

**INSTRUMENTACIÓN DE UN SISTEMA PARA LA MEDICIÓN OBJETIVA DE  
TINNITUS EN PACIENTES DEL HOSPITAL MILITAR CENTRAL.**

**GEORGE ANTONY SUARIQUE ARENAS**

**CODIGO: 25858**

**JONATHAN STEVEN JUEZ RODRÍGUEZ**

**CODIGO: 26054**

**UNIVERSIDAD ECCI  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
INGENIERÍA BIOMÉDICA  
BOGOTÁ, D.C.  
2016**

**INSTRUMENTACIÓN DE UN SISTEMA PARA LA MEDICIÓN OBJETIVA DE  
TINNITUS EN PACIENTES DEL HOSPITAL MILITAR CENTRAL.**

**GEORGE ANTONY SUARIQUE ARENAS  
JONATHAN STEVEN JUEZ RODRÍGUEZ**

**Proyecto para Optar al Título de Ingeniero Biomédico**

**PHD. LUIS JAVIER MARTÍNEZ GUERRERO**

**UNIVERSIDAD ECCI  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
INGENIERÍA BIOMÉDICA  
BOGOTÁ, D.C.  
2016**

Bogotá DC, 29 Marzo 2016

**Señores:**

**Comité Evaluación de Proyectos de Grado**  
Coordinación de Ingeniería Biomédica  
Universidad ECCI

Cordial Saludo,

La presente tiene como fin permitir que el proyecto de grado titulado "Instrumentación de un sistema para la medición objetiva de trinitus en pacientes del hospital militar central", desarrollado por los estudiantes abajo descritos, sea entregado para evaluación de los jurados asignados, ya que ha culminado satisfactoriamente.

Autor 1: George Antony Suarez Arenas

Código: 2013120043

Autor 2: Jonathan Steven Juez Rodriguez

Código: 2013220030

Autor 3: \_\_\_\_\_

Código: \_\_\_\_\_

Línea de Investigación: Inv. en Ing. Biomédica

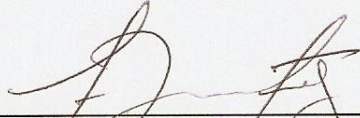
El (los) estudiante (s) se pone (n) a disposición de las observaciones de los evaluadores y éstas se tomarán en consideración a fin de mejorar el documento a entregar en su versión final.

Consideraciones del asesor para avalar la terminación del trabajo:

El trabajo cumple con los requisitos necesarios para presentarlo como opción de grado.

Agradezco la atención prestada.

Atentamente,

  
\_\_\_\_\_  
Asesor Proyecto de Grado  
Coordinación Ingeniería Biomédica  
Universidad ECCI

## **AGRADECIMIENTOS**

Queremos en esta ocasión tan especial, en la que culminamos una etapa tan importante de nuestras vidas, dar nuestras más sinceras muestras de aprecio a aquellas personas que hicieron partícipes en la puesta en marcha y culminación de este proyecto de investigación.

Como principal objeto de esta manifestación de aprecio por su apoyo incondicional, queremos agradecer a nuestros padres, los cuales siempre han estado a nuestro lado brindándonos su amor, compartiendo su sabiduría y guiándonos en nuestros caminos. A nuestros hermanos y amigos que han inundado nuestras vidas con su amor y nunca dejaron de llenarlas de momentos felices, por sus opiniones siempre sinceras acerca de nuestros actos y pensamientos.

Un agradecimiento especial a nuestro amigo y maestro Mg. Horderlin Vrangiel Robles, por creer en nosotros, por dedicarnos con gran generosidad tiempo, por guiarnos con su experiencia y conocimiento, y contagiarnos con su entusiasmo.

A PhD Javier Martínez Guerrero y Mg. Valentín Molina Mojica por su disposición y ayuda brindada en la realización del trabajo escrito.

A Ing. Sergio plazas sin el cual la materialización de nuestro prototipo no hubiese sido posible.

A Esp. Wilson Angulo por su gestión administrativa, ya que sin esta la realización de este proyecto no hubiese sido posible.

Y por último, pero ni mucho menos con un menor grado de agradecimiento, queremos dar agradecimiento a nuestras contrapartes en la elaboración de este proyecto, ya que concluimos que sin ninguno de nosotros este proyecto tendría un rumbo muy diferente al tomado.

## TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE ILUSTRACIONES.....	I
LISTA DE DIAGRAMAS.....	II
LISTA DE TABLAS.....	III
GLOSARIO.....	IV
RESUMEN.....	V
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. TÍTULO DE LA INVESTIGACIÓN.....	2
3. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	2
3.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	2
3.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	2
4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
4.1. OBJETIVO GENERAL.....	3
4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
5. JUSTIFICACIÓN Y DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
5.1. JUSTIFICACIÓN.....	3
5.2. DELIMITACIÓN.....	5
5.2.1. DELIMITACIÓN ESPACIAL.....	5
5.2.2. DELIMITACIÓN CRONOLÓGICA.....	5
5.2.3. DELIMITACIÓN CONCEPTUAL.....	5
5.2.4. DELIMITACIÓN METODOLÓGICA.....	5
5.2.5. CRITERIOS DE INCLUSIÓN.....	6
5.2.6. CRITERIOS DE EXCLUSIÓN.....	6
6. MARCO DE REFERENCIA DE LA INVESTIGACIÓN.....	6
6.1. TINNITUS O ACUFENOS.....	6
6.2. ETIMOLOGÍA Y DEFINICIÓN DEL TINNITUS.....	7
6.3. CLASIFICACIÓN DEL TINNITUS.....	7
6.4. ETIOLOGÍA DEL TINNITUS.....	8
6.5. CARACTERÍSTICAS DEL TINNITUS.....	10
6.5.1. MEDICIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS PSICOACÚSTICAS DEL TINNITUS.....	11
6.6. ESTADO DEL ARTE DE LA ACUFENOMETRÍA OBJETIVA.....	12
6.7. MEMS.....	14
7. DISEÑO METODOLÓGICO.....	16
7.1. DEFINICIÓN DEL CONCEPTO DEL EQUIPO.....	18

