es decir a mayor frecuencia mayor será el tono., estos son.: tonos bajos, medios y altos.

Tabla 1.1.  
Clasificación de frecuencias por su tonalidad

TONO	FRECUENCIA
Graves o Bajos	20 - 300Hz
Medios	300 - 2000Hz
Agudos o Altos	2000 - 20000Hz

Nota. Las características fueron tomadas de (Boix, 2013)  
Elaborado por: Pamela López

### 1.3 Fisiología del oído humano

El oído es el órgano que recibe las ondas sonoras, las transforma en señales eléctricas y por medio del nervio acústico llegan al cerebro donde son interpretadas, además es el encargado del equilibrio. (El Cid Editor, 2014)

Como muestra en la figura 1.2 el oído humano está formado por tres partes: el oído externo, el oído medio y el oído interno.





### **El oído externo**

Está conformado por el pabellón auricular llamado oreja y el conducto auditivo externo, tiene como función principal ubicar el origen del sonido y conducirlo a la parte media del oído. (Barti, 2013)

### **El oído medio**

La función del oído medio es transformar vibraciones entre un espacio de circulación por vía aérea y una circulación a través de un fluido. Está formado por el tímpano el cual influye en la efectividad de la transformación y la cadena de huesecillos (el martillo, yunque, estribo) transfiere las vibraciones del tímpano en dirección a la cóclea. (Barti, 2013)

### **El oído interno**

Como afirma Robert Barti (2013) el oído interno se concentra en la cóclea este órgano lleva una información de presión presente en el líquido, a unos impulsos eléctricos gracias a las células sensoriales, es decir que es el responsable de convertir las ondas sonoras en impulsos eléctricos que se dirigen al cerebro.

## **1.4 Pérdida auditiva**

En el Ecuador según el Consejo Nacional de Discapacidades existe alrededor de 401,134 de personas con discapacidad de ellas 51.875 padecen de alguna deficiencia auditiva esto representa el 13 % del total de la población con discapacidad como muestra el figura 1.3. (Registro Nacional de Discapacidades, 2016)

### Personas con discapacidad auditiva

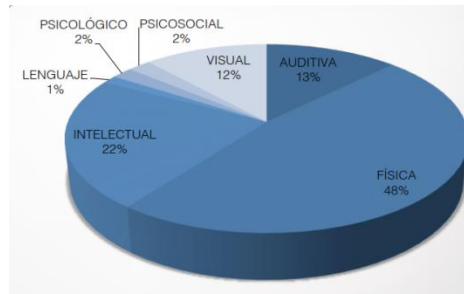


Figura 1.3. Porcentaje de personas con discapacidad  
Fuente: (Registro Nacional de Discapacidades, 2016)

Irma Nunan (2013) se refiere a la discapacidad auditiva como un trastorno o deterioro del sentido del oído y este puede afectar a un solo oído o afectando a los dos. La pérdida de capacidad auditiva implica alteraciones fisiológicas y psicológicas con lo cual la persona tiene limitación respecto a su capacidad de comunicación y a la adquisición del lenguaje.

Se la puede clasificar en tres grupos: hipoacusia se la llama cuando la pérdida auditiva es menor a 70 decibelios, con esta las personas pueden percibe el lenguaje oral y la mayoría de sonidos del entorno, cuando la deficiencia auditiva es mayor a 70 decibelios se la conoce como sordera esta impide la percepción del lenguaje oral y los sonidos ambientales y finalmente anacusia es la pérdida total de la audición. (Nunan, 2013).

El método comúnmente usado para determinar el tipo y grado de pérdida de audición se la realiza mediante la audiometría, dependiendo de esta se la puede clasificar tal como muestra la tabla 1.2.

Tabla 1.2.  
Clasificación de la pérdida auditiva

GRADO DE PERDIDA	DECIBELIOS
Audición normal	10 a 20 dB
Leve	21 a 40 dB
Moderada	41 a 70 dB
Severa	71 a 90 dB
Profunda	mayor 90dB

Nota. Las características fueron tomadas de ( Cañazares, 2015)  
Elaborado por: Pamela López

## **1.5 Audiometría**

La audiometría son técnicas que permiten medir la capacidad que tiene una persona para escuchar sonidos, este se lo realiza utilizando un instrumento que genera distintas frecuencias de sonido produciendo un resultado grafico que ayuda a determinar posibles causas de la pérdida auditiva. (Boix, 2013)

### **1.5.1 Audiometría tonal liminar**

La audiometría tonal permite evaluar la capacidad auditiva de una persona mediante la estimulación con sonidos a diferentes frecuencias para cada oído, obteniendo así el nivel de presión sonora mínima que puede percibir una persona, este indica si hay o no pérdida de audición, la probabilidad de que el sonido sea oído es aproximadamente del 50%. (Rodriguez & Algarra, 2014)

En la audiometría tonal las frecuencias son sonidos puros comprendidos entre los 125 y 8000Hz, dichas frecuencias están separadas por incrementos de 1 octava (el doble del valor anterior), se examinan dos modos de exploración; por vía aérea que se realizar mediante auriculares o por vía ósea el que se coloca un vibrador sobre la mastoides. (Rodríguez & Algarra, 2014)

### **1.5.2 Audiometría tonal supraliminar**

Incorpora un grupo de pruebas caracterizadas por utilizar como estímulos sonidos cuya intensidad está por encima del umbral de audición (intensidad mínima de sonido), la audiometría supraliminar no es una única prueba sino que está constituida por un conjunto de test que se utilizan fundamentalmente en el estudio de las hipoacusias perceptivas. (Rodriguez & Algarra, 2014)

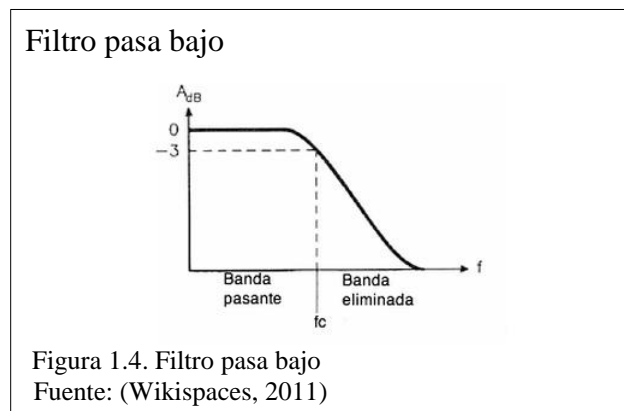
Para Héctor Hernández (2011) en la audiometría tonal supraliminar se evalúa tres categorías de distorsiones: la primera se refiere a la distorsión en el eje de la intensidad, la cual hace referencia a la relación deficiente entre la sensación psíquica de intensidad e Intensidad física del sonido, es una distorsión de volumen; la segunda relaciona la

distorsión en el eje del tiempo esta describe una sensación inusualmente larga; finalmente la distorsión en el eje de las frecuencias relaciona la altura de un sonido anómalo o un sonido considerado como ruido, el oído considera distinto un tono que pertenecería a la frecuencia determinada, se descubre mediante el simple interrogatorio y la audiometría tonal normal.

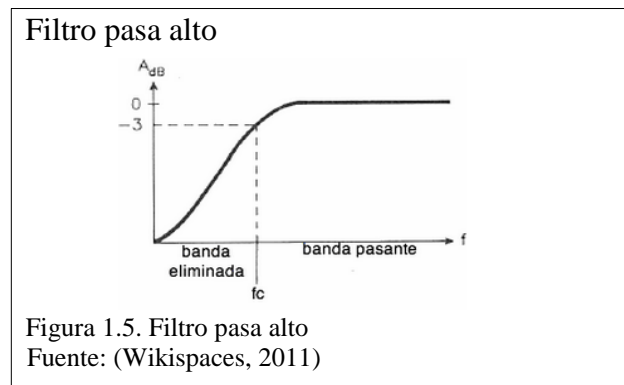
## 1.6 Filtros

Los filtros son componentes de gran relevancia en la mayoría de instrumentos electroacústicos, a continuación se describen los más comunes.

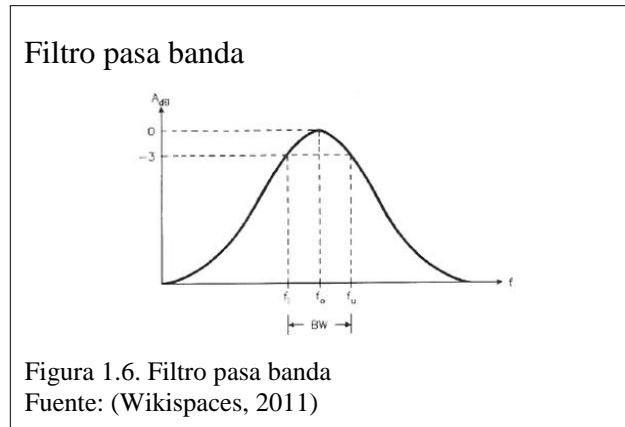
Los filtros pasa bajo se caracterizan por dejar pasar las frecuencias que están por debajo de una determinada frecuencia, como se puede apreciar en la figura 1.4.



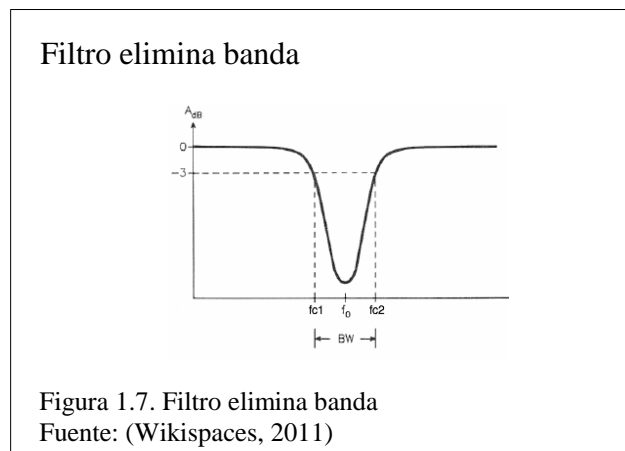
Los filtros paso alto dejan pasar las frecuencias que están por encima de una determinada frecuencia como se observa en la figura 1.5.



La figura 1.6 muestra el filtro paso banda, estos dejan pasar las frecuencias que están situadas en una determinada banda de frecuencia, es decir, entre dos determinadas frecuencias.



Los filtros rechazo de banda dejan pasar todas las frecuencias excepto las que están situadas en una determinada banda de frecuencia, tal como muestra la figura 1.7.

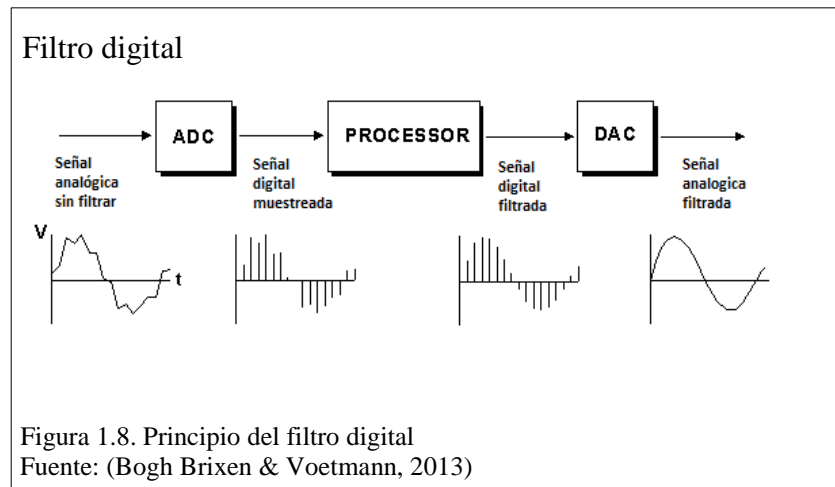


### 1.6.1 Filtros Analógicos

Los filtros analógicos interpretan con mayor relevancia sobre el dominio de la frecuencia, sus propiedades cambian con el tiempo además pueden verse alterados por el ambiente de trabajo. Su principal desventaja es la inexactitud y las desviaciones constantes de sus elementos que atraen fallas sistemáticas. (Bogh Brixen & Voetmann, 2013)

### 1.6.2 Filtros Digitales

Es una operación matemática que toma la señal de entrada y transforma en otra señal de salida con el fin de destacar o disminuir ciertas características. En la figura 1.8 se puede apreciar el principio de funcionamiento de este filtro. Tiene varias aplicaciones como son: separación de señales, la recuperación de señales, la creación o modificación de señales y efectos de audio; su principal ventaja es que son completamente estables. (Blanco Velasco & Cruz Roldán, 2013)



### 1.6.3 Tipos de filtros digitales

Filtros de respuesta al impulso finita (FIR) es un sistema no recursivo en el cual su entrada será una señal de impulsos y su salida será un número determinado de términos no nulos. (Ojeda, 2014)

Los filtros con respuesta impulsional infinita (IIR) son estructuras en el cual si la entrada es un impulso su salida será un número definido de términos no nulo, se caracterizan por tener retroalimentación de la señal de salida. (Ojeda, 2014)

En la tabla 1.3 se observan las principales características de los filtros IIR y FIR, está permitirá elegir qué tipo de filtro va a ser utilizado dependiendo de sus ventajas y necesidades.

Tabla 1.3.  
Comparación entre filtros IIR y FIR

CARACTERÍSTICAS	IIR	FIR
Número de multiplicaciones necesarias	Menos	Más
Sensibilidad a la cuantificación de coeficientes del filtro	Puede ser alta. Se necesitan coeficientes de 24 bits para audio de alta fidelidad	Muy baja. Coeficientes de 16 bits satisfacen los requerimientos de la mayoría de los FIR
Probabilidad de errores de desborde	Puede ser alta	Muy baja
Estabilidad	Depende del diseño	Garantizada
Fase lineal	NO	Garantizada
Puede simular prototipos de filtros analógicos	SI	NO
Memoria de coeficientes necesaria	Menos	Más
Complejidad del Hardware controlador del filtro	Moderado	Simple
Disponibilidad de software de diseño	Buena	Muy buena
Dificultad de análisis del ruido por cuantificación	Más complicado	Simple

Nota. Las características fueron tomadas de (Torasso, 2016)  
Elaborado por: Pamela López

### **El orden de un filtro**

Para Emilia Gómez (2009) el orden de un filtro está dado por el número de muestras anteriores a la actual que se utilizan en un filtro para producir una muestra de salida.

Un filtro de primer orden emplea una sola muestra anterior. En cambio para el filtro de segundo orden se utilizara dos muestras precedentes de entrada y dos muestras precedentes de la salida.

## 1.7 Prótesis auditivas

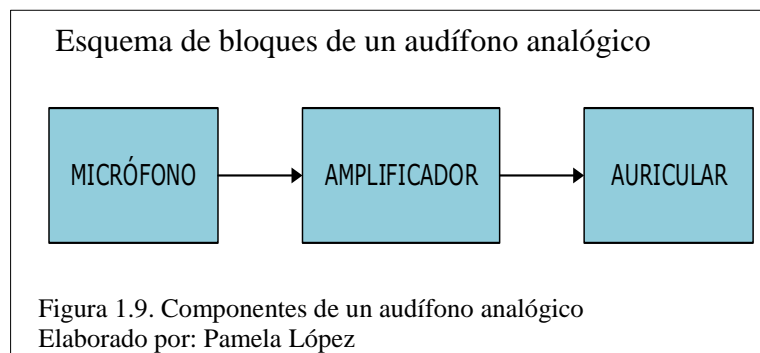
Las prótesis auditivas son dispositivos que compensan algún tipo de deficiencia auditiva de manera artificial, permitiendo a la persona captar sonidos con fidelidad, la tecnología que usan las prótesis pueden ser analógica y digital. (Serra , Brizuela, & Baydas , 2015)

### 1.7.1 Prótesis analógicas

Este tipo de prótesis están equipadas con acoples manuales como el control de regulación que permite variar la respuesta y ajustarla a la necesidad del paciente. (Serra , Brizuela, & Baydas , 2015)

#### Funcionamiento y componentes del audífono analógico

El diagrama de bloques de la figura 1.9 muestra los componentes básicos de un audífono , el primer bloque es el micrófono con el cual se convierte la señal acústica en eléctrica, luego está el amplificador su función es incrementar la señal en ganancia y máxima de salida, dentro de este bloque se encuentra la batería la cual suministra energía al dispositivo para que funcione, finalmente para que el proceso esté completo se reconvierte la señal amplificada y optimizada en señal acústica por medio del parlante y se la trasmite hacia el oído. (Serra , Brizuela, & Baydas , 2015)



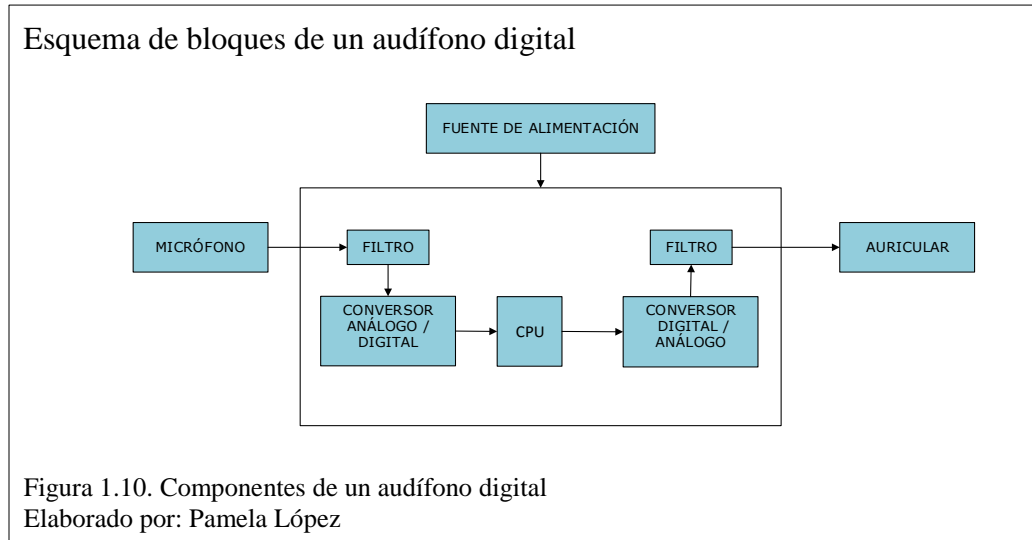
### 1.7.2 Prótesis Digitales

Héctor Hernández (2014), con el avance de la tecnología este tipo de prótesis tiene gran variedad de ventajas gracias a la posibilidad de procesar la señal acústica de entrada para convertirla en una señal digital y así mejorar la calidad de sonido.



## Funcionamiento y los componentes del audífono digital

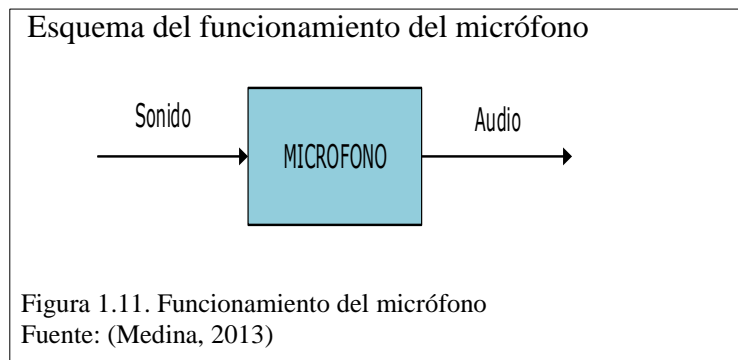
Este audífono tiene similares componentes que el auxiliar analógico visto anteriormente como: el micrófono, el auricular, la fuente de energía, lo que marca la diferencia es los circuitos que integran el procesamiento de la señal. (Hermández, 2014)



Como se puede observar en la figura 1.10 , el bloque encargado de procesar la señal está formado por: filtros estos proporcionan el paso de señales eléctricas a un determinado margen de frecuencia, además posee transductores ADC (conversor análogo-digital) y DCA (conversor digital-análogo), el primero transforma la señal proveniente del micrófono en un señal digital, el segundo realiza el proceso inverso, transforma la señal digital ya tratada en una señal análoga, finalmente cuenta con una unidad central de proceso que trata la señal y proporciona los valores de ganancia correctos para entregar la señal mejorada.

### 1.8 Micrófono

Según Bogh Brixen y Voetmann (2013) el micrófono es un instrumento que transforma la energía acústica en energía en eléctrica. Obsérvese en la figura 1.11, el principio de funcionamiento empieza cuando una membrana vibra, este movimiento es convertido en una señal eléctrica a través de un acoplamiento electromecánico.



### **Tipos de micrófono (Medina, s/f)**

Los micrófonos se pueden clasificar dependiendo de su construcción, por su direccional y por el nivel de salida. En la tabla 1.4 se muestra los distintos tipos de micrófonos, para su elección dependerá de las características técnicas y de la necesidad.

Tabla 1.4.  
Características de los micrófonos.

Micrófono	Característica	Tipos	Funcionamiento
Transductor	¿Cómo capta el sonido?	Dinámicos	Se basa en la inducción electromagnética
		Capacitivos	La capacitancia varía de acuerdo al campo sonoro
Patrón polar	¿Desde qué direcciones capta el sonido?	Omnidireccional	Captan el sonido indistintamente de donde provenga
		Unidireccional	Capta sonido desde una sola dirección
		Bidireccionales	Captan por igual el sonido en las dos direcciones opuestas
Respuesta en frecuencia	¿Cuál es el nivel de salida?	Frecuencia plana	Todas las frecuencias audibles tienen el mismo nivel de salida
		Frecuencia personalizada	Mejoran una fuente de sonido en una aplicación concreta

Nota. Las características fueron tomadas de (Medina, 2013)  
Elaborado por: Pamela López

## 1.9 Auricular

Los auriculares son transductores que convierten la señal eléctrica en señal acústica, está formado por una bobina, un imán y un cono, cuando llega una corriente eléctrica a la bobina se transforma en electroimán puesto que crea un campo electromagnético haciendo que la bobina este magnetizada, el movimiento de la bobina mueve una membrana que produce ondas sonoras. (García , 2015)

### Tipos de auriculares

Como se observa en la tabla 1.5 existen diferentes tipos de auriculares: circumaurales, supraaurales, intraurales, abiertos y cerrados, su finalidad va a depender de las necesidades de cada individuo. Los comúnmente utilizados para realizar las pruebas audiométricas son los auriculares circumaurales

Tabla 1.5.  
Características de los audífonos

Tipos	Característica	Ventaja	Gráfico
Circumaurales	Recubren totalmente la oreja	Ofrecer gran calidad de sonido.	
Supraaurales	Su tamaño es reducido	Menor calidad de sonido	
Intraurales	Introducen directamente en canal auditivo	Producen un mejor aislamiento	
Cerrados	Aíslan del sonido externo	Tienen un sonido más <i>embotellado</i>	
Abiertos	Dejan salir gran parte del sonido	El sonido es más natural y fidedigno	

Nota. Las características fueron tomadas de (zococity, 2015)  
Elaborado por: Pamela López

### 1.10 Fuente de Alimentación

Es la que proporciona la energía eléctrica de tensión o corriente, frecuencias específicas y potencia necesaria para que los dispositivos electrónicos funcionen de manera adecuada. (Alloza , 2014)

#### Pilas y Baterías

Son un instrumento que transforma la energía química en energía eléctrica, existen diferentes tipos y cada uno depende de su necesidad algunos tipos de baterías se detallan en la tabla 1.6.

Tabla 1.6.  
Características de las baterías

Baterías	Características	Tipos	Duración	Contaminación	Aplicaciones
Primarias	Bajo voltaje	Salinas	Media -baja	Bajo	Aparatos sencillos
	No recargables	Litio	Muy alta	Medio	Maquinaria tecnológica
	Desechables	De botón	Alta	Muy alto	Marcapasos , audífonos
Secundarias	Recargables	Níquel - cadmio	Muy alta	Muy alto	Variado
		Plomo- acido	Alta	Muy alto	Automóviles
		Litio	3 años	Medio	Aparatos electrónicos

Nota. Las características fueron tomadas de (Gonzalez, 2010)  
Elaborado por: Pamela López

### 1.11 Microcontrolador

El microcontrolador es considerado un pequeño computador, tiene prestaciones limitadas complejas para ser alteradas, la parte más importante de este es el microprocesador.

El microprocesador es un circuito integrado que abarca la unidad central de proceso, permite interpretar y ejecutar operaciones con instrucciones dadas, cuando a este se conectan circuitos integrados que contengan la memoria y los módulos de entrada y

salida se convierte en un microcontrolador. (Angulo Usategui, Angulo Martín, & Etxebarria Ruiz, 2007)

### Familias de microcontroladores

Actualmente existe una gran variedad de microcontroladores con requerimientos y prestaciones variadas. Se los puede elegir dependiendo del fabricante y modelo que se acondicionen a nuestras necesidades, en la tabla 1.7 se describen los fabricantes comúnmente utilizados.

Tabla 1.7.  
Familias de microcontroladores

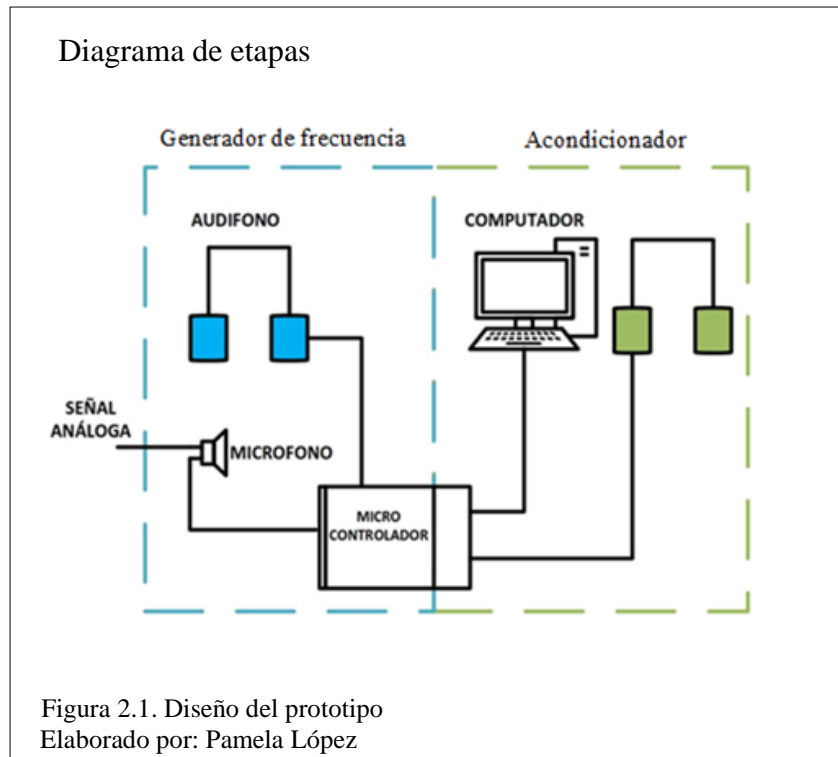
EMPRESA	FAMILIA	ESTRUCTUTRA
ATMEL	AT89xxx	CISC 8 bits 8051
	TS87xxx	CISC 8 bits
	AVR	RISC 8 bits
	AT91xxx	RISC 16 bits ARM7/9
FREESCALE	HC05	CISC 8 bits 6800
	HC08	CISC 8 bits 6809
	HC11	CISC 8 bits 6809
	HC16	CISC 16 bits
	HC13	CISC 16 bits
	58800	CISC 16 bits
	68K	CISC 16 bits
	coldFire	CISC 32 bits
		CISC 32 bits 68001
MAC7100	RISC 32 bits ARM7	
MICROCHIP	PIC 10,12,14,16,17,18	RISC 8 bits
	dsPIC.	RISC 16 bits

Nota. Las características fueron tomadas de (Hernández, 2014)  
Elaborado por: Pamela López

## CAPÍTULO 2

### DISEÑO

El diseño del prototipo de audífono consta de dos etapas como muestra la figura 2.1, la primera se refiere a la prueba de audiometría la que permite determinar las frecuencias a ser tratadas, la segunda etapa se refiere al acondicionamiento de las frecuencias para que sean percibidas por el oído humano con fidelidad.



### 2.1 Etapa de audiometría

Para la prueba se tomará como base la audiometría tonal liminar, dado que esta facilitará evaluar los umbrales auditivos en distintos tonos, con lo que se determinara frecuencias en las que el paciente escucha con dificultad.

Según Boix (2013) las frecuencias estándar para realizar esta prueba son: 250Hz, 500Hz, 1000Hz, 2000Hz, 4000Hz, 8000Hz.

## **2.2 Etapa de acondicionamiento**

Una vez finalizada la etapa de audiometría, se obtienen los tonos que el paciente escucha con claridad, estos serán acondicionarlos mediante filtros para posteriormente ser enviados al auricular.

Para esta etapa se utilizará el microcontrolador y entorno de programación utilizados en la etapa anterior, además será necesario emplear otro tipo de auriculares puesto que necesita tener mayor comodidad pues serán utilizados durante un largo periodo de tiempo, adicionalmente se utilizará una cargador externo que permita que el circuito funcione independientemente.

## **2.3 Descripción del proceso**

En primera instancia para realizar la prueba de audiometría el evaluador explicará las instrucciones al paciente, se le pedirá al paciente que realice una señal cada vez que escuche un sonido. Seguidamente se le solicitará colocarse los audífonos y terminada la explicación se le enviará una serie de tonos a diferentes intensidades. Se seleccionará el oído a ser evaluado uno a la vez y a continuación se generarán tonos puros a las frecuencias antes mencionadas las cuales son enviadas al oído del paciente por medio del auricular.

Se variará los niveles de intensidad hasta que el paciente escuche el tono con claridad y levantará la mano, luego se procederá a realizar el mismo procedimiento con el otro oído. Una vez finalizada esta prueba se almacenarán las frecuencias con su respectivo valor de intensidad y se graficarán los resultados obteniendo un respaldo de los datos, la figura 2.2 muestra el flujograma del proceso antes mencionado.