7.2.	PROPUESTA DE INGENIERÍA .....	18
7.2.1.	PROPUESTA DE DISEÑO ELECTRÓNICO.....	19
7.2.2.	PROPUESTA DE DISEÑO ESTRUCTURAL.....	19
7.2.2.1.	ELEMENTO DE TRANSMISIÓN ACÚSTICA.....	19
7.2.2.2.	ELEMENTO DE SUJECIÓN ESTRUCTURAL.....	19
7.3.	ANÁLISIS DE LA PROPUESTA.....	19
7.3.1.	ANÁLISIS DE LA PROPUESTA DE DISEÑO ELECTRÓNICO.....	20
7.3.1.1.	MICRÓFONO TIPO MEMS ADMP401.....	20
7.3.1.2.	PRE AMPLIFICACIÓN OPA 344. ....	20
7.3.1.3.	BANCÓ DE FILTROS. ....	20
7.3.1.4.	AMPLIFICADOR. ....	21
7.3.1.5.	ALIMENTACIÓN. ....	21
7.3.2.	ANÁLISIS DE PROPUESTA DE DISEÑO ESTRUCTURAL.....	21
7.3.2.1.	ELEMENTO DE TRANSMISIÓN ACÚSTICA.....	21
7.3.2.2.	ELEMENTO DE SUJECIÓN ESTRUCTURAL. ....	21
7.4.	PLANTEAMIENTO DEL DISEÑO. ....	22
7.4.1.	PLANTEAMIENTO DE DISEÑO ELECTRÓNICO. ....	22
7.4.1.1.	CIRCUITO DE ALIMENTACIÓN. ....	22
7.4.1.2.	CIRCUITO DE PRE-AMPLIFICACIÓN Y FILTRO PASA BANDA.....	22
7.4.1.3.	CIRCUITO PASA BAJOS.....	23
7.4.1.4.	CIRCUITO DE AMPLIFICACIÓN. ....	24
7.4.2.	PLANTEAMIENTO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL. ....	24
7.5.	EVALUACIÓN DE DISEÑO ELECTRÓNICO.....	25
7.5.1.	CIRCUITO FILTRO PASA BANDA.....	25
7.5.2.	CIRCUITO FILTRO PASA BAJOS. ....	26
7.6.	DESARROLLO DEL PROTOTIPO.....	27
7.6.1.	DESARROLLO DE ELEMENTO DE TRANSMISIÓN ACÚSTICA.....	27
7.6.2.	DESARROLLO ELECTRÓNICO. ....	27
7.6.2.1.	CIRCUITO DE ALIMENTACIÓN. ....	27
7.6.2.2.	CIRCUITO FILTRADO Y AMPLIFICADOR.....	27
7.6.3.	DESARROLLO DE ELEMENTO DE SUJECIÓN ESTRUCTURAL. ....	28
7.7.	EVALUACIÓN DE PROTOTIPO .....	29
7.7.1.	VALIDACIÓN EXPERIMENTAL .....	29
7.7.1.1.	SISTEMA DE ADQUISICIÓN.....	29
7.7.1.2.	SISTEMA DE SIMULACIÓN DE CAE.....	30
7.7.1.3.	SISTEMA DE FILTRADO Y AMPLIFICACIÓN.....	31
7.7.1.3.1.	PROTOTIPO EXPERIMENTAL N°1 .....	31
7.7.1.3.2.	PROTOTIPO EXPERIMENTAL N°2. ....	32
7.7.1.4.	RESPUESTAS DE FRECUENCIA PROTOTIPO EXPERIMENTAL N°2.	
	33	
7.8.	PRODUCTO FINALIZADO.....	33

7.8.1.	ELEMENTO DE TRANSMISIÓN ACÚSTICA .....	33
7.8.2.	CIRCUITO DE ALIMENTACIÓN.....	34
7.8.3.	CIRCUITO DE FILTRADO Y AMPLIFICACIÓN.....	34
7.8.4.	ELEMENTO DE SUJECIÓN ESTRUCTURAL.....	35
7.9.	PLANTEAMIENTO DEL PROTOCOLO Y ENCUESTA .....	35
7.10.	PLAN DE RECOLECCIÓN DE LOS DATOS. ....	37
7.10.1.	DEFINICIÓN DE LAS VARIABLES .....	37
7.11.	TRATAMIENTO DE DATOS DE LAS MUESTRAS.....	39
7.11.1.	EVALUACIÓN DE DATOS .....	40
7.12.	ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS .....	41
8.	SUGERENCIAS .....	45
9.	TRABAJOS FUTUROS.....	46
10.	COSTOS. ....	47
11.	CONCLUSIONES.....	48
12.	REFERENCIAS .....	49
13.	ANEXOS.....	52
13.1.	ANEXO I: FORMATOS. ....	52
13.1.1.	CONSENTIMIENTO INFORMADO .....	52
13.1.2.	FORMULARIO RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN.....	55
13.2.	GRAFICAS ENCUESTAS .....	58
13.2.1.	PREGUNTA N°1 .....	58
13.2.2.	PREGUNTA N°2 .....	58
13.2.3.	PREGUNTA N°3 .....	59
13.2.4.	PREGUNTA N°4 .....	59
13.2.5.	PREGUNTA N°5 .....	60
13.2.6.	PREGUNTA N°6 .....	60
13.2.7.	PREGUNTA N°7 .....	61
13.2.8.	PREGUNTA N°8 .....	61
13.2.9.	PREGUNTA N°9 .....	62
13.2.10.	PREGUNTA N°10 .....	62
13.2.11.	PREGUNTA N°11 .....	63
13.2.12.	PREGUNTA N°12 .....	63
13.2.13.	PREGUNTA N°13 .....	64
13.2.14.	PREGUNTA N°14 .....	64
13.2.15.	PREGUNTA N°15 .....	65
13.2.16.	PREGUNTA N°16 .....	65
13.2.17.	PREGUNTA N°17 .....	65
13.2.18.	PREGUNTA N°18 .....	66
13.2.19.	PREGUNTA N°19 .....	66
13.2.20.	PREGUNTA N°20 .....	67
13.2.21.	PREGUNTA N°21 .....	67
13.2.22.	PREGUNTA N°22 .....	68

13.2.23.	PREGUNTA N°23 .....	68
13.2.24.	PREGUNTA N°24 .....	69
13.2.25.	PREGUNTA N°25 .....	69
13.2.26.	PREGUNTA N°26 .....	70
13.2.27.	PREGUNTA N°27 .....	70
13.2.28.	PREGUNTA N°28 .....	71



## LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Indicador de Tinnitus con EEG.....	13
Ilustración 2. Sensibilidad a la vibración frente a la temperatura: MEMS vs. ECMs.....	14
Ilustración 3. Frecuencia de respuesta de varios micrófonos MEMS .....	15
Ilustración 4. Respuesta de frecuencia de tres conjuntos de micrófonos ECM. ....	15
Ilustración 5. Relación del Sensor frente al canal Auditivo.....	18
Ilustración 6. Propuesta de diseño elemento de transmisión acústica .....	19
Ilustración 7. Plano electrónico del circuito de alimentación. ....	22
Ilustración 8. Plano electrónico del circuito de Adquisición, Pre-Amplificación y Filtro Pasa Banda desarrollado por Sparkfun ® .....	23
Ilustración 9. Plano electrónico del circuito pasa Bajos.....	23
Ilustración 10. Plano electrónico del circuito De Amplificación .....	24
Ilustración 11. Prototipo N° 1 del Acufenometro.....	25
Ilustración 12. Respuesta filtro Pasa Banda (Simulación) .....	26
Ilustración 13. Respuesta en frecuencia del filtro Butterworth pasa bajos de 7º orden. .	26
Ilustración 14. PCB circuito de alimentación .....	27
Ilustración 15. PCB Circuito filtrado y Amplificador .....	28
Ilustración 16. Modelo del Acufenometro objetivo final .....	29
Ilustración 17. Tarjeta INMP401 desarrollada por Sparkfun ® .....	29
Ilustración 18. Simulador de CAE.....	31
Ilustración 19. Fuente de alimentación Modelo Experimental .....	31
Ilustración 20. Prototipo Experimental N°1.....	32
Ilustración 21. Prototipo Experimental N°2.....	33
Ilustración 22. Elemento de Transmisión Acústica Finalizado.....	33
Ilustración 23. Circuito de Alimentación finalizado .....	34
Ilustración 24. Circuito de Filtrado y Amplificado.....	34
Ilustración 25. Espectro de la señal de audio Paciente 6 .....	42
Ilustración 26. Espectro de la señal de audio Paciente 13 .....	43
Ilustración 27. Espectro de la señal de Audio en Paciente 14 Ol.....	44