Diagrama de flujo del prototipo

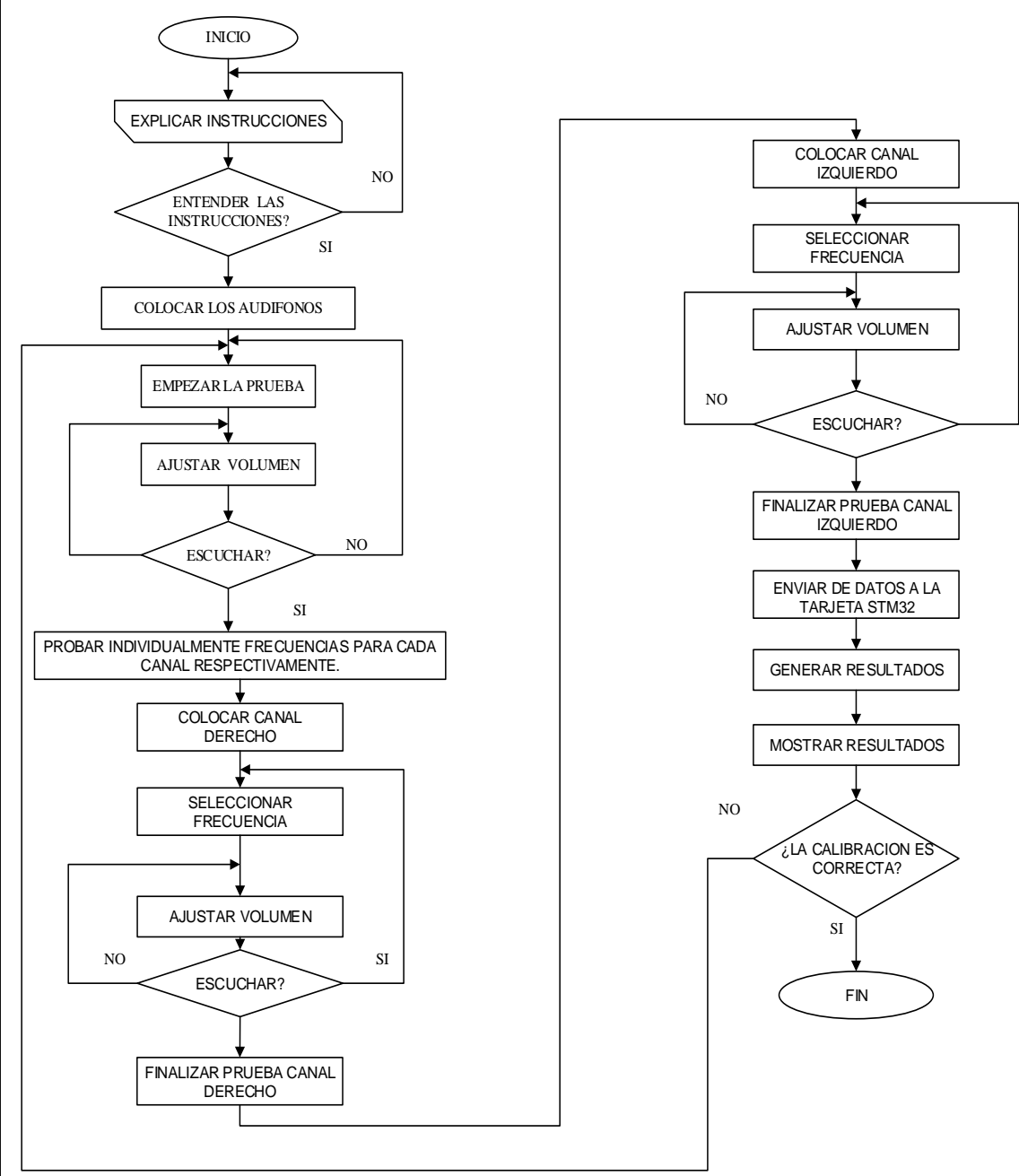
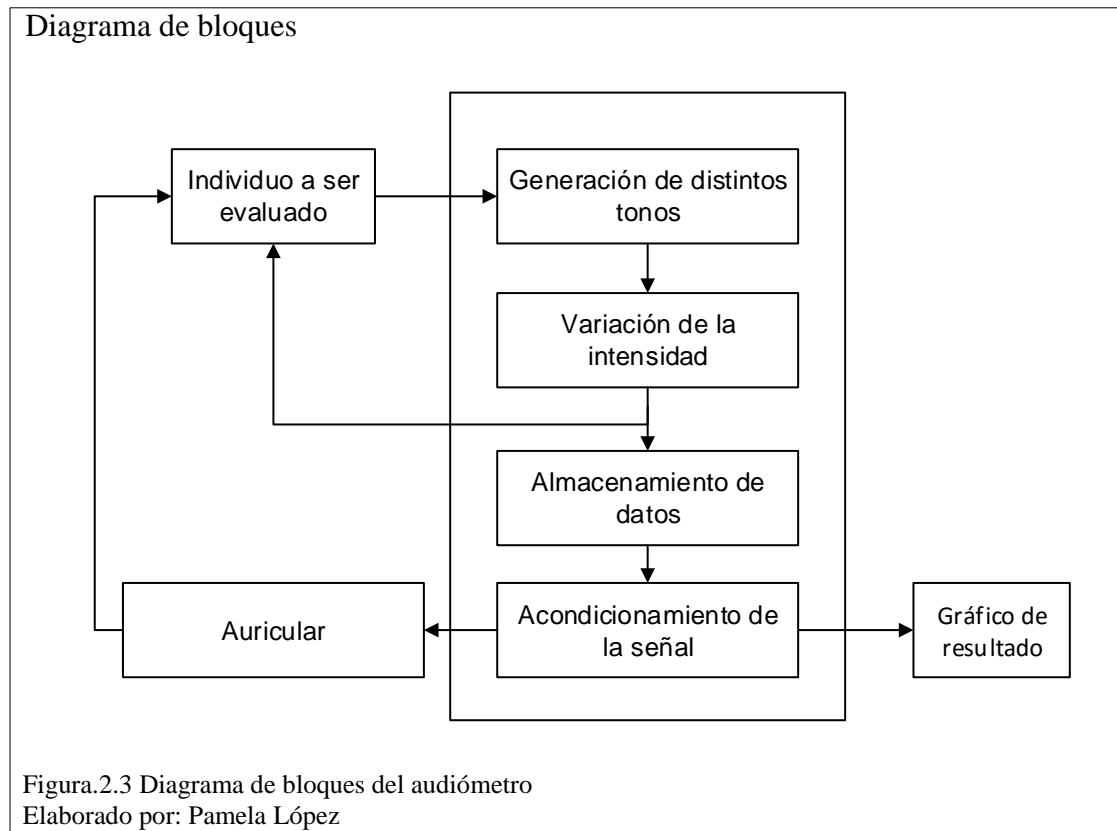


Figura 2.2. Flujograma del prototipo de auxiliar auditivo  
Elaborado por: Pamela López



## 2.4 Diseño por diagrama de bloques

La figura 2.3 muestra el diagrama en bloques del prototipo diseñado, el cual consta de bloques para el generador de frecuencias, la variación de la intensidad, el almacenamiento de datos, el acondicionamiento de la señal, el gráfico de resultados y los auriculares.



## 2.5 Requerimientos de diseño

A continuación se especificará los elementos principales para el diseño.

### Microcontrolador

Se determinó utilizar la tarjeta STM32f407 perteneciente a la familia de los ARM, puesto que tiene características que son importantes para realizar este prototipo y no requieren de componentes extras. Las principales son:

- Dispositivos de entrada 1 micrófono digital.
- Dispositivos de salida 1 DAC para audio y auriculares.
- Cristal de 16 MHz.
- 1MB de memoria flash.
- 4 KB de RAM.
- Bajo consumo energético.
- Aplicación para trabajar con el entorno de Matlab/ Simulink.

En la figura 2.4 se observa el microcontrolador que va ser utilizado en este proyecto.

Microcontrolador



Figura 2.4 Tarjeta STM32F407  
Elaborado por: Pamela López

### **Audífonos**

Para realizar la prueba de audiometría se utilizará audífonos circumaurales puesto que el recubrir totalmente la oreja, ofrece un mejor aislamiento mejorando la calidad de sonido. Las características más relevantes del audífono a ser utilizado se pueden observar a continuación en la tabla 2.1.

Tabla 2.1.  
Especificaciones Técnicas

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
Modelo	MOYUEM-168i
Tipo	Cúpula
Audífono	Circumaurales
Unidad de control	40mm
Impedancia	32Ω - 1KΩ
Respuesta en frecuencia	20- 22000Hz
Control de volumen	NO
Conector	Jack de 3.5mm

Nota. Las características fueron tomadas de (SONY)  
Elaborado por: Pamela López

Para el uso final del prototipo se empleará audífonos de tipo intraurales por ser de menor tamaño y pueden introducirse en el canal auditivo, además ofrecen un mejor aislamiento. En la tabla 2.2 se observaran sus características.

Tabla 2.2.  
Especificaciones técnicas

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
Modelo	RP-HS34E-K
Tipo	intrauriculares
Capacidad	100mW
Respuesta en frecuencia	10- 25000Hz

Nota. Las características fueron tomadas de (SONY)  
Elaborado por: Pamela López

## Software

Para este proyecto el software a utilizar será la herramienta Matlab porque permite realizar el análisis y diseño de prototipos.

MATLAB es un lenguaje de programación de alto nivel matemático, cuenta con un entorno gráfico amigable y permite ejecutar tareas comunes sin necesidad de programar; además, cuenta con mecanismos que extiende sus prestaciones como por ejemplo:

Simulink (simulación multidominio) es una aplicación diseñada para la simulación y el análisis de sistemas de control por medio de diagramas de bloques.

Editor de interfaces de usuario (GUIDE) es un entorno de programación visual orientada a eventos que proporciona a los usuarios comunicarse con el programa.

### **Fuente de alimentación**

La fuente de alimentación proporciona los niveles de voltaje y corriente requeridos para el funcionamiento de la tarjeta y además proporciona la independencia que el prototipo requiere.

La batería recargable a utilizar es de litio y fue seleccionada por su alta capacidad de almacenamiento de energía y su resistencia a la descarga. Se puede apreciar en la tabla 2.3 las características de la batería.

Tabla 2.3.  
Especificaciones Técnicas

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
Modelo	IGABB41865
Tipo	Litio
Capacidad de rendimiento	8000mAh
Output	5v/1A
Input	5v/1A

Elaborado por: Pamela López

### **Módulo Convertidor de Serial CP2102**

Es un conversor de USB a serial que permite la comunicación del ordenador con la tarjeta STM32. Las especificaciones técnicas se observan en la tabla 2.4.

Tabla 2.4.  
Especificaciones Técnicas

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
Modelo	CP2102
Temperatura de almacenamiento	Min -65°C - máx. 150°C
Voltaje de entrada	Min 4,0 V - máx. 5,25V
Voltaje de salida	Min 0,3V - máx. 4,2V
Corriente de salida	100mA
Corriente de polarización	90 - $\mu$ A
Interfaz de USB	Tipo A conector macho USB
Velocidad de trasmision	hasta 115200bps
soporte usb	USB 2,2

Nota. Las características fueron tomadas de (SILICON LABS)  
Elaborado por: Pamela López

## 2.6 Diseño del software

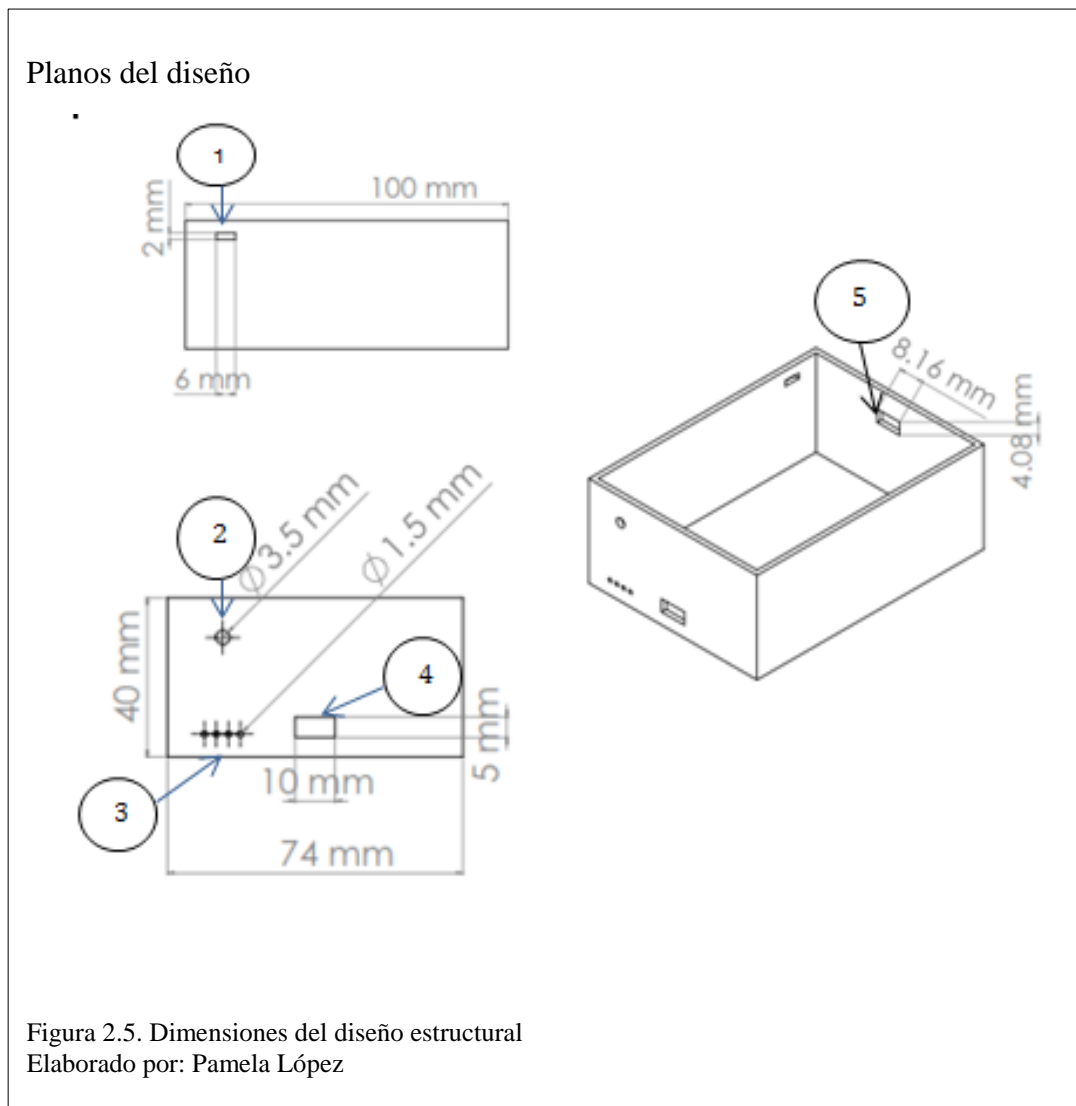
**Generación de tonos.** Es el encargado de proporcionar las frecuencias que van a ser utilizadas en la prueba de audiometría. Las frecuencias a ser utilizadas son: 250Hz, 500Hz, 1000Hz, 2000Hz, 4000Hz, 8000Hz. En la plataforma Matlab con su entorno Simulink se utilizará un bloque de función para generar cada frecuencia.

**Acondicionamiento de señal.** Una vez obtenidas las frecuencias específicas con su respectivo valor de intensidad, estas pasarán por el filtro BIQUAD el cual es el encargado de modificar la señal para cumplir con la necesidad del paciente, este proceso se lo realiza para cada frecuencia y finalmente se enviará todas las señales modificadas a la salida del controlador.

## 2.7 Diseño de la estructura

Para la construcción del prototipo se utilizará el acrílico por ser un producto fácil de trabajar, tiene una alta durabilidad y además es aislante eléctrico. En la figura 2.5 podemos observar las dimensiones estructurales del prototipo, las salidas y entradas.

- 1 Conector serial
- 2 Conector de audio
- 3 Indicadores de nivel de batería
- 4 Conector mini USB
- 5 Conector micro USB



## 2.8 Determinación de parámetros

Para la determinación de parámetros se eligió el SIEMENS Intuis SP DIR porque provee las características básicas para la realización del prototipo, además que es de uso común en el Ecuador.

Obsérvese las características principales del audífono SIEMENS en la tabla 2.5 en base a estas se realizará el prototipo.

Tabla 2.5.  
SIEMENS Intuis SP DIR

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
Max. Ganancia	83dB
Rango de frecuencia	125 - 5900 Hz
Voltaje de la batería	1.3V
Corriente de la batería	1,02mA
Duración d a batería	480h (no recargable)
Ruido de entrada	17 dB
Control de volumen programable	SI
Entrada de audio	Compatible con sistemas FM
Instrumento programable	4 canales
Control de Feedback	SI
Reducción de ruido (DNC)	4 canales
Micrófono	Direccional

Nota. Las características fueron tomadas de (SIEMENS)  
Elaborado por: Pamela López

La tabla 2.6 muestra las características físicas del SIEMENS Intuis SP DIR.

Tabla 2.6.  
SIEMENS Intuis SP DIR

ESPECIFICACIONES FÍSICAS	
Portable	SI
Capacidad de reemplazar almohadillas de caucho de los auriculares	SI
Tamaño reducido.	SI
Inalámbrico	SI

Nota. Las características fueron tomadas de (SIEMENS)  
Elaborado por: Pamela López

## CAPÍTULO 3 IMPLEMENTACIÓN

### 3.1. Hardware

Para la implementación de prototipo se partió de los planos ya referidos en el capítulo de diseño. La figura 3.1 muestra el montaje de la fuente de alimentación la cual cuenta con una batería de litio de 8000 mA lo cual permitirá que el equipo tenga una autonomía de 48 horas aproximadamente.

Fuente de alimentación



Figura 3.1. Montaje fuente de alimentación  
Elaborado por: Pamela López.

La figura 3.2 muestra el acoplamiento de la fuente de alimentación con el controlador STM32, se puede apreciar que existe un aislamiento entre los dos dispositivos para asegurar el óptimo funcionamiento del equipo.

Controlador



Figura 3.2. Acoplamiento fuente de alimentación y controlador  
Elaborado por: Pamela López

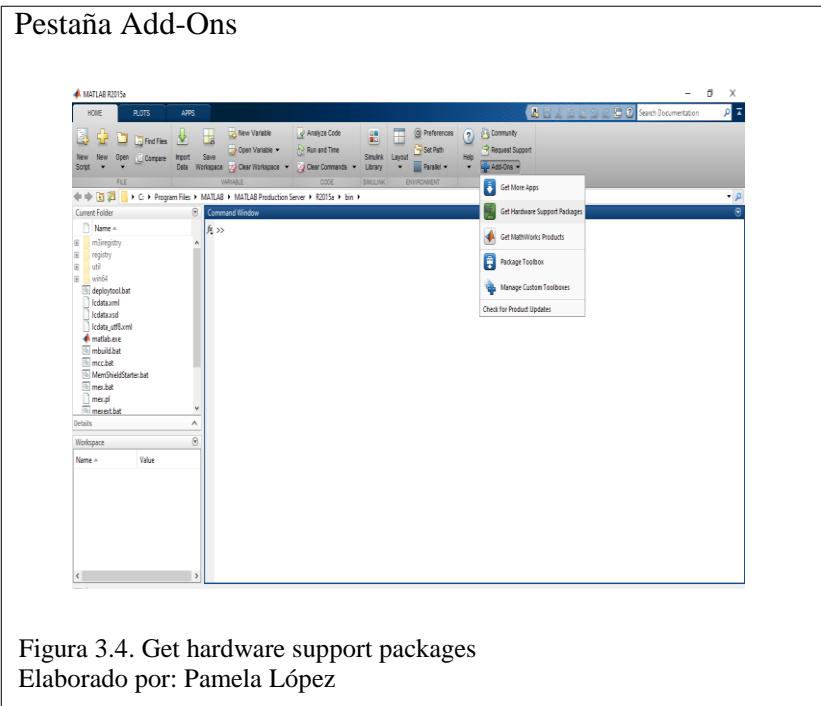


La figura 3.3 muestra la estructura del case del prototipo implementado con el dispositivo, se observa las entradas y salidas.

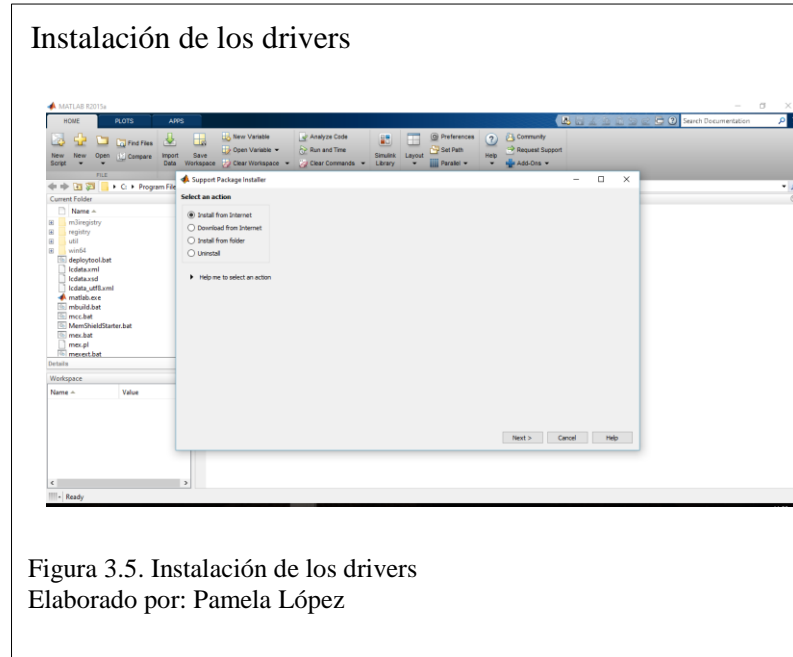


### 3.2. Software

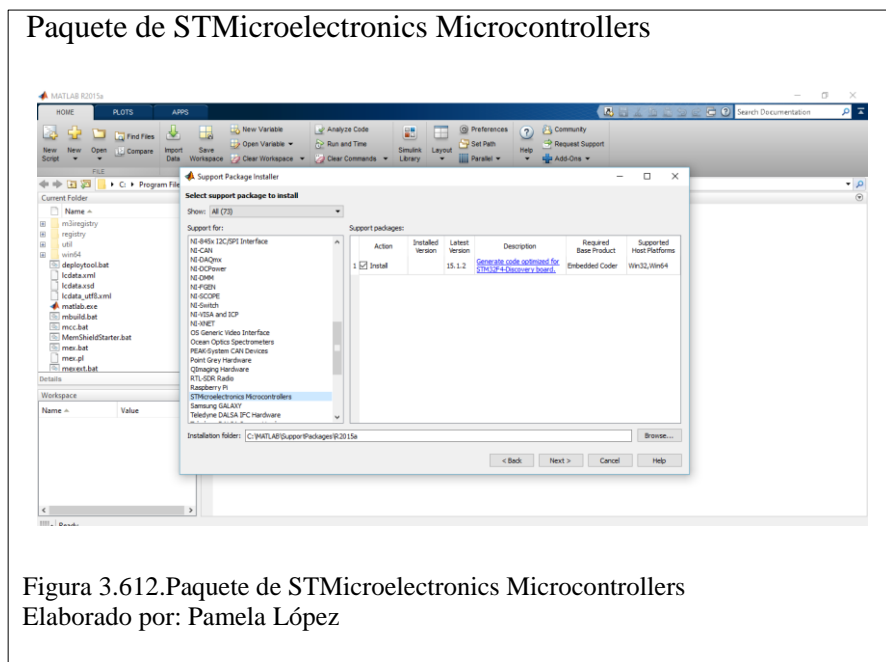
Para iniciar con la implementación del software primero se realizó la respectiva descarga de los drivers para comunicar la tarjeta STM32 con Matlab, los pasos a seguir se describen a continuación.



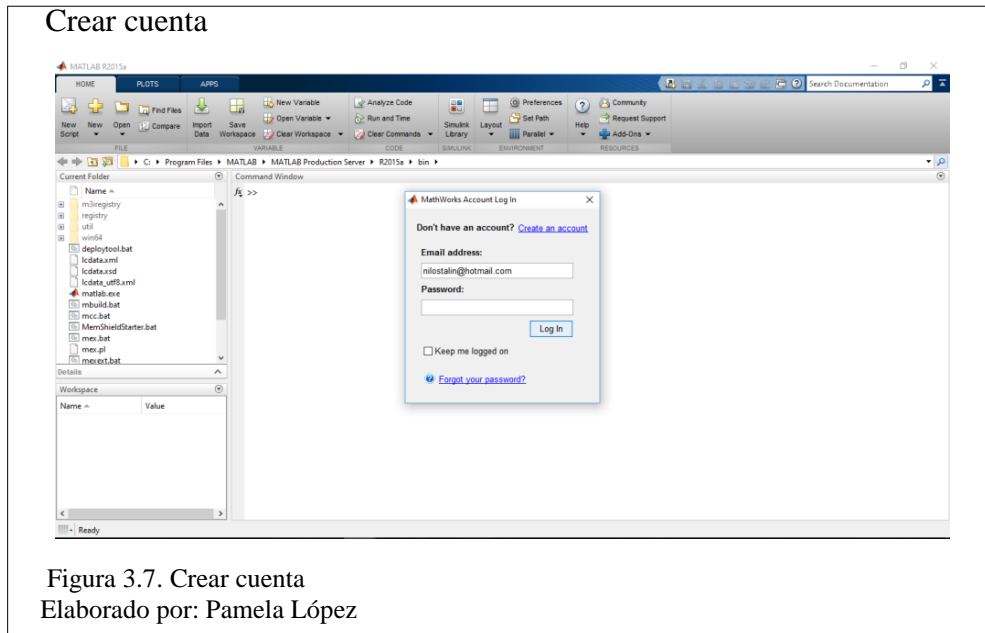
Seleccionamos la pestaña Add-Ons donde se encuentra la herramienta Get hardware support packages como se observa en la figura 3.4.



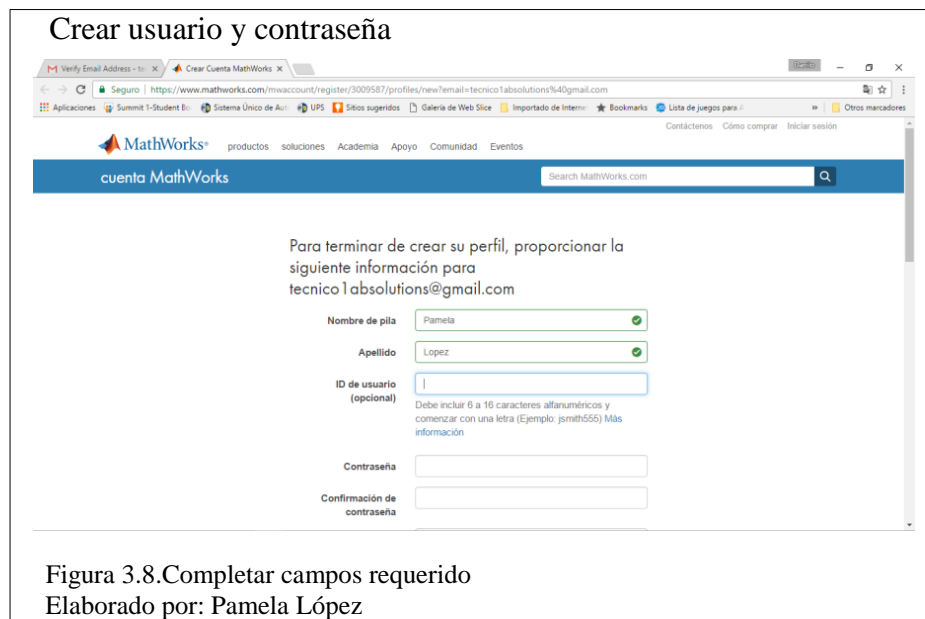
Seguidamente se abrirá el asistente de instalación de los drivers, seleccionar “Install from Internet” como se muestra en la figura 3.5.



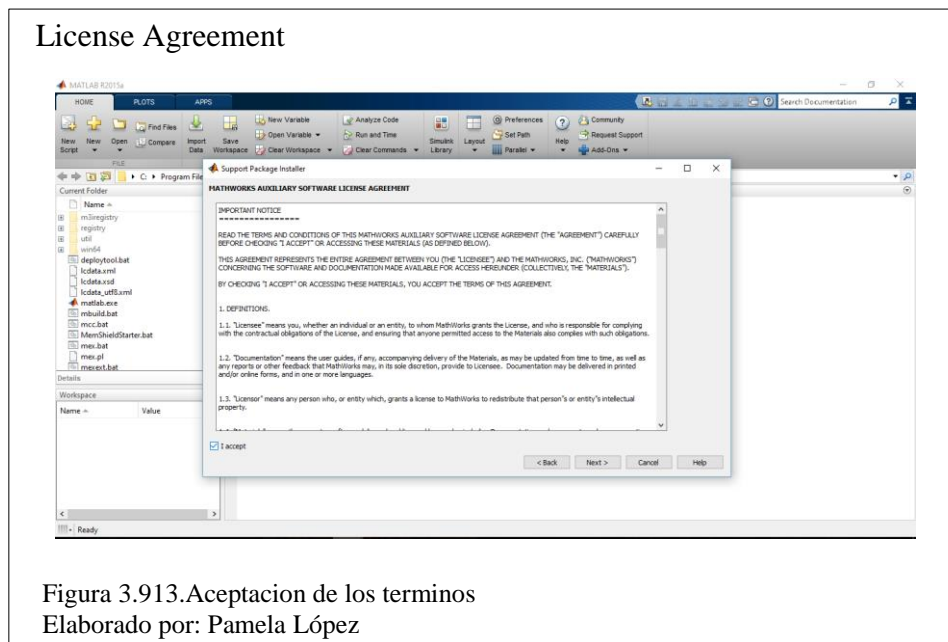
Buscar y seleccionar el paquete de STMicroelectronics Microcontrollers, como se observa en la figura 3.6.