## LISTA DE DIAGRAMAS

Figura 1. Algoritmo para diseño del Equipo .....	18
Figura 2. Diagrama Acufenómetro objetivo .....	20
Figura 3. Diagrama de flujo Protocolo .....	36

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Estadísticas del Tinnitus por país .....	4
Tabla 2. Antecedentes de Pacientes con Acúfenos .....	10
Tabla 3. Patologías Vs Frecuencias Dominantes .....	12
Tabla 4. Definición de las Variables .....	39
Tabla 5. Costos totales de construcción del Prototipo.....	47

## GLOSARIO

**Acúfeno:** sensación acústica anormal percibida en el oído, que se produce en el organismo y tiene cierto grado de continuidad.

**Absorción acústica:** Propiedad, que poseen ciertos materiales y objetos, de transformar en calor parte de la energía de una onda acústica que los atraviesa.

**Acústica:** Ciencia que estudia los sonidos.

**Adquisición de datos:** Toma de muestras de magnitudes físicas y conversión de manera que puedan ser manipulados por un ordenador u otros dispositivos electrónicos.

**Algoritmo:** Conjunto finito y predeterminado de reglas o procesos bien definidos para resolver un problema en un número finito de operaciones.

**Amplificador:** Dispositivo capaz de aumentar la magnitud o el nivel de potencia de una cantidad física, tal como una corriente eléctrica o una fuerza mecánica hidráulica, que varía con el tiempo, sin distorsionar la forma de la onda de la cantidad.

**Amplitud:** Máximo valor absoluto que puede tomar una magnitud que varía periódicamente.

**CAE:** Conducto Auditivo Externo.

**Desaferentación:** Interrupción de los impulsos aferentes. Puede ser temporal, mediante anestesia, o permanente cuando se seccionan las correspondientes fibras nerviosas.

**MEMS:** Microelectromechanical Systems – Sistemas Micro Electromecánicos

**SNR:** Signal Noise Ratio – Relación Señal a Ruido

## RESUMEN

El tinnitus es la precepción de señales sonoras, en ausencia de una fuente externa correspondiente, el contenido expuesto en este documento plantea el estudio del tinnitus mediante la captación de señales acústicas presentes en los pacientes con tinnitus mecánico, proponiendo un instrumento de medición objetiva con el fin de dar una pauta para la identificación del tinnitus, en este caso específico, tinnitus mecánico.

El ensayo clínico y experimental de nuestro estudio se divide en dos componentes, en la primera etapa se espera recolectar información pertinente de dos fuentes, un cuestionario de acufenos, diseñado y aprobado por los investigadores, y además los datos de las señales almacenadas en cada una de las pruebas diagnósticas aplicadas, es decir, Acufenometría objetiva. Luego con los datos obtenidos, se aplicará técnicas de minería de datos supervisados o predictivos para encontrar información relevante que permita un diagnostico asertivo.

La información obtenida mediante los cuestionarios puede ser útil para determinar un diagnóstico, a su vez contribuir al desarrollo y evaluación de los tratamientos y ayudar en la determinación de sus mecanismos.

## 1. INTRODUCCIÓN

La prevalencia del tinnitus oscila entre 0.5 a 20 % en la población mundial, y alrededor del 1% experimenta afectación grave en su vida. [1] El acufeno no proporciona riesgo vital para el paciente, pero cohibe de gran manera el bienestar, comprometiendo el rendimiento laboral, intelectual y afectivo de las personas que lo padecen. La intensidad percibida del acufeno puede variar respecto al aumento de intensidad, conllevando a desequilibrios emocionales hasta el punto de dar origen a tendencias suicidas, la heterogeneidad de la experiencia del tinnitus es sustancial.

La literatura médica aun califica el tinnitus como enigmático o misterioso. La carencia de conocimiento frente a su causa u origen se debe a que no existe una medida objetiva de tinnitus puesto que las relaciones funcionales entre las regiones del cerebro son diferentes en los grupos de personas con tinnitus. Igualmente los tratamientos utilizados a la hora de analizar este enigmático síntoma, las investigaciones y ensayos clínicos solo han obtenido efectos no muy significativos frente a la molestia.

El presente documento propone como solución un instrumento de medición objetiva para el tinnitus mecánico, el cual tiene como fin realizar estudios en el conducto auditivo, extrayendo muestras del sonido generado por este fenómeno acústico. Mediante ensayos clínicos se pretende demostrar la existencia de una señal sonora emitida por cada uno de los pacientes con tinnitus. Se pretende investigar y analizar el origen de esta fuente sonora, la captación de esta señal permitirá identificar patrones característicos como método para clasificación del tinnitus, según sus propiedades, las cual no poseen siempre las mismas cualidades, está sujeta a variaciones de frecuencia, con bandas sonoras específicas, por lo tanto estas servirán como criterio de inclusión para su respectiva clasificación.

## **2. TÍTULO DE LA INVESTIGACIÓN**

Instrumentación de un sistema para la medición objetiva de tinnitus en pacientes del hospital militar central.

## **3. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

### **3.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA**

Tinnitus se define como la percepción de un sonido, sea este un zumbido, tintineo, silbido, timbre, pitido, o similar, el cual, no presenta una fuente acústica externa que genere dicho sonido cerca al oído. [2-4]

La ciencia médica carece de medios para demostrar objetivamente la presencia de una señal sonora en el oído del paciente, tal como él refiere percibirlo.

La comunidad científica a lo largo de los años ha encaminado a dar clasificaciones a este problema de salud pública dividiéndolo en dos grandes cuestionamientos, los cuales son el tinnitus objetivo y el tinnitus subjetivo. La definición del tinnitus objetivo se dice que es aquel que puede ser escuchado a simple oído o mediante medios clínicos, como lo es el estetoscopio, la aparición de estos sonidos pueden ser identificados y corresponde a un fenómeno físico producido por la vibración de alguna estructura anatómica. El tinnitus subjetivo corresponde a aquel sonido fantasma que solo puede ser escuchado por el paciente. Algunos autores también afirman que todos los tinnitus son subjetivos, de este modo los denominan de origen neurofisiológico o somático. El tinnitus somático es generalmente pulsátil y su fuente sonora puede ser vascular o muscular.

De acuerdo con los avances técnicos-científicos actuales, no existe precisión diagnóstica ni terapéutica aceptable en el abordaje del tinnitus y las clasificaciones de éste no parecen aportar una mayor eficacia en su resolución salvo resultados parcialmente satisfactorios a pesar de una alta incidencia en su morbilidad. La multiplicidad de variables, las limitaciones técnicas y científicas en el diagnóstico, los tratamientos, la precisión y confirmación de los resultados de otros investigadores no concluyentes evidenciados en el estado del arte, formulan interrogantes que no han sido tratados y que son las bases de nuestra investigación. Por todo lo anterior, queda claro que a nivel mundial no existe un dispositivo médico capaz de registrar el Tinnitus en pacientes con esta afección; quedando como objetivo de esta tesis diseñar e implementar un dispositivo electrónico capaz de registrar y almacenar los sonidos o vibraciones que producen el Tinnitus.

### **3.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿La eficiencia de los equipos biomédicos utilizados actualmente para realizar los estudios pertinentes a tinnitus de orígenes mecánicos (objetiva), brindan la información suficiente para realizar un diagnóstico acertado?

## **4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **4.1. OBJETIVO GENERAL**

Diseñar un instrumento capaz de detectar y registrar las señales generadas por la afección Tinnitus en pacientes del HOMIC, para su correspondiente estudio estadístico.

### **4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Diseñar un instrumento capaz de captar las señales acústicas generadas por pacientes con Tinnitus objetivos del HOMIC.
- Implementar un instrumento capaz de captar las señales acústicas generadas por pacientes con Tinnitus objetivos del HOMIC.
- Caracterizar el Tinnitus con las señales capturadas con el equipo instrumento realizando pruebas en pacientes con esta afección en una población determinada por los especialistas del HOMIC.

## **5. JUSTIFICACIÓN Y DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

### **5.1. JUSTIFICACIÓN**

En la actualidad, el tinnitus es considerado uno de los problemas otológicos más comunes, su prevalencia se incrementa con la edad.

El tinnitus es una condición muy frecuente en la población, estimándose su prevalencia entre 8.2 y 30,3% en ciudades de primer mundo.

La incidencia es de 1:1000 habitantes de hipoacusias de 50 a 60 dB y la prevalencia de las hipoacusias genéticas es de 1:4000 nacidos vivos.

La pérdida de audición afecta a cerca de 17 de cada 1000 niños y jóvenes menores de 18 años. La incidencia aumenta con la edad y cerca de 314 por cada 1000 personas mayores de 65 años sufre de pérdida de audición. En los porcentajes de hipoacusia están: hipoacusias prenatales (30%), hipoacusias neonatales (13%), hipoacusias posnatales (7%) e hipoacusias indeterminadas (50%).[5] Por ejemplo, en los EE.UU, se tiene una prevalencia de 45 por cada 1.000 personas, lo cual significa unos 12 millones de estadounidenses, indica una tasa de prevalencia de 4.5%, es decir que 12.2 millones de personas en los EE.UU sufren de tinnitus [6]. Otros datos relevantes se identifican en Alemania en el cual se estima que 19 millones de alemanes experimentan tinnitus, de los cuales, 2,7 millones lo padecen de forma permanente, y 1 millón sufre un tinnitus



muy severo. La Asociación Británica del Tinnitus estima que el 10% de la población del Reino Unido padece esta afección [7]. En la tabla 1. se muestra la prevalencia del tinnitus en otros países del mundo. Al extrapolar estos datos a Colombia en donde se estima aproximadamente una población de 45 millones de habitantes, se tiene una prevalencia de 1900000 habitantes padeciendo de tinnitus. Dichos datos son sólo estimativos, y como se ha dicho, basado en la tasa de prevalencia de los EE.UU; por lo tanto, puede ser de muy poca relevancia para los estudios e investigaciones actuales.

---

<b>País</b>	<b>Habitantes<sup>1</sup> (Aproximadamente)</b>	<b>Habitantes con Tinnitus (Extrapolando)<sup>2</sup></b>
<b>Brasil</b>	184'101.109	8'284.549
<b>Venezuela</b>	25'017.387	1'125.782
<b>Perú</b>	27'544.305	1'239.493
<b>México</b>	104'959.594	4'723.181
<b>Alemania</b>	82'424.609	3'709.107
<b>España</b>	40'280.780	1'812.635
<b>Colombia</b>	42'310.775	1'903.984
<b>USA</b>	293'655.405	13'214.493
<b>Japón</b>	127.333.002	5'729.985

---

**Tabla 1. Estadísticas del Tinnitus por país**

De acuerdo a los anteriores datos, las razones que motivan este estudio, además de la relevancia al mejorar la calidad de vida de los pacientes que sufren esta afección, la proyección social de las investigaciones desarrolladas en la ECCI y el Hospital Militar Central (HOMIC), y el desarrollo de los sectores educativos (Investigación) y productivo (Patentes); es necesario enmarcar la necesidad de utilizar el conocimiento teórico para generar nuevos paradigmas, con la investigación y la construcción de nuevos instrumentos (innovación) y tratamientos experimentales en el área de la salud, que muestren el talento humano y la capacidad que tienen los investigadores de la ECCI y el HOMIC.

Por tales motivos, la factibilidad de la realización de dicho estudio está en la necesidad de abordar el problema con la colaboración del personal médico, con experiencia y conocimiento para buscar y realizar pruebas que permitan desmitificar la imposibilidad de detección del Tinnitus, además ayudar a millones de pacientes que padecen esta

<sup>1</sup> Datos obtenidos de la web [wrongdiagnosis.com](http://wrongdiagnosis.com): septiembre de 2008.

<sup>2</sup> Estimativos de acuerdo con los datos de EE.UU.

enfermedad y lograr reducir o suprimir el sonido autogenerado en el sistema auditivo de los paciente, contribuye al desarrollo de la investigación en las instituciones implicadas, es decir, ECCI y HOMIC, ya que esta es una enfermedad de salud ocupacional que desmejora la calidad de vida de los pacientes que la padecen. Por tanto, los beneficios de crear herramientas tecnológicas y científicas que permitan un acercamiento al diagnóstico asertivo de la enfermedad, y luego a su posible disminución o supresión, ayudará en el mejoramiento de la calidad de vida de los pacientes que la sufren, teniendo implicaciones tecnológicas por la patente que se puede generar, metodológicas por los protocolo de diagnóstico y supresión que se puedan crear y sociales por la reinserción a la vida cotidiana de los pacientes que padecen la enfermedad.

## **5.2. DELIMITACIÓN**

### **5.2.1. DELIMITACIÓN ESPACIAL**

El presente proyecto de investigación será realizado en las instalaciones del hospital militar central bajo la supervisión y asesoría de docentes de la universidad ECCI sede Bogotá. Todos los procedimientos realizados a los pacientes seguirán el protocolo ya estipulado, presentado y aprobado con antelación por el consejo médico del hospital militar central.

### **5.2.2. DELIMITACIÓN CRONOLÓGICA**

En este proyecto de investigación se realizara alrededor de dos años en los cuales se realizaran los procedimientos correspondientes para la creación de un equipo capaz de captar las señales Bio-Acusticas producidas por el oído para el diagnóstico objetivo de la Tinnitus.