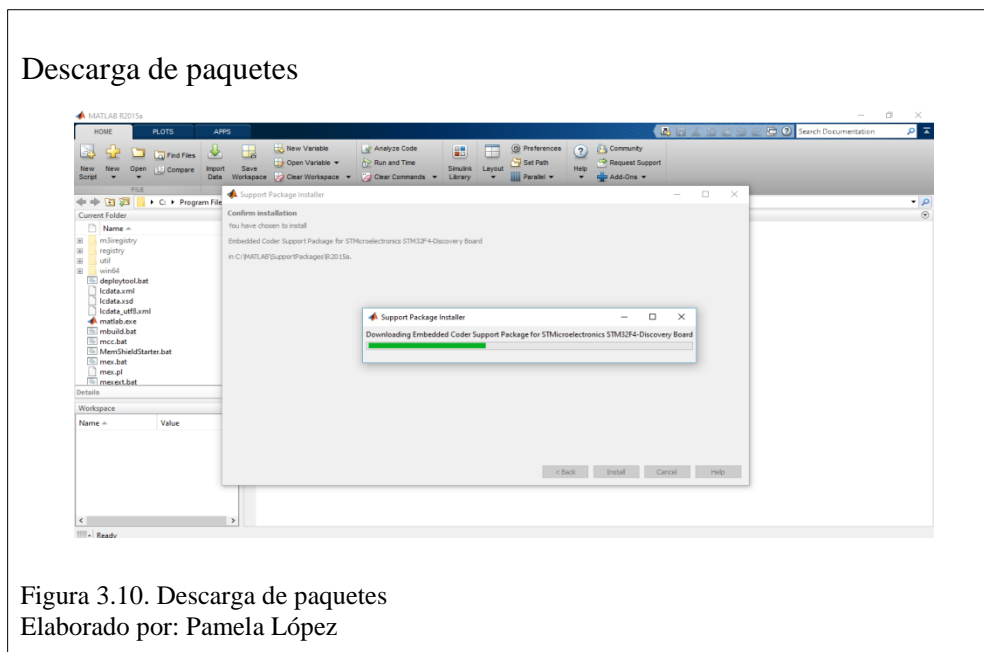
Para la instalación de estos paquetes es necesario tener una MathWords Account, caso contrario hay que crear una cuenta. Como se indica en la figura 3.7.



Para la creación de la cuenta hay que completar los campos solicitados, crear un usuario y contraseña e iniciar sesión en Matlab, tal como se observa en la figura 3.8.

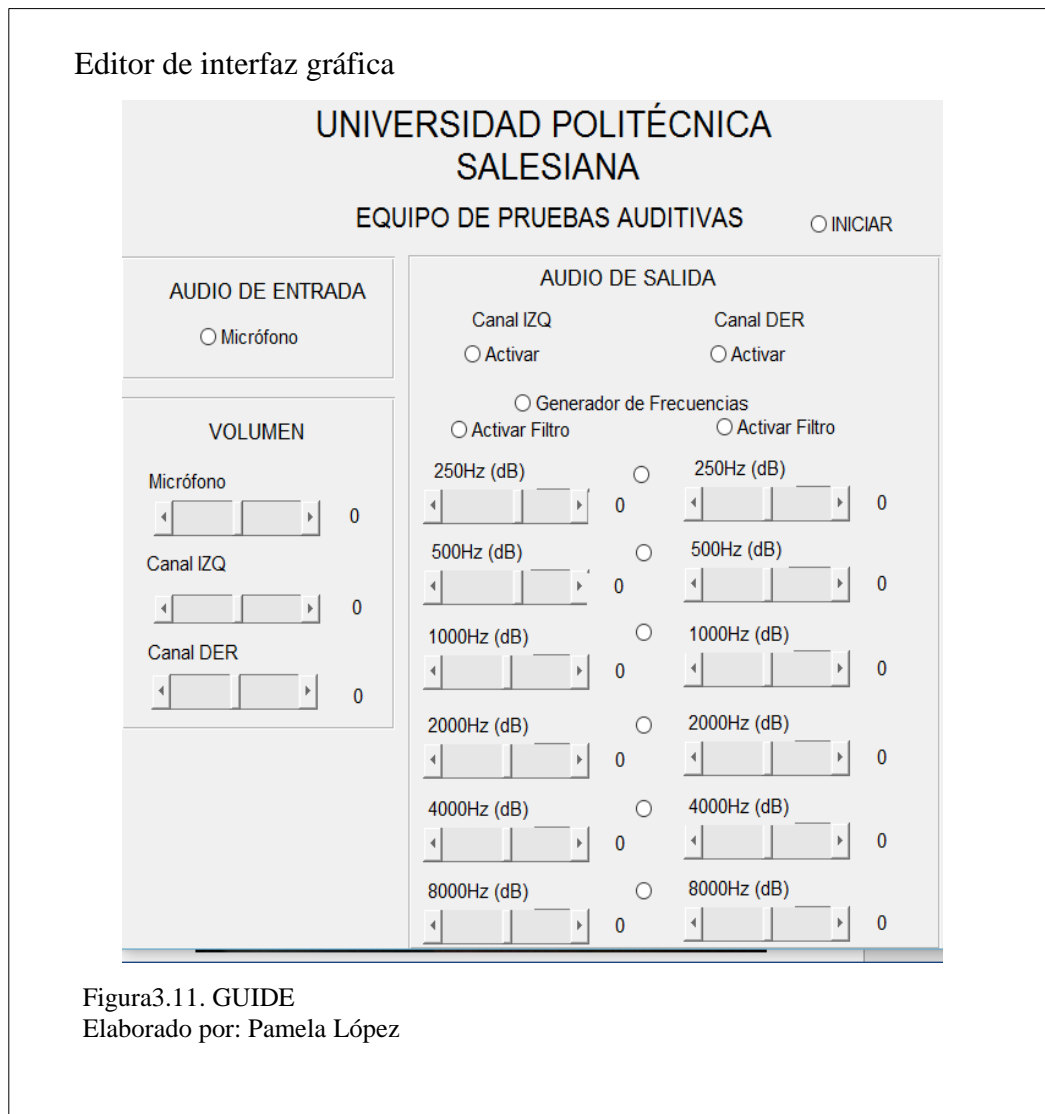


Aceptar el acuerdo para la descarga, como indica la figura 3.9. Una vez descargando los paquetes de drivers se finaliza el proceso. Como se puede apreciar en la figura 26.



## Interfaz gráfica

A continuación en la figura 3.11 se muestra el editor de interfaz gráfica de usuario GUIDE la cual permite al evaluador realizar la audiometría y controlar los diferentes niveles de volumen para cada frecuencia respectivamente, además desde esta interfaz se envía los datos recopilados en la audiometría hacia el prototipo, cuenta con la posibilidad de controlar el micrófono, silenciar o habilitar los dos canales individualmente, habilitar o deshabilitar cada frecuencia, al finalizar la audiometría muestra los resultados mediante gráficas de cada canal.



Antes de iniciar la prueba audiométrica es necesario realizar pruebas de conexión con una utilidad llamada STM32 ST-LINK UTILITY propia del controlador. En la siguiente figura 3.12 se observa que la tarjeta está correctamente conectada.

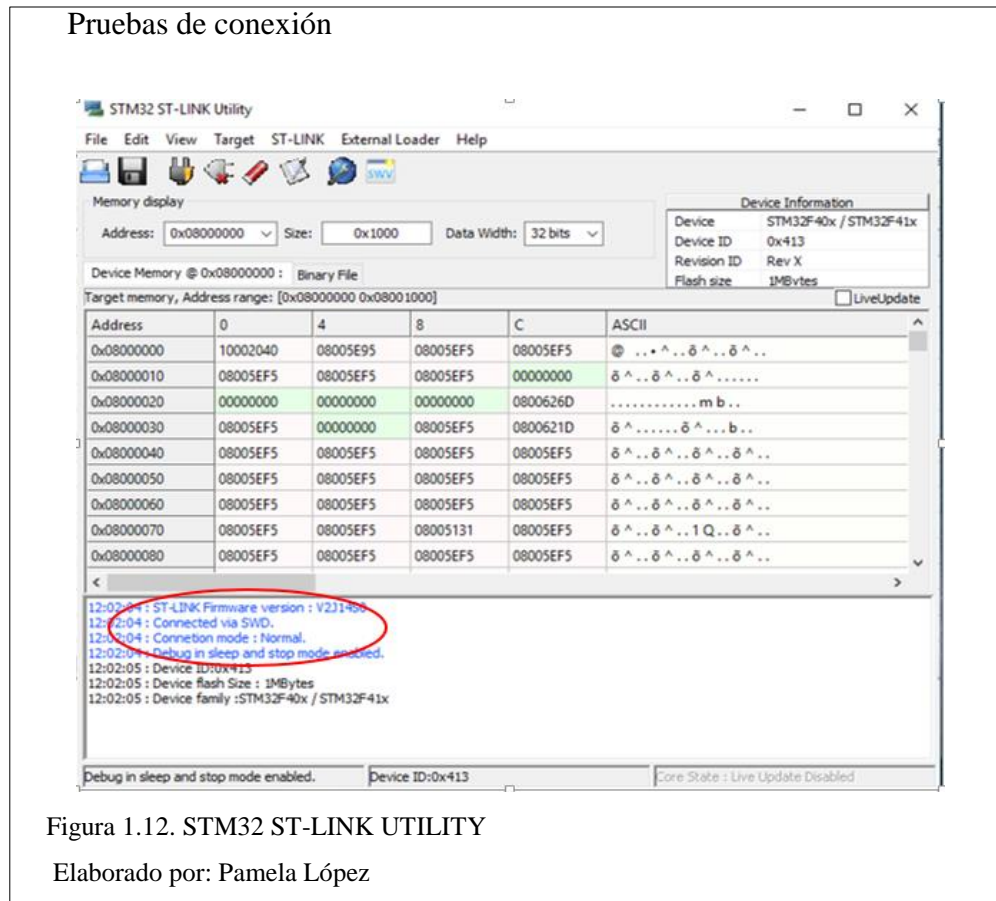


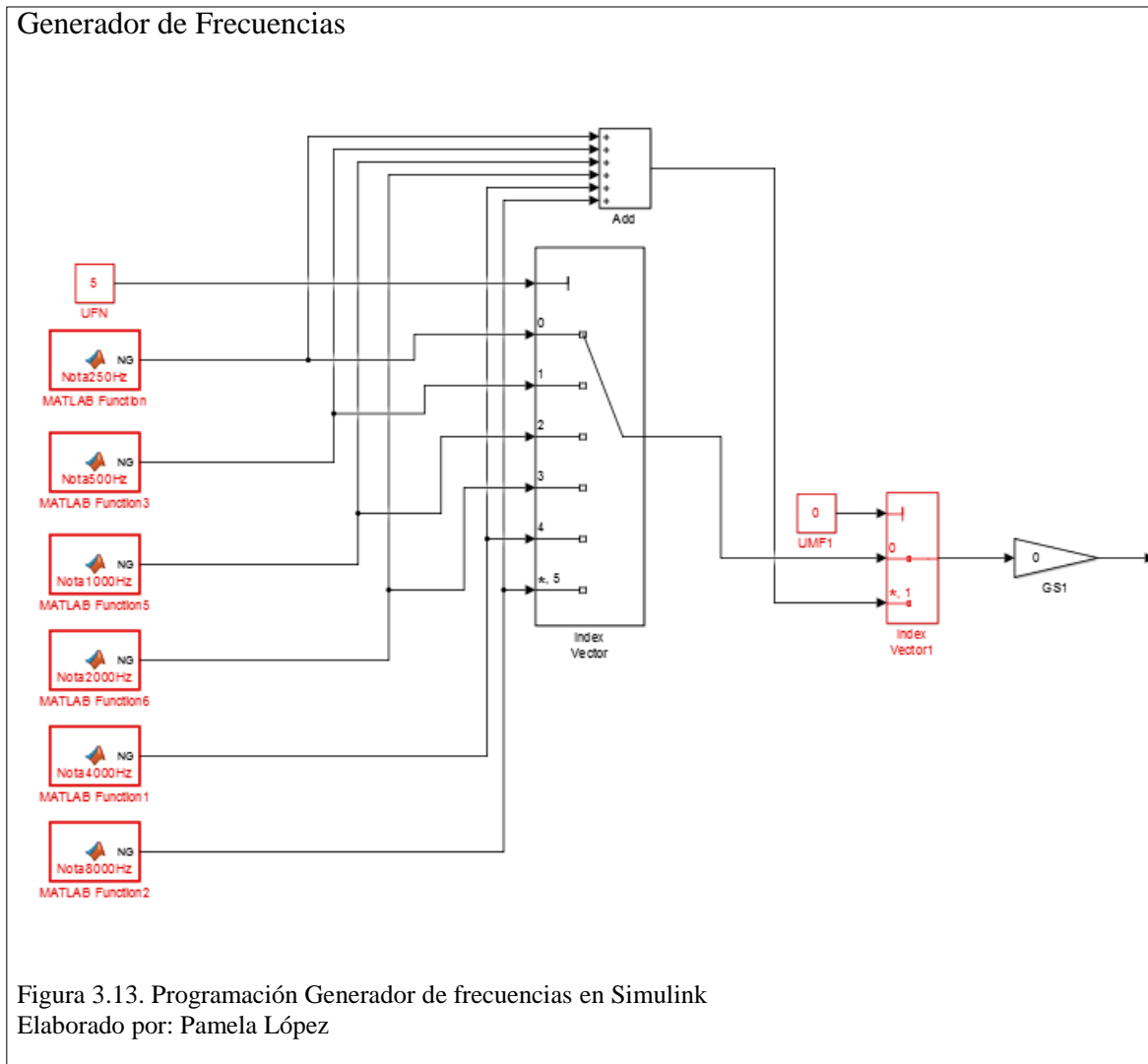
Figura 1.12. STM32 ST-LINK UTILITY

Elaborado por: Pamela López

### Programación Simulink

El controlador fue programado completamente con la herramienta Simulink del software Matlab el cual permite un entorno más sencillo puesto que utiliza bloques de función minimizando las líneas de código, además la conectividad con el controlador se logra a través de la descarga de un paquete utilitario el cual se lo puede obtener directamente de la página oficial de Matlab completamente gratuito.

Para la generación de cada frecuencia se utilizó un bloque de función. Las mismas son unificadas mediante un multiplexor y enviadas al acondicionador de señal como se puede apreciar en la figura 3.13.



El acondicionamiento de las frecuencias se lo realiza mediante la utilización del filtro BIQUAD, como se observa en la figura 3.14. Para este bloque se utilizó la herramienta virtual Biquad calculator v2 que se observa en el anexo 4, la misma que permite realizar el cálculo de los parámetros necesarios para la correcta ejecución del bloque de programa, una vez tratada las señales estas son unidas y enviadas a la salida del controlador. Luego de este procedimiento el prototipo está listo para realizar las pruebas de funcionamiento.