### **5.2.3. DELIMITACIÓN CONCEPTUAL**

Este proyecto de investigación está dirigido únicamente a pacientes que presenten la afección denominada Tinnitus en lengua inglesa o en español acufenos de origen netamente mecánico, en los cuales se busca medir las ondas sonoras producidas involuntariamente por la membrana timpánica de los pacientes, por lo tanto, este proyecto no pretende dar solución o cura alguna a la afección, sino proponer una herramienta tecnológica para diagnosticar los acufenos de forma objetiva

### **5.2.4. DELIMITACIÓN METODOLÓGICA**

Se creo una base de datos con la información brindada por los pacientes de estudio del hospital militar central, la cual cuenta con información relevante para el estudio (Criterios de evaluación encuesta), lo cual permitirá el análisis de caso y colectivo con mayor profundidad, en la cual se tendrán criterios de exclusión e inclusión para los pacientes.

### **5.2.5. CRITERIOS DE INCLUSIÓN**

- Paciente diagnosticado con Tinnitus por los especialistas del Hospital militar central.
- Residente en Bogotá.
- Paciente mayor de edad.
- Paciente con Tinnitus severo o crónico.

### **5.2.6. CRITERIOS DE EXCLUSIÓN**

- Paciente menor de edad.
- Paciente que presente problemas psicológicos severos, epilepsia, Parkinson o Alzheimer.
- Pacientes que no se encuentre en facultad mental de proceder.
- Paciente que no autoricé su inclusión en el estudio.
- Paciente no diagnosticado previamente.
- Paciente con Tinnitus transitorio.

## **6. MARCO DE REFERENCIA DE LA INVESTIGACIÓN**

### **6.1. TINNITUS O ACUFENOS.**

En la literatura médica los Acúfenos o Tinnitus constituye un tema que podemos calificar como enigmático y misterioso, tanto que ha llegado a definirse el Acúfeno como una alucinación auditiva. Este misterio parece deberse a que no se conoce ni su causa, ni su mecanismo fisiopatológico y hasta se duda de su existencia, porque la ciencia médica carece de medios para demostrar objetivamente la presencia de una señal sonora en el oído del paciente, tal como él refiere percibirla; igualmente, los distintos tratamientos propuestos y ensayados hasta ahora, que son empíricos, solo han tenido efectos muy relativos sobre la molestia [8-10]. Mencionado en la literatura médica desde 3000 A. C., en papiros egipcios, igualmente Hipócrates, Galeno y Celso se refieren en sus escritos al Tinnitus. Duverney [11] llama a los Acúfenos “depravaciones”, siendo un síntoma -y no una enfermedad- debido a un síndrome irritativo o a inflamaciones. Describe los Acúfenos postraumáticos craneanos y atribuye a aneurisma arterial cefálico los Acúfenos objetivos pulsátiles y explica que afecciones del cerebro, (delirio, vértigo, epilepsia, etc.) pueden ir precedidos de Acúfenos; sin embargo los avances en el esclarecimiento de su naturaleza y su terapéutica han sido muy escasos. Se puede afirmar, que todo adulto con audición normal ha experimentado zumbidos en los oídos en alguna ocasión de su vida, los cuales pueden haberse presentado después de una exposición a un ruido intenso. House [12] afirma que la incidencia del Acúfeno en la población en general es desconocida; Fowler informa que 86% de sus pacientes con alguna patología otológica presentaban también Tinnitus [13]. Goodhill afirma que al introducir una persona sin trastornos auditivos en una cámara anecoica, es muy probable que sienta Acúfenos [13-14]. Según la ATA (American Tinnitus Association,

ATA), en 1995 se pudo censar a 55 millones de norteamericanos que padecían Acúfenos en grados variables.

## **6.2. ETIMOLOGÍA Y DEFINICIÓN DEL TINNITUS.**

Etimológicamente, el término “Acúfeno” procede de dos verbos griegos: Acuo= oír, y Phaino= aparentar o tener apariencia de fantasma; literalmente significa oír fantasmas u oír aparentemente. El término “Tinnitus” es una palabra latina que viene del verbo tinire, que significa tañer, sonar de campanas. El Acúfeno consiste en la percepción por el oído humano de un sonido o ruido, sin que exista aparentemente una fuente sonora y, además, en que dicho sonido no puede ser escuchado por el examinador, ni por otra persona. Se presenta sin embargo, un número pequeño de pacientes cuyo Acúfeno puede ser escuchado a simple oído por otros, pero en ellos la fuente sonora permanece aún sin identificar [10].

El Tinnitus se define como la percepción de un sonido, sea este un zumbido, tintineo, silbido, timbre, pitido, o similar, el cual, no presenta una fuente acústica externa que genere dicho sonido cerca al oído. Algunos autores llaman Tinnitus a un ruido en el oído que excede los 5 minutos de duración [2-4]. Otros afirman que es un sonido que se genera en el cerebro (ruido interno del cerebro) y a los pacientes que presentan los síntomas, su Tinnitus es llamado típico [15].

## **6.3. CLASIFICACIÓN DEL TINNITUS.**

En la literatura médica se encuentran numerosas clasificaciones; los diferentes autores, proponen clasificaciones basadas en distintos criterios, generalmente anatómicos o de ubicación. Sin embargo, como existe una definición de aceptación general, cuyo núcleo es la palabra sonido y que comprende además la dificultad para escuchar dicho sonido y para identificar su fuente, la clasificación de los Tinnitus debe hacerse con base en estos tres elementos. Por ser de las más antiguas y porque se refiere a las dificultades de la ciencia médica con el Tinnitus, citamos en primer lugar la propuesta por Wegel y adoptada por Fowler [16], según la cual los Tinnitus se dividen en dos categorías: vibratorios y no vibratorios.

Los vibratorios son los que se pueden escuchar a simple oído y por medios clínicos sencillos como el estetoscopio de Laenec; su fuente puede ser identificada y corresponde a un fenómeno producido por la vibración de alguna estructura anatómica, es decir que son sonidos fácilmente reconocibles como verdaderos. Los no vibratorios son aquellos que Wegel no pudo escuchar por ningún medio conocido en la época; su fuente sonora no pudo ser identificada, por lo que decidió que no corresponden a fenómenos vibratorios, es decir, no son sonidos verdaderos, aunque el paciente diga que escucha un sonido.

Los Acúfenos vibratorios se denominan también objetivos, son generalmente pulsátiles, y su fuente sonora puede ser vascular o muscular. El Tinnitus objetivo es escuchado no

sólo por el paciente sino también por el profesional (mioclonía crónica del músculo palatino, factores vasculares, espasmos de los músculos estapedio y tensor del tímpano, contracciones de la trompa de Eustaquio, entre otros). Puede ser representativa la presencia de otoemisiones acústicas espontáneas. Este tipo de Tinnitus puede ser tratado con éxito con medicación apropiada o intervención quirúrgica [9]. Los no vibratorios son también denominados subjetivos (el paciente lo percibe como una sensación, pero no es audible externamente mediante ningún tipo de equipamiento). Acerca de éstos se ha propuesto que corresponden a una excitación neural en ausencia de fenómenos mecánicos (sonoros) en el oído; esta excitación sería ocasionada a su vez por una disminución de la irrigación sanguínea y una insuficiente oxigenación de los tejidos del oído interno, o puede deberse a una alteración de los neurotransmisores. Según Meyerhoff y Cooper [17], el Tinnitus vibratorio puede ser subjetivo sólo cuando el paciente lo puede oír y objetivo cuando también el examinador lo puede escuchar. Para ellos, los no vibratorios son siempre subjetivos, y se pueden clasificar como centrales o periféricos; los centrales son de origen neural y cerebral, y los periféricos, de origen timpánico o petroso. Ciges Y Morales [18] clasifican los Acúfenos en perceptivos, que obedecen a lesiones neurológicas, y de conducción, producidos por resonancia, consecuencia de modificaciones en la impedancia. Goodhillen [13], clasifica el Tinnitus como subjetivo u objetivo; al subjetivo lo divide en auditivo y craneal, y el auditivo a su vez puede ser del oído externo, medio o interno. Jastreboff sugiere que alrededor del 80% de los Tinnitus pueden relacionarse con ciertas alteraciones del oído interno. No necesariamente se los asocia con sordera más que con audición normal. En el 30% de los peores sufrimientos por Tinnitus no hay dificultad auditiva, y el 28% de las sorderas totales de ambos oídos no hay Tinnitus.

#### **6.4. ETIOLOGÍA DEL TINNITUS.**

En realidad, en ningún tratado de Otorrinolaringología viene el subtítulo de “etiología” en el capítulo que trata de los Acúfenos, quizá por lo enigmático del tema, y en algunos se mencionan mecanismos como causas [10]. Meyerhoff y Cooper mencionan factores sistémicos desencadenantes, como la diabetes mellitus, la sífilis, la hipertensión arterial, el hipertiroidismo, las enfermedades infecciosas generalizadas y las anemias de diversa etiología. Debido a la diversidad de causas encontradas en la literatura, es pertinente aclarar la diferencia entre causa y mecanismo fisiopatológico; en el caso del Tinnitus la literatura médica con frecuencia confunde estos dos conceptos. Una cosa es un estímulo, que al actuar sobre el paciente pone en marcha un Acúfeno, y otra diferente son los elementos orgánicos propios del paciente, que producen el sonido, es decir, el Tinnitus; el primero es la causa, los segundos son el mecanismo fisiopatológico que puede considerarse la fuente sonora en este caso. Acerca del mecanismo, el paciente relata cosas muy concretas como la localización, a veces muy exacta, a veces aproximada, de la fuente sonora, y casi siempre la ubica en el oído, en la región periauricular, la cabeza, la cara o el cuello. También relata el paciente cambios en el sonido que dice percibir, cambios en el tono, en la intensidad y en la ubicación; la mayoría espontáneos, pero otras veces provocados voluntariamente.

Además de todas las anteriores, se han señalado las siguientes causas:

- Exposición a ruidos fuertes, continuos o bruscos.
- Ingesta de Aminoglucósidos o Aspirina.
- Traumatismos cefálicos.
- Consumo de cafeína o marihuana.
- Ototubaritis serosa.
- Otoesclerosis.
- Tapón de cerumen.
- Otitis media crónica Laberintizada.
- Sordera súbita.
- Presbiacusia.
- Hipertiroidismo.
- Lesiones tumorales o degenerativas de la vía auditiva comprobables por métodos radiográficos de rutina (Tomografía axial computarizada, resonancia magnética, etcétera.).
- El Acúfeno añade a su componente periférico otro central, que, en ocasiones, imposibles de predecir, va a ser el fundamental y ambos serán influenciados recíprocamente por la personalidad del paciente. Como factores desencadenantes se citan los cambios de tiempo, de temperatura, la habitación con humo de tabaco, el catarro nasosafíngeo, el estrés emocional, etc. [19]

Berliner Y Cunningham clasifican 17 factores que pueden estimular el Acúfeno, destacan, por este orden: fatiga, nerviosismo, emoción, actividad física, lugares ruidosos, cambios de tiempo, preocupación, falta de sueño, etc. [20]

Fowler [21] nos dice que pueden ser producidos por corrientes eléctricas que causan vibraciones de los músculos del oído medio o anexos, por tensar firmemente los músculos alrededor de los oídos o de los ojos, por tensar la mejilla o los músculos nasofaríngeos como cuando se bosteza, por respirar forzosamente a través de la nariz, por guiñar forzosamente o por cerrar los ojos violentamente.

Sebear atribuye el 22.1% de los Acúfenos al ruido, el 12.4% a traumatismo craneal, el 4.4% a ototóxicos, el 15.6% a hipertensión arterial y el 5.7% a diabetes. El mismo autor señala que el 90% son debidos a problemas de oído interno, ocurriendo la etiología isquémica en el 29% de pacientes, la traumática (craneal, coclear, sonora o bórica) en el 21% de los casos y es desconocida en el 13% restante. Piensa que existe hipoacusia en el 70% y vértigo en el 20% de los casos de Acúfenos y que cuando consultan los pacientes el Acúfeno tiene una antigüedad media de 30 meses. [22]

Pero un alto porcentaje de Tinnitus son el resultado de alteraciones bioquímicas neuronales, las cuales provocan una irritación o lesión de la vía auditiva, presentando una causa funcional motivada por alteraciones metabólicas celulares. La mayoría de zumbidos vienen de daño al oído interno, específicamente la cóclea. Puede también relacionarse con daño al nervio auditivo (VIII) entre oído y cerebro, mucho más

raramente de lesión al tronco cerebral y extremadamente raro al cerebro [19]. Otras causas incluyen la infección o el líquido del oído medio, la enfermedad de Ménière, el síndrome de compresión microvascular, tumores del nervio VIII. Muchos medicamentos pueden causarlo por sus efectos sobre la cóclea. Algunos de los fármacos que aumentan o causan habitualmente los Acúfenos son:

- AINE o fármacos antiinflamatorios no esteroides.
- Ac. Acetilsalicílico y otros salicilatos.
- Algunos diuréticos.
- Quininas y drogas relacionadas.
- Quimioterapia.
- Ocasionalmente los antidepresivos.

Hay causas fuera de la vía acústica:

- Acufenos reflejos: por causas dentarias, digestivas, nasosinusales, faríngeas, laríngeas, distorsión mecánica de la articulación temporo-mandibular, síndrome de Costen por mal oclusión dentaria, insuficiencia de los músculos oculares rectos externos. [24]

- Acúfenos reflejos: Klotz dice que algunos Acúfenos desaparecen tras el tratamiento de un glaucoma, corrección de un estrabismo, cura de un proceso dentario o sinusal e incluso de una esfenoiditis. [25]

Senechal señala como posible causa de Acúfenos: alteraciones gastrointestinales, genitales, dentarias -caries, granuloma apical-, síndrome de Costen. [26]

El 49,26% de los pacientes consultan por Acúfenos, de causa funcional sobresaliendo los antecedentes mostrados en la tabla 1-1 [18].

Antecedentes	Porcentaje %
Traumatismos craneales.	21,10
Enfermedades neurológicas.	29,68
Enfermedades metabólicas.	23,80
Enfermedades cardiovasculares.	46,02
Hipertensión.	30,15
Hipotensión.	15,87

**Tabla 2. Antecedentes de Pacientes con Acúfenos**

## 6.5. CARACTERÍSTICAS DEL TINNITUS.

Las características más relevantes son [8-10]:

- Sonoridad: Es un ruido intenso que varía de acuerdo al paciente, puede ir desde 7 dB SPL, hasta 50 dB SPL con una frecuencia de 1 KHz [27].
- Tonalidad: Puede ser descrito como un tono puro (79%), un ruido (6%) o una mezcla de ambos (15%) [27].
- Frecuencia: se han encontrado Tinnitus en una amplia gama de frecuencias que van desde los 100 Hz hasta los 8 KHz [27].
- Localización: Puede percibirse en ambos oídos, en uno solo, en la cabeza y muy rara vez fuera de ella.
- Hipoacusia: El paciente puede presentar hipoacusia de diferentes grados, y algunos necesitan ser equipados con otoamplifonos.