## Acondicionamiento de las Frecuencias

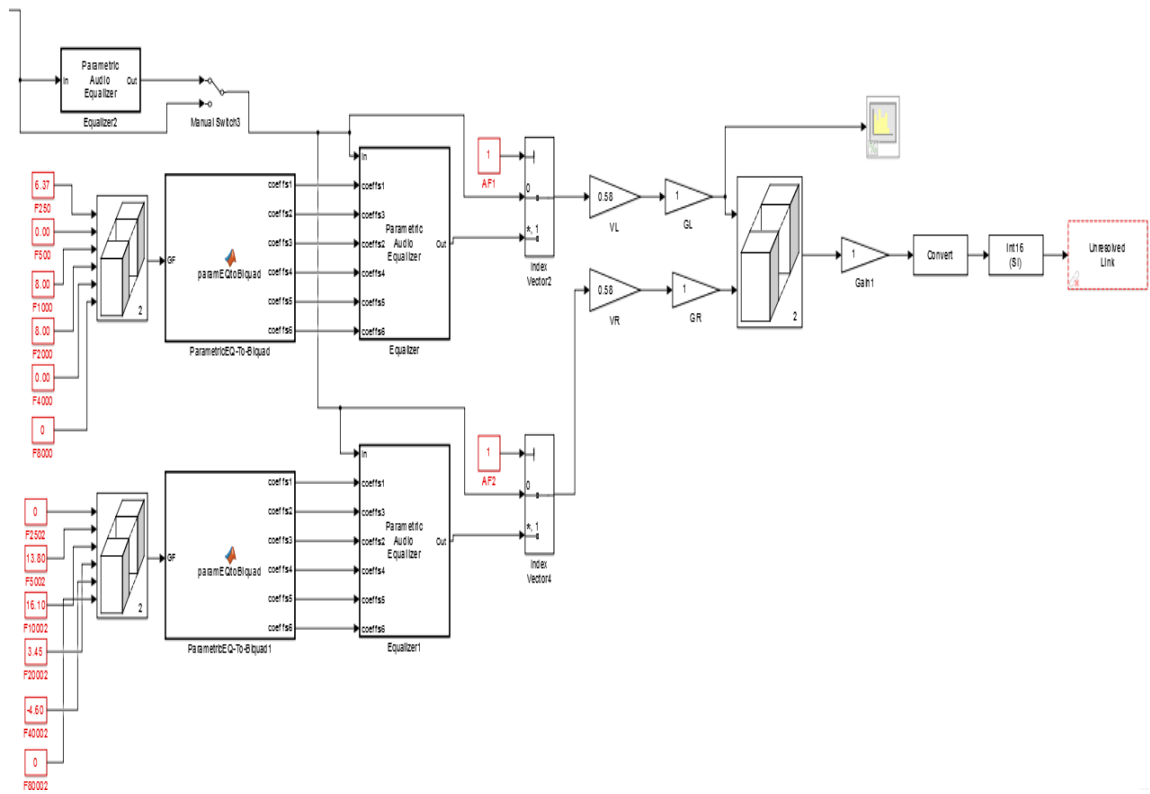


Figura 3.14. Programación acondicionador de frecuencias en Simulink

Elaborado por: Pamela López



## CAPÍTULO 4

### PRUEBAS Y RESULTADOS

Para verificar la funcionabilidad del prototipo se realiza la comparación con el SIEMENS Intuis SP DIR, y se analiza el cumplimiento de las especificaciones técnicas y físicas. En la tabla 4 y tabla 4.1 se presenta el listado de las especificaciones cumplidas.

Tabla 4.1.  
SIEMENS Intuis SP DIR vs Prototipo

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS		
SIEMENS Intuis SP DIR	Prototipo	Cumplimiento
Max. Ganancia 83 dB	Max. Ganancia 100 dB	Mejora
Rango de frecuencia 125 - 5900 Hz	Rango de frecuencia 250 - 8000 Hz	Mejora
Voltaje de la batería 1,3V	Voltaje de la batería 3,3v	Mejora
Corriente de la batería 1,02ma	Corriente de la batería 1ma	Si
Duración de la batería 480h (no recargable)	Duración de la batería 8000mah (recargable)	Si
Ruido de entrada 17 dB	Ruido de entrada 10 dB	No
Control de volumen programable	Control de volumen programable	Si
Entrada de audio, compatible con sistemas FM	Salida de audio conector 3,5 mm	Si
Instrumento programable 4 canales	Procesamiento de Señal Digital (DSP) en 6 canales	Mejora
Control de Feedback	Control de Feedback	Si
Reducción de ruido (DNC) en 4 canales	Reducción de ruido (DNC) en 6 canales	Mejora
Micrófono direccional	Micrófono omnidireccional	Si

Elaborado por: Pamela López

Nota. Las características fueron tomadas de (SIEMENS)

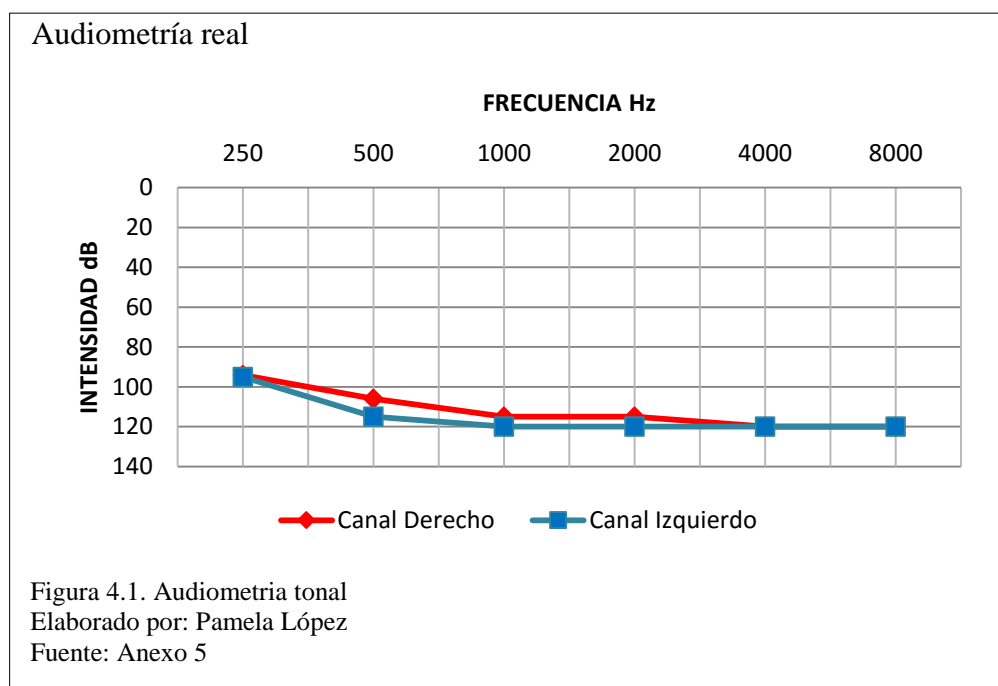
Tabla 4.2.  
Comparación de características físicas

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS		
SIEMENS Intuis SP DIR	Prototipo	Cumplimiento
Portable	Portable	Menor
Tamaño reducido.	Tamaño manejable.	Menor
Sin indicador bajo de batería	Indicador bajo de batería	Mejora

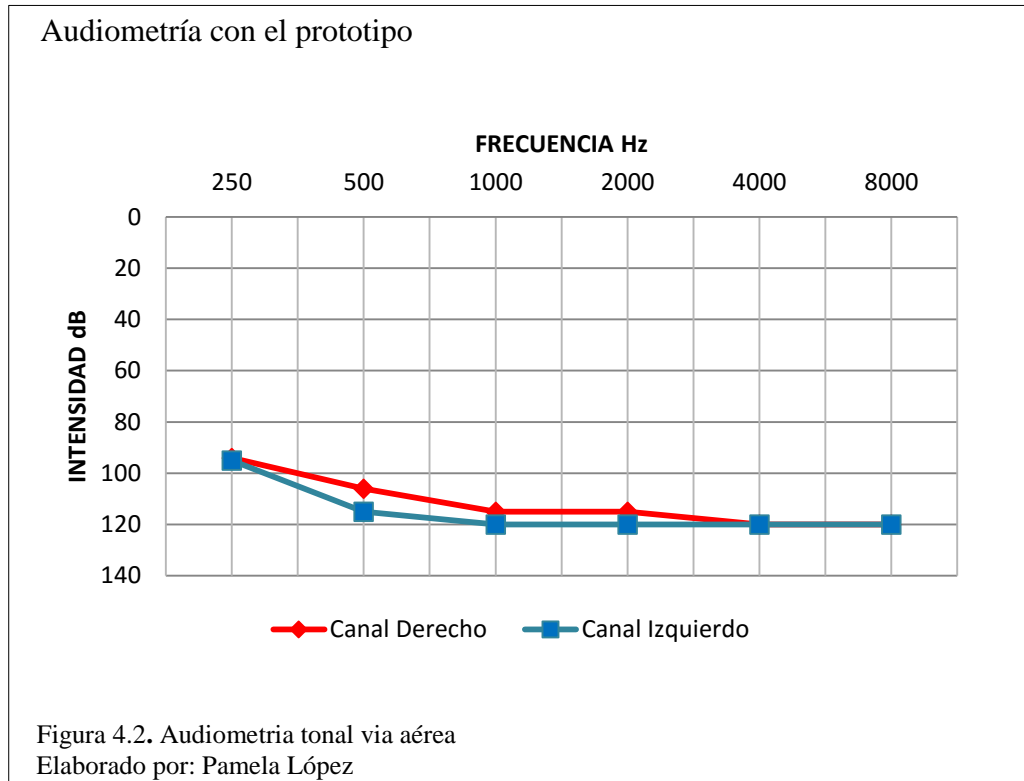
Elaborado por: Pamela López

Nota. Las características fueron tomadas de (SIEMENS)

Para la evaluación del prototipo se tomó como referencia una audiometría tonal real realizada en el centro médico GAES, con el paciente Cesar Manuel Gutiérrez con CI. 1702199660, se realizó la respectiva comparación, evaluación del prototipo y se definió si está dentro de los parámetros requeridos para el producto.



En la figura 4.1 se evidencia una pérdida auditiva severa en el en ambos oídos puesto que las líneas de tendencia muestran que sobrepasa los 90dB, por lo que el paciente tiene la necesidad de utilizar un auxiliar auditivo, sin embargo hay que tener en cuenta que con este tipo de pérdida ya no discrimina las palabras pero se tiene noción del sonido. La figura 4.2 permite apreciar la audiometría realizada con el prototipo



A continuación se realiza una comparación entre las dos audiometrías. Para determinar el error se utilizará la ecuación 1 del cálculo del error porcentual.

$$E = \left| \frac{VALOR REAL - VALOR EXPERIMENTAL}{VALOR REAL} \right| * 100 \quad \text{Ec. (4.1)}$$

Donde el valor real son los datos tomados de la audiometría realizada en el centro médico y el valor experimental hace referencia a los datos generados por el prototipo.

Tabla 4.3.  
Comparación oído derecho

CANAL DERECHO			
FRECUENCIA Hz	AUDIOMETRÍA REAL dB	PROTOTIPO dB	ERROR %
250	90	94	4,40%
500	104	106	1,93%
1000	111	115	3,60%
2000	110	115	4,54%
4000	120	120	0%
8000	120	120	0%
ERROR PROMEDIO			2,41166667

Elaborado por: Pamela López

En la tabla 4.3 se muestra la comparación del canal derecho resultando un error porcentual de mayor del 4% en las frecuencias bajas y en las frecuencias medias.

Tabla 4.4.  
Comparación oído izquierdo

CANAL IZQUIERDO			
FRECUENCIA Hz	AUDIOMETRÍA REAL dB	PROTOTIPO dB	ERROR %
250	90	95	5,50%
500	110	115	4,50%
1000	120	120	0%
2000	120	120	0%
4000	120	120	0%
8000	120	120	0%
ERROR PROMEDIO			1,66666667

Elaborado por: Pamela López

La comparación del canal izquierdo se observa en la tabla 4.4 e indica que el error porcentual alto se tiene frecuencias bajas y medias.

### **Análisis de costo y beneficio**

Para el análisis del costo no se tomó en cuenta las horas de diseño y desarrollo porque se considera el aporte del autor en el diseño del prototipo. Además no se muestra el costo de las licencias ya que se utilizó una versión de estudiante, todos los valores mostrados solo hacen referencia a los gastos de la construcción del producto.

Tabla 4.5.  
Costes del prototipo

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	COSTO
1	Tarjeta STM32F04	1	\$ 60,00
2	Fuente de alimentación	1	\$ 15,00
3	Plancha de acrílico	1	\$ 24,50
4	Juego de cables	1	\$ 6,00
5	Audífonos sport	1	\$ 17,50
6	Audífonos diadema	1	\$ 15,00
7	Tarjeta de comunicación serial	1	\$ 5,00
TOTAL			\$ 143,00

Elaborado por: Pamela López

El costo de fabricación del prototipo se lo puede apreciar en la tabla 4.5. En este punto cabe resaltar que no se puede realizar el análisis de costos total puesto que el precio del auxiliar auditivo no incluye el audiómetro con el que se realizó la prueba, sin embargo el costo aproximado de producto por oído es de 1275 dólares como se puede apreciar en el anexo 7.

Para el análisis costo beneficio se lo realizo con la batería del prototipo, esta tiene una duración de tres años por eso se tomó esta muestra.

Tabla 4.6.  
Comparación cambio de batería

Cambio de batería en tres años		
	siemens	prototipo
Número de cambios	72	1

Elaborado por: Pamela López.

La tabla 4.6 muestra el número de cambios de batería que se necesitarían para un periodo de tres años tomando en cuenta que la duración de las pilas del auxiliar auditivo SIEMENS es de 15 días.

Tabla 4.7.  
Remplazo de batería SIEMENS

Remplazo de batería en tres años siemens		
	Unidad	Total
costo de la batería	\$ 8	\$ 576

Elaborado por: Pamela López.

En la tabla 4.7 se observa el costo que tendría el cambio de la batería considerando que el costo por la pila es \$8.

Tabla 4.8.  
Remplazo de batería Prototipo

Costo batería para un periodo tres años prototipo		
	Unidad	Total
Costo de la batería	\$ 15	\$ 15
Reemplazo de la batería	\$ 50	\$ 50
Total		\$ 65

Elaborado por: Pamela López.

Obsérvese en la tabla 4.8 los costos de batería y de remplazo para el prototipo en un periodo de tres años tomando en consideración que el costo por el cambio de la batería del prototipo es de \$50.

$$\frac{B}{C} = \frac{VAI}{VAC} \quad \text{Ec. (4.2)}$$

B=Beneficios                      VAI= Valor actual de ingresos

C=Costos                              VAC= Valor actual de costos

$$\frac{B}{C} = \frac{\$576}{\$65} = 8.8$$

El análisis costo - beneficio de proyecto es viable cuando  $B/C > 1$ .