### **6.5.1. MEDICIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS PSICOACÚSTICAS DEL TINNITUS.**

La cuantificación de un síntoma es fundamental para entender los mecanismos y causas de una enfermedad y así proponer tratamientos. Si podemos medirla, seríamos capaces de estudiarla. Hasta la fecha, cada una de las características Psicoacústicas del Tinnitus encontradas en la literatura, además de variada, no es concluyente. Los métodos psicoacústicos permiten identificar la frecuencia o tonalidad del Acúfeno, que generalmente es aguda y que no corresponde a un tono único, sino que más frecuentemente a un ruido similar al de banda estrecha. Además permiten medir la intensidad de éste, el cual presenta dos particularidades, una que raramente excede los 15 dB HL (~19 dB SPL @ 500 Hz) del umbral auditivo del paciente y dos, que los pacientes son muy exactos en precisar su intensidad en repetidos exámenes sin equivocarse. Los métodos psicoacústicos permiten medir el Nivel Mínimo de Enmascaramiento (NME), el cual es útil de conocer cuando se planea una terapia de enmascaramiento sea con audífonos o enmascaradores (especialmente cuando este NME, no excede por más de 10 dB HL) a la intensidad del acufeno experimentado por el paciente y por último, permiten medir la inhibición residual la cual si es 100% positiva por más de un minuto, es también un buen índice de la utilidad para el uso de enmascaradores o de audífonos o de las llamadas terapias reentrenamientos del Tinnitus (TRT), de Jastreboff [28].

Al igual que en cualquier medición, existe mucha variabilidad en las señales y las fuentes que las generan, más aun en mediciones del Tinnitus donde no se presentan tonos acústicos puros [28]. Según Eggermont el Tinnitus es probablemente el resultado de la plasticidad de mala adaptación del sistema nervioso central, es decir el sistema nervioso central pretende restaurar sus niveles de actividad neuronal evocados que han disminuido debido a la pérdida de audición, mediante el aumento de ganancia de su sinapsis. Pero esto también afecta la ganancia de SFR, que se produce en ausencia de una fuente de sonido físico y entonces generalmente aumentan [29]

Burn en [30], señaló que los pacientes con Tinnitus, al colocarle un estímulo con tonos puros de 1, 2 y 4 KHz, muestran mayor grado de magnitud en los Tinnitus coincidentes con dichas frecuencias. La caracterización psicoacústica se realizó por medio de un equipo sintetizador de frecuencias programable de la marca Hewlett-Packard 3325A o



con un oscilador controlado por voltaje, Wavetek 164 [30]. Esta caracterización era muy subjetiva ya que, no había ninguna relación entre el tono del Tinnitus y los tonos puros usados para enmascararlos, por ejemplo uno de los pacientes en el estudio estimo que su nivel de Tinnitus fue de alrededor 30 dB SPL, con una máscara de ruido blanco con un nivel de 80 a 90 dB SPL en todas las frecuencias. Stouffer y Tyler en [31] notaron muy pocas diferencias en la evaluación del Tono subjetivo en muchos grupos con diferentes causas. Hay muy pocos estudios que muestren la relación entre las causas de la pérdida de la audición y los tonos del Tinnitus.

Sobre la base de similitudes fenomenológicas se ha propuesto que el Tinnitus es el análogo del dolor fantasma con desafrentación auditiva que representa su factor causante. Muchos modelos posteriores son refinamientos de este concepto y se limitan a los cambios en el sistema auditivo, al hacer zoom sobre los aspectos específicos relacionados con la privación auditiva, tales como hiperactividad, aumento de ganancia, la plasticidad, incluyendo el mapa de plasticidad y homeostático plasticidad, la sincronía, y la sensibilización. Muchos de estos modelos siguen siendo un tema de debate, tales como la participación de sincronía o si los cambios en la ganancia explican realmente Tinnitus y no solo Hiperacusia. [32]

Henry y Meikle en [33] encontraron que el 6 % de los hombres y el 15 % de las mujeres tienen un tono alrededor de los 1,5 KHz. Las diferencias entre géneros, puede ser atribuida en gran parte, a la exposición al ruido por parte de la población masculina. En general, los tonos coinciden de la siguiente manera:

Patología	Frecuencia
Enfermedad de Ménière	125Hz a 250 Hz.
Tinnitus en oído medio	250Hz a 2000 Hz.
Ruido inducido	2000Hz a 8000 Hz.
Presbiacusia	2000Hz a 8000 Hz.

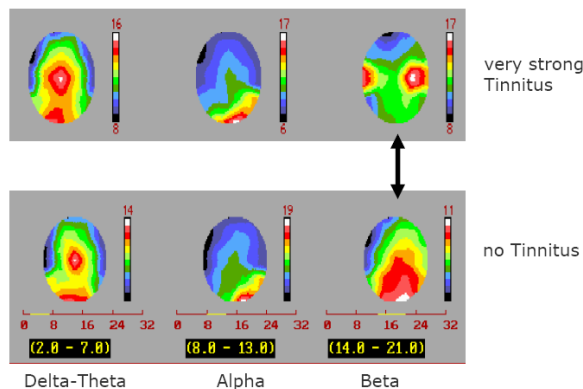
**Tabla 3. Patologías Vs Frecuencias Dominantes**

Estas características estudiadas en pacientes con diferentes causas son estudios subjetivos, los cual nos permite concluir que las frecuencias de los tonos encontradas no son patognomónicas de la enfermedad, no son características del Tinnitus.

## **6.6. ESTADO DEL ARTE DE LA ACUFENOMETRÍA OBJETIVA.**

Salvo la afirmación del paciente de percibir un ruido en sus oídos, es un asunto muy difícil de abordar para el médico tratante y también para el investigador, quienes no han hallado algo así como una puerta de entrada por donde atacar con razonamientos dicho problema. Pero hace unos 30 años se inició una ofensiva por parte de la comunidad científica, que ha generado un gran volumen de información con infinidad de datos interesantes, que deben terminar produciendo un cambio en la manera de abordar el tema de los Acúfenos.

Aunque se encuentran equipos para diagnosticar el Tinnitus desarrollados en diferentes países, se basan en otros principios subjetivos que dependen de la respuesta del paciente, no existe un consenso general. No hay un instrumento de diagnóstico aprobado por la ATA (Asociación Americana de Tinnitus, ATA) utilizado por los Otorrinolaringólogos para un examen acertado del mismo. Por ejemplo, se pueden encontrar equipos como el Acufenómetro Objetivo desarrollado por el investigador Ramiro Vergara, Otorrinolaringólogo Colombiano especializado en el estudio del Tinnitus (Acufenos) [34], diseñado con el fin de diagnosticar el Tinnitus Vibratorio (Tinnitus Objetivo) en 1995. Dicho instrumento de tecnología analógica disponía de un sensor (micrófono de alta sensibilidad), que permitía captar la señal sonora correspondiente al Tinnitus, visualizarla en la pantalla del osciloscopio, imprimirla y luego grabarla en cinta magnetofónica. Sin embargo, su eficiencia solo alcanzaba un 45%, es decir, que a un 55% de pacientes no se les podía diagnosticar claramente, y, además, se presentaba mezclada con otras señales, lo que impedía visualizarla nítidamente. Tampoco se podía filtrar, ni magnificar la señal. En Alemania, específicamente en Saarbrücken, la empresa Mineway, realiza estudios de diagnóstico del Tinnitus empleando los datos obtenidos en un examen de Electroencefalografía (EEG). Existen alrededor de 250.000 nuevos casos de Tinnitus por año en Alemania y cerca del 1% de la población sufre de Tinnitus crónica. Por tal motivo, y teniendo en cuenta que no existe un instrumento para su diagnóstico, la empresa Mineway, analiza las posibles causas dentro del cerebro, mirando los datos que se generan en el EEG. En él, muestra los valores comparativos de contrastes encontrados en el cerebro de los pacientes [35]. Un ejemplo de un paciente con Tinnitus severo (parte superior) y otro sin Tinnitus (parte inferior) se ilustra en la figura nº1.



**Ilustración 1. Indicador de Tinnitus con EEG**

El análisis de la información encontrada en el examen, es evaluado con métodos de minería de datos (árboles de decisión y redes neuronales para la clasificación de los modelos y las evaluaciones con validación cruzada y 'leave-one-out') tomando como referencia la población afectada, los datos entregados por el EEG, la duración de la afección, etc. Los datos analizados por el EEG son mediciones naturales, que utilizan la transformada de Fourier en 19 puntos y con 5 frecuencias fundamentales: Delta (2 – 4

Hz), Theta (4 – 7 Hz), Alpha (8 – 13 Hz), Beta (14 - 21 Hz) y Gamma (28+ Hz, generalmente de 40-100 Hz). Ellos demuestran la viabilidad de la minería de datos para el diagnóstico del Tinnitus y proponen que con la utilización de la transformada wavelet en el análisis de los datos, se puede mejorar la obtención de un diagnóstico más acertado.

## 6.7. MEMS

Debido a las ventajas presentes en los micrófonos de tipo condensador como son sonidos brillantes y definidos, buena sensibilidad y respuesta a altas frecuencias, presentamos una inclinación por los modelos de este tipo de micrófonos, siendo el más utilizado de esta tecnología el Electret (ECM), pero debido a su carencia en la repetitividad y estabilidad de temperatura, se optó por utilizar la tecnología MEMs. Los micrófonos MEMs operan bajo el mismo principio que los micrófonos de condensador, presentan sus ventajas y además tiene una excelente estabilidad y repetitividad.

Los micrófonos son un tipo particular de sensores MEMs de presión diseñados para transductores de señales acústicas.

El equilibrio entre el nivel de ruido del micrófono, recortes punto, la distorsión y la sensibilidad determina una buena opción para el diseño de aplicaciones acústicas.

Una de las características principales de los micrófonos MEMs son su excelente estabilidad a través en un amplio rango de temperaturas, la siguiente figura, muestra el cambio en la sensibilidad de como la temperatura ambiente varía entre -40 ° C y +85 ° C. la línea de color negro muestra menos de 0.5 dB de variación a lo largo del rango de temperatura para el micrófono MEMs, mientras que los ECM muestran una variación de hasta 8 dB de temperatura.

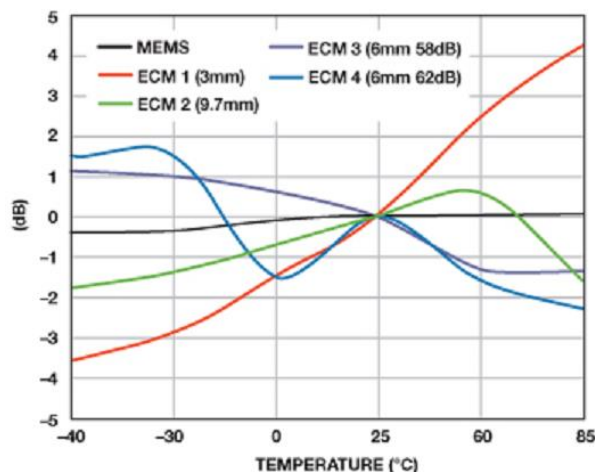
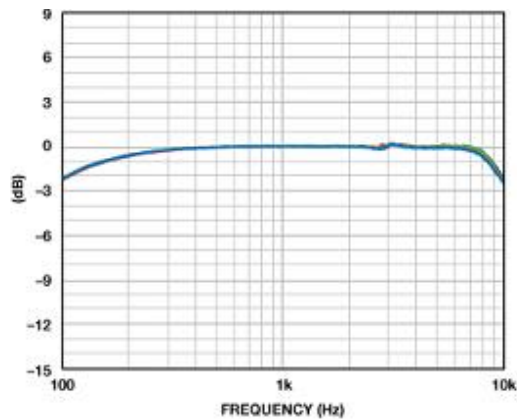


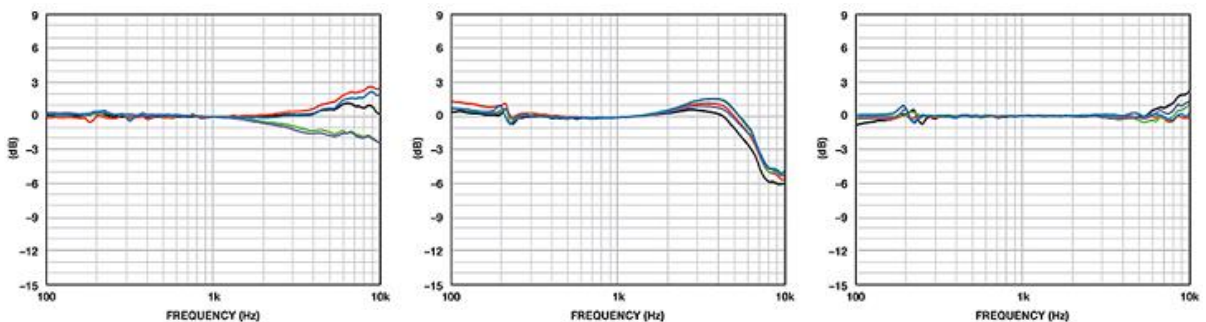
Ilustración 2. Sensibilidad a la vibración frente a la temperatura: MEMS vs. ECMs.

Las características de los sensores acústicos presenta nuevos retos para la industria , la evolución de los micrófonos ha llegado al punto en el cual los micrófonos MEMS han tomado una amplia gama hasta el punto que hoy en día , son por defecto la mejor opción para aplicaciones de captura de audio. La oferta de estos micrófonos MEMS ha empezado a crecer por sus características tan únicas , el bajo consumo de energía , rendimiento de ruido, la estabilidad del medio ambiente y la repetitividad de dispositivo a dispositivo, son