## CONCLUSIONES

- De la comparación expuesta en el capítulo de pruebas y resultados se considera que el prototipo cumple con los de requerimientos básicos en cuanto a las características técnicas y físicas, observándose que de las 12 características técnicas comparadas 1 no cumple, 6 se cumplen, y las 5 restantes lo superan lo cual convierte al prototipo en una opción para personas con discapacidad auditiva.
- La prueba auditiva realizada en el centro médico GAES al paciente Cesar Gutiérrez se la comparó con la realizada por el prototipo, se observa que el error porcentual para las frecuencias de 250 Hz y 2000Hz en el canal derecho están alrededor del 4.5%, mientras que para el oído izquierdo se sitúa en la frecuencia de 250Hz obteniendo un error porcentual del 5.5%. En las otras frecuencias el error es menor por lo que el promedio es inferior al 2%, el cual puede deberse a la percepción del sonido del individuo.
- Se cumplió con el objetivo de diseñar e implementar el prototipo de audífono personalizado utilizando componentes existentes en el mercado nacional como son: el microcontrolador STM32F04, los audífonos tipo diadema y el intraauricular, la batería y el conversor serial. Además, todos los componentes cumplen la necesidad de portabilidad y resistencia.
- Se seleccionó el método de audiometría tonal por vía aérea por ser frecuentemente utilizado en centros médicos autorizados. El método no es intrusivo lo cual permite que el paciente se sienta cómodo al momento de realizar la prueba. El método permite al diseñador concentrarse en la parte técnica disminuyendo el riesgo a la seguridad y salud del paciente
- Toda la programación que incorpora el prototipo fue diseñada en matlab con la herramienta Simulink, mediante la utilización del filtro BIQUAD se logró el acondicionamiento de la señal de audio. Se utilizaron filtros FIR de segundo orden que permitió la colocación de las señales en cascada facilitando la programación en bloques y obtenido a la salida una señal audible cubriendo la necesidad del paciente.



- Del análisis costo beneficio realizado se concluye que el proyecto de un audífono personalizado es viable como muestra la ecuación 2 puesto que el resultado es mayor que la unidad, hay que tomar en consideración que el análisis se lo realizó únicamente con respecto a la batería.

## **RECOMENDACIONES**

- Extender la investigación con respecto a la audiometría por vía ósea para obtener un margen de error menor.
- Se recomienda continuar con el desarrollo del prototipo para mejorar el modelo y así masificarlo, reduciendo los costos haciéndolo comercializable.
- Para proyectos posteriores se recomienda realizar el análisis para ampliar el rango de frecuencias y lograr obtener un espectro audible mayor.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alloza , J. (2014). Montaje de componentes y periféricos microinformáticos. IFCT0108. IC Editorial.
- Angulo Usategui, J. M., Angulo Martínez, I., & Etxebarria Ruiz, A. (2007). Microcontroladores PIC: Diseño Práctico de las Aplicaciones Primera Parte : PIC12F508 y PIC 16F84A. Lenguajes Esamblador, Cy PBASIC (4a ed.). España: McGraw-Hill España.
- Asamblea Nacional. (20 de Octubre de 2008). Obtenido de Republica del Ecuador: <http://www.asambleanacional.gob.ec/es>
- AudioConsulta. (2016 de Marzo de 2016). AudioConsulta. Obtenido de <https://audioconsulta.com>
- Barti, R. D. (2013). Acústica Medioambiental (Vol. 1). San Vicente : ECU.
- Blanco Velasco, M., & Cruz Roldán, F. (2013). Tratamiento Digital de Señales. Servicio de Publicaciones . Universidad de Alcalá.
- Bogh Brixen , E., & Voetmann, J. (2013). Electroacústica Práctica. Tébar Flores.
- Boix, M. J. (2013). Acústica y Audiometría. San Vicente (Alicante): Club Universitario.
- Cañizares, G. (2015). Alumnos con déficit auditivo: Un nuevo metodo de enseñanza-aprendiaje. españa: Narcea Ediciones.
- Ciges, M. (1993). Audiologia Aplicada a la Salud Laboral (Nº 22). Recuperado el Diciembre de 2015, de <http://www.juntadeandalucia.es>
- El Cid Editor. (2014). Acústica (Prácticas de Física General). El Cid Editor/Apuntes.
- García , S. (2015). Manual para Radialistas Anafatecnicos. Recuperado el Diciembre de 2015, de <http://www.analfatecnicos.net/>
- Gómez , E. (02 de Noviembre de 2009). Universitat Pompeu Fabra Barcelona. Obtenido de <http://portal.upf.edu/web/etic/inici>
- Gonzalez, M. (28 de Octubre de 2010). La Guia. Recuperado el Enero de 2016, de Quimica: <http://quimica.laguia2000.com/>
- Hermández, H. (01 de Febrero de 2014). infoMED. Obtenido de <http://articulos.sld.cu/>
- Hérnadez, H. (24 de Enero de 2011). infoMED. Recuperado el Enero de 2016, de <http://articulos.sld.cu/>

- Hernández, A. (30 de Noviembre de 2014). TALLERELECTRONICA. Obtenido de <https://tallerelectronica.com/>
- Ignasi, D., & Eduard, J. (2011). Manual Tecnico de Sonido. España: Paraninfo.
- Medina, J. (14 de Marzo de 2013). hispasonic. Obtenido de <https://www.hispasonic.com/>
- Millán, J. M. (2012). Instalaciones de Megafonía y Sonorización. Paraninfo.
- Miraya, F. (2006). Acústica y sistemas de sonido. UNR Editora(Universidad Naciona de Rosario).
- Montiel , E., & Torres, D. (2015). Manual de Sonido para Iglesias: La mejor herramienta para tu grupo de alabanza. Colombia: Bose, Shure, Yamaki.
- Nunan, I. (2013). L'Actualité langagière. Obtenido de Publications du gouvernement du Canada: <http://www.publications.gc.ca/>
- Ojeda, J. L. (20 de Febrero de 2014). Elaboarcion de un Laboratorio Virtual para mejorar el aprendizaje de filtros digitales en DSP en la Facultad Tecnica para el Desarrollo de la Universidad Catolica Santiago de Guayaquil. Obtenido de <http://repositorio.ucsg.edu.ec/>
- Organizacion Mundial de la Salud. (Marzo de 2015). Organizacion Mundial de la Salud. Recuperado el Diciembre de 2015, de Centro de Prensa: <http://www.who.int>
- Registro Nacional de Discapacidades. (Febrero de 2016). Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades. Obtenido de CONADIS: <http://www.consejodiscapacidades.gob.ec/>
- Rodriguez & Algarra. (2014). Ponencia Oficial de la Sociedad Española de Otorrinolaringología y patología Cervico-Facial. CYAN.
- Rodríguez , M., & Algarra, J. (2014). Audiología. Ponencia Oficial de la Sociedad de Otorrinolaringología y Patología Cérvico-Facial. (CYAN, Ed.) CYAN, Proyectos Editoriales. Recuperado el Diciembre de 2015, de Sociedad Española de Otorrinolaringología y Cirugía de la Cabeza y Cuello: <http://seorl.net/>
- Serra , S., Brizuela, M., & Baydas , L. (2015). Manual de la Audición. Julio: Brujas.
- SIEMENS. (s.f.). SIEMENS. Recuperado el Diciembre de 2016, de <https://lat.bestsoundtechnology.com/pro/>
- SILICON LABS. (s.f.). Recuperado el Marzo de 2016, de <https://www.silabs.com/>

SONY. (s.f.). SONY. Recuperado el Octubre de 2016, de <http://www.sony.com.mx/>

Torasso, L. (2016). Academia. Obtenido de <http://www.academia.edu>

UPIICSA. (2011). uNIDAD pROFECIONAL iterdisciplinaria de Ingenieria y Ciencias Sociales y Administrativas. MEXICO.

Wikispaces. (2011). Obtenido de <https://srtv-2011-2012.wikispaces.com/>

zococity. (16 de Octubre de 2015). zococity.

## ANEXOS

### Anexo 1 .Codigo de Generación de frecuencias

#### Frecuencia de 250

```
%Generador de frecuencias:
%Para lograr generar frecuencias se debe tener en cuenta la tasa de
%muestreo que nos da el micrófono de la tarjeta que en este caso es
%de %44100 Hz

function NG = Nota250Hz()
persistent n n2 y y2

if isempty(n)
    f = 250;                %Frecuencia deseada
    fM = 44100;            %Frecuencia de muestreo
    tf = 1/f;              %Periodo de la frecuencia deseada
    tfM = 1/fM;            %Periodo de muestreo
    n = floor(5*tf/tfM);   %cálculo del periodo para la onda de la
                            %frecuencia encaje completa en el
periodo
    t = single(zeros(1,882)) %periodo del tamaño de la muestra
    y=t;                   %asignación de la variable

    for i=0:1:n-1          %Bucle de repetición para el periodo
        t(i+1)=tfM*i;
    end

    for i=0:1:n-1          %Bucle de repetición de la onda
sinusoidal
        y(i+1)=sin(2*pi*f*t(i+1));
    end

    n2 = floor(882/n);    %redondear al entero mas cercano
    y2 = single(zeros(1,882));

    for i=0:1:n2-1
        for j=0:1:n-1
```

```

        y2(i*(n)+j+1)=y(j+1);
    end
end
end
end

```

## Frecuencia 500Hz

```

function NG = Nota500Hz()
persistent n n2 n3 y y2

if isempty(n)
    f = 500;
    fM = 44100;
    tf = 1/f;
    tfM = 1/fM;
    n = floor(5*tf/tfM);
    t = single(zeros(1,441));
    y=t;

    for i=0:1:n-1
        t(i+1)=tfM*i;
    end

    for i=0:1:n-1
        y(i+1)=sin(2*pi*f*t(i+1));
    end

    n2 = floor(882/n);
    y2 = single(zeros(1,882));

    for i=0:1:n2-1
        for j=0:1:n-1
            y2(i*(n)+j+1)=y(j+1);
        end
    end
end
end
end

```

```
NG = y2';
```

### Frecuencia de 1000Hz

```
function NG = Nota1000Hz()  
persistent n n2 y y2  
  
if isempty(n)  
    f = 1000;  
    fM = 44100;  
    tf = 1/f;  
    tfM = 1/fM;  
    n = floor(10*tf/tfM);  
    t = single(zeros(1,441));  
    y=t;  
  
    for i=0:1:n-1  
        t(i+1)=tfM*i;  
    end  
  
    for i=0:1:n-1  
        y(i+1)=sin(2*pi*f*t(i+1));  
    end  
    n2 = floor(882/n);  
    y2 = single(zeros(1,882));  
  
    for i=0:1:n2-1  
        for j=0:1:n-1  
            y2(i*(n)+j+1)=y(j+1);  
        end  
    end  
end  
NG = y2';
```

### Frecuencia de 2000Hz

```
function NG = Nota2000Hz()
```



```

persistent n n2 y y2

if isempty(n)
    f = 2000;
    fM = 44100;
    tf = 1/f;
    tfM = 1/fM;
    n = floor(20*tf/tfM);
    t = single(zeros(1,441));
    y=t;

    for i=0:1:n-1
        t(i+1)=tfM*i;
    end

    for i=0:1:n-1
        y(i+1)=sin(2*pi*f*t(i+1));
    end

    n2 = floor(882/n);
    y2 = single(zeros(1,882));

    for i=0:1:n2-1
        for j=0:1:n-1
            y2(i*(n)+j+1)=y(j+1);
        end
    end
end
NG = y2';

```

### Frecuencia de 4000Hz

```

function NG = Nota4000Hz()
persistent n n2 y y2

if isempty(n)

```

```

f = 4000;
fM = 44100;
tf = 1/f;
tfM = 1/fM;
n = floor(40*tf/tfM);
t = single(zeros(1,441));
y=t;

for i=0:1:n-1
    t(i+1)=tfM*i;
end

for i=0:1:n-1
    y(i+1)=sin(2*pi*f*t(i+1));
end

n2 = floor(882/n);
y2 = single(zeros(1,882));

for i=0:1:n2-1
    for j=0:1:n-1
        y2(i*(n)+j+1)=y(j+1);
    end
end
end
NG = y2';

```

### Frecuencia de 8000Hz

```

function NG = Nota8000Hz()
persistent n n2 y y2

if isempty(n)
    f = 8000;
    fM = 44100;
    tf = 1/f;

```

```

tfM = 1/fM;
n = floor(80*tf/tfM);
t = single(zeros(1,441));
y=t;

for i=0:1:n-1
    t(i+1)=tfM*i;
end

for i=0:1:n-1
    y(i+1)=sin(2*pi*f*t(i+1));
end

n2 = floor(882/n);
y2 = single(zeros(1,882));

for i=0:1:n2-1
    for j=0:1:n-1
        y2(i*(n)+j+1)=y(j+1);
    end
end

end

```

## Anexo 2 Coeficientes del filtro BIQUAD

### Coeficientes para canal derecho

```
%function [coeffs1,coeffs2,coeffs3] = paramEQtoBiquad(CenterFrequency,
Bandwidth, PeakGain)
function [coeffs1,coeffs2,coeffs3,coeffs4,coeffs5,coeffs6] =
paramEQtoBiquad(GF)
%#codegen
% Store values of param EQ characteristics and biquad coefficients
persistent bCenterFrequency bBandwidth bPeakGain bcoeffs1 bcoeffs2
bcoeffs3 bcoeffs4 bcoeffs5 bcoeffs6 Fs
% Initialize
if isempty(bcoeffs1)
    Fs = 44100; %frecuencia de
muestreo
    bCenterFrequency = [250 500 1000 2000 4000 8000]; %frecuencia
utilizada
    bBandwidth = [75 125 200 300 500 800]; %ancho de banda
    bPeakGain = [0 0 0 0 0 0]; %Ganancia pico
    %conversion de parametros y calculo de coeficientes
    %aumento de volumen 0
    bcoeffs1 =
single(convertParamEQToBiquad(bCenterFrequency(1),bBandwidth(1),bPeakGa
in(1),Fs));
    bcoeffs2 =
single(convertParamEQToBiquad(bCenterFrequency(2),bBandwidth(2),bPeakGa
in(2),Fs));
    bcoeffs3 =
single(convertParamEQToBiquad(bCenterFrequency(3),bBandwidth(3),bPeakGa
in(3),Fs));
    bcoeffs4 =
single(convertParamEQToBiquad(bCenterFrequency(4),bBandwidth(4),bPeakGa
in(4),Fs));
    bcoeffs5 =
single(convertParamEQToBiquad(bCenterFrequency(5),bBandwidth(5),bPeakGa
in(5),Fs));
```

```

        bcoeffs6 =
single(convertParamEQToBiquad(bCenterFrequency(6),bBandwidth(6),bPeakGa
in(6),Fs));
end
% si el pico es diferente de cero entonces se guardan los nuevos
valores en% GF
if isequal(bPeakGain,GF)
    coeffs1 = bcoeffs1;
    coeffs2 = bcoeffs2;
    coeffs3 = bcoeffs3;
    coeffs4 = bcoeffs4;
    coeffs5 = bcoeffs5;
    coeffs6 = bcoeffs6;
else
    %Recalcular los coeficientes con el nuevo valor pico
    coeffs1 = single(convertParamEQToBiquad(bCenterFrequency(1),
bBandwidth(1), GF(1),Fs));
    coeffs2 = single(convertParamEQToBiquad(bCenterFrequency(2),
bBandwidth(2), GF(2),Fs));
    coeffs3 = single(convertParamEQToBiquad(bCenterFrequency(3),
bBandwidth(3), GF(3),Fs));
    coeffs4 = single(convertParamEQToBiquad(bCenterFrequency(4),
bBandwidth(4), GF(4),Fs));
    coeffs5 = single(convertParamEQToBiquad(bCenterFrequency(5),
bBandwidth(5), GF(5),Fs));
    coeffs6 = single(convertParamEQToBiquad(bCenterFrequency(6),
bBandwidth(6), GF(6),Fs));
    bcoeffs1 = coeffs1;
    bcoeffs2 = coeffs2;
    bcoeffs3 = coeffs3;
    bcoeffs4 = coeffs4;
    bcoeffs5 = coeffs5;
    bcoeffs6 = coeffs6;
    %Guardar los nuevos valores pico
    bPeakGain(1) = GF(1);
    bPeakGain(2) = GF(2);
    bPeakGain(3) = GF(3);
    bPeakGain(4) = GF(4);

```

```

        bPeakGain(5) = GF(5);
        bPeakGain(6) = GF(6);
end
end

```

## Coeficientes par canal izquierdo

```

%function [coeffs1,coeffs2,coeffs3] = paramEQtoBiquad(CenterFrequency,
Bandwidth, PeakGain)
function [coeffs1,coeffs2,coeffs3,coeffs4,coeffs5,coeffs6] =
paramEQtoBiquad(GF)
%#codegen
% Store values of param EQ characteristics and biquad coefficients
persistent bCenterFrequency bBandwidth bPeakGain bcoeffs1 bcoeffs2
bcoeffs3 bcoeffs4 bcoeffs5 bcoeffs6 Fs
% Initialize
if isempty(bcoeffs1)
    Fs = 44100;
    bCenterFrequency = [250 500 1000 2000 4000 8000];
    bBandwidth = [75 125 200 300 500 800];
    bPeakGain = [0 0 0 0 0 0];
    bcoeffs1 =
single(convertParamEQToBiquad(bCenterFrequency(1),bBandwidth(1),bPeakGa
in(1),Fs));
    bcoeffs2 =
single(convertParamEQToBiquad(bCenterFrequency(2),bBandwidth(2),bPeakGa
in(2),Fs));
    bcoeffs3 =
single(convertParamEQToBiquad(bCenterFrequency(3),bBandwidth(3),bPeakGa
in(3),Fs));
    bcoeffs4 =
single(convertParamEQToBiquad(bCenterFrequency(4),bBandwidth(4),bPeakGa
in(4),Fs));
    bcoeffs5 =
single(convertParamEQToBiquad(bCenterFrequency(5),bBandwidth(5),bPeakGa
in(5),Fs));

```

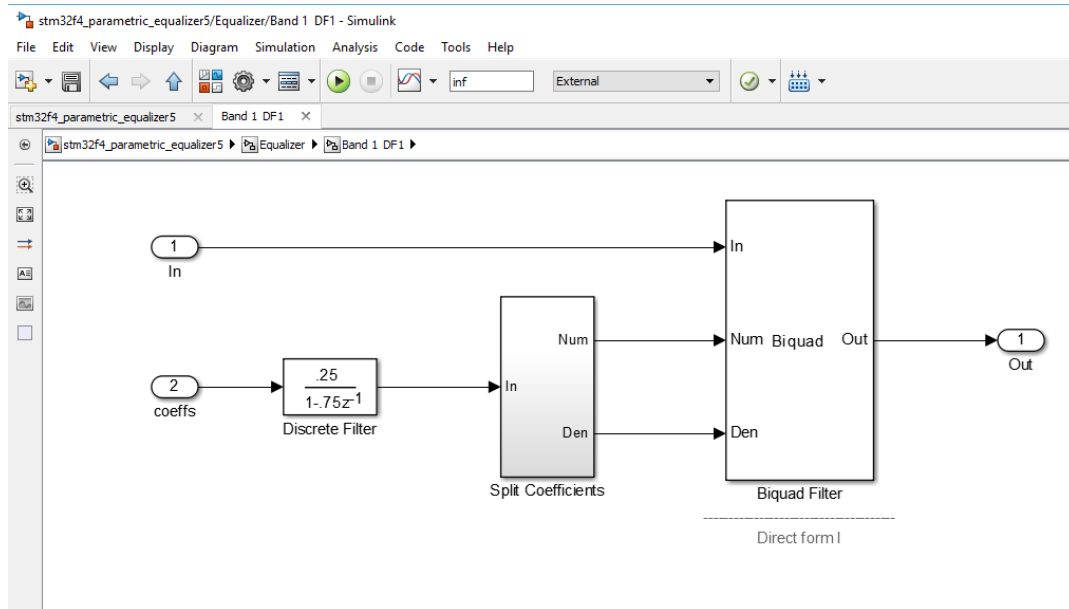
```

        bcoeffs6 =
single(convertParamEQToBiquad(bCenterFrequency(6),bBandwidth(6),bPeakGain(6),Fs));
end
    if isequal(bPeakGain,GF)
        coeffs1 = bcoeffs1;
        coeffs2 = bcoeffs2;
        coeffs3 = bcoeffs3;
        coeffs4 = bcoeffs4;
        coeffs5 = bcoeffs5;
        coeffs6 = bcoeffs6;
    else
        coeffs1 = single(convertParamEQToBiquad(bCenterFrequency(1),
bBandwidth(1), GF(1),Fs));
        coeffs2 = single(convertParamEQToBiquad(bCenterFrequency(2),
bBandwidth(2), GF(2),Fs));
        coeffs3 = single(convertParamEQToBiquad(bCenterFrequency(3),
bBandwidth(3), GF(3),Fs));
        coeffs4 = single(convertParamEQToBiquad(bCenterFrequency(4),
bBandwidth(4), GF(4),Fs));
        coeffs5 = single(convertParamEQToBiquad(bCenterFrequency(5),
bBandwidth(5), GF(5),Fs));
        coeffs6 = single(convertParamEQToBiquad(bCenterFrequency(6),
bBandwidth(6), GF(6),Fs));
        bcoeffs1 = coeffs1;
        bcoeffs2 = coeffs2;
        bcoeffs3 = coeffs3;
        bcoeffs4 = coeffs4;
        bcoeffs5 = coeffs5;
        bcoeffs6 = coeffs6;
        bPeakGain(1) = GF(1);
        bPeakGain(2) = GF(2);
        bPeakGain(3) = GF(3);
        bPeakGain(4) = GF(4);
        bPeakGain(5) = GF(5);
        bPeakGain(6) = GF(6);
    end
end

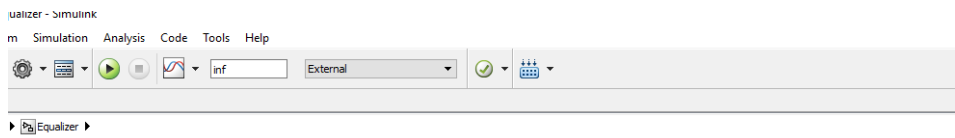
```

### Anexo 3 Parametrización del ecualizador al filtro BIQUAD

El filtro BIQUAD es un filtro FIR de segundo orden es decir que solo tenemos un numerador y un denominador dentro de este tipo de filtro se encuentra el EQ el mismo se encarga de hacer énfasis en una frecuencia determinada y la deja pasar.

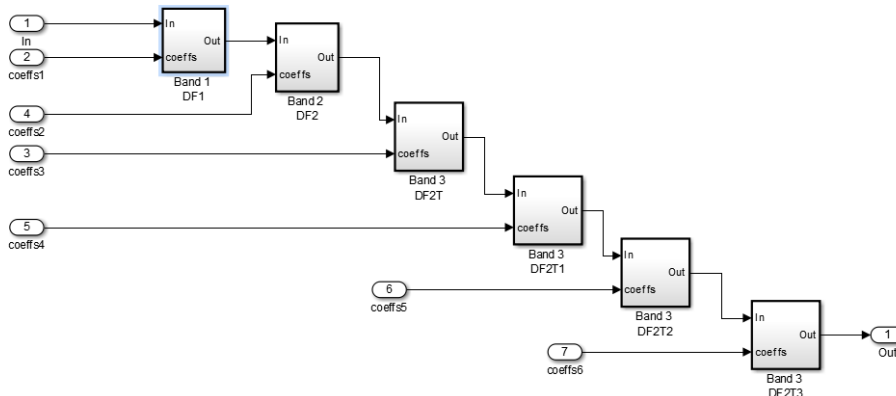


Agrupación en cascada para los filtros BIQUAD de cada frecuencia este tipo de filtro al ser de segundo orden permite la adición de todas las frecuencias acondicionadas y tenemos que la salida del filtro anterior es la entrada del filtro siguiente.



### Parametric Audio Equalizer

Supports three tunable bands of parametric equalization.  
Each band is implemented using a different biquad filter structure.  
Coefficients are slewed between changes.





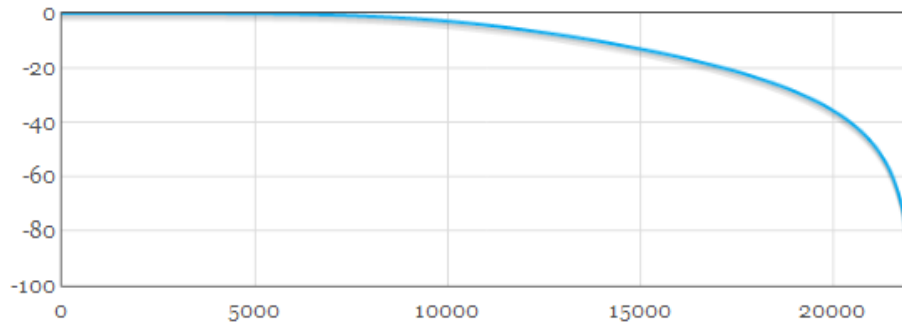
## Anexo 4 Cálculo del filtro BIQUAD con la herramienta virtual biquad-calculator v2.

<http://www.earlevel.com/main/2013/10/13/biquad-calculator-v2/>

español ▾ .

### Biquad calculadora v2

Publicado el 13 de de octubre de, 2013 por Nigel Redmon



Tipo:

Trama:

frecuencia de muestreo (Hz)

Fc (Hz)



Q



Ganancia (dB)



```
ao = 0.2513790015131591
a1 = 0.5027580030263182
a2 = 0.2513790015131591
b1 = -0.17124071441396285
b2 = 0.1767567204665992
```

Anexo 5 Resultado de la prueba audiométrica realizada en el centro médico GAES

### Evaluación Auditiva Informe

Frecuencia en Hercios (HZ)

Nivel de Audición en Decibelios (dB)

Nombre del cliente: **GUTIERREZ, CESAR MANUEL**  
 Número de Cliente: **0000190**  
 Lugar de Nacimiento: **10/01/1943**  
 Fecha de Evaluación: **31/01/2017**

Leyenda		D	Binaural	I
AC	Desenmascarado	○		×
AC	Enmascarado	△		□
bc	Desenmascarado	<	>	
bc	Enmascarado	[	]	
MCL		M	M	M
UCL		m	m	m
SF	Sin audífono	⊗	S	⊗
SF-A	Con audífono	A	A	A

Timpanometría		D	I
Tip:			
Presión máxima (mmH2O)			
Canal auditivo Volumen (cc)			
Conformidad Estática (cc)			
Nivel de la cumbre (cc)			
Pendiente (mmH2O)			

Audiometría de la Palabra		Pérdida de discriminación	
SRT	Enmasc. MCL UCL	% Estim. Enmasc.	% Estim. Ruido
D			
I			
Binaural			
SF			
SF-A			
SF-A2			

Reflexos Acústicos		250	500	1000	2000	4000	6000	BBN	LBN	HBN
Ipsilateral	Estim. Oído D									
	Decay I									
Contralateral	Estim. Oído D									
	Decay I									

Tono Puro Medio (3Frec.)		D	I
113	120		

Tono Puro Notas	
Fab./Mod.	
Fecha de Calibra	
Método de Test	
Fiabilidad Test	
Comentarios	
User Defined 1	
User Defined 2	

Habla Notas	
Fab./Mod.	
Fecha de Calibra	
Fiabilidad Test	
Comentarios	
User Defined 1	
User Defined 2	

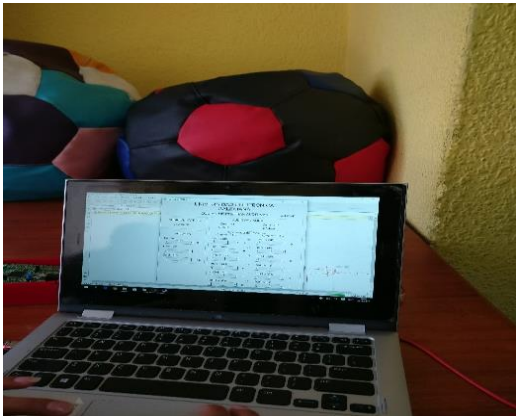
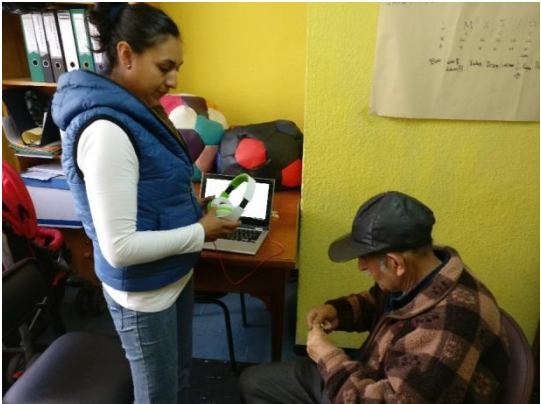
Impedancia Notas	
Fab./Mod.	
Fecha de Calibra	
Comentarios	
User Defined 1	
User Defined 2	

#### Comentarios del Informe

Firma:

Fecha: **31/01/17**

Anexo 6 Galeria de fotografias del prototipo funcionado



Anexo 7 Proforma del auxiliar auditivo



Presupuesto

Fecha 31/01/2017  
Número 071000001036  
Usuario CESAR MANUEL GUTIERREZ

**Detalle del presupuesto**

Cant. Descripción	Lado	Precio	Total
1,00 Audifono Siemens Intuis Dir SP	Izquierdo	1.275,00	1.275,00

**Presupuesto económico**

El importe total de este presupuesto es de **1.275,00** Dólar USA (Impuestos incluidos)

**Persona y centro de contacto**

ELSA RAQUEL AGUIAR GARCES  
GAES QUITO SUR  
FRANCISCO LONDOÑO, O2-150  
170150 QUITO  
AUDIOVITAL, CIA LTDA - Avda 6 de diciembre N34 - 155 Irlanda - Quito- Ecuador

**Entregue este documento cuando vuelva a su centro.**

Nos comprometemos a mantener los precios y condiciones de cobertura durante los 45 días siguientes a la fecha de este presupuesto, excepto en el caso de campañas.

Esta oferta es de carácter informativa y no surte efectos contractuales.

AUDIOVITAL, CIA LTDA - Avda 6 de diciembre N34 - 155 Irlanda - Quito- Ecuador

Centro - FRANCISCO LONDOÑO, O2-150 - QUITO (PICHINCHA) - Tel.: (593-2) 261-9312 / Fax: / E-mail: quitosur@gaes.ec  
Tel.: 1800-454545 - Fax: - RUC: 1792129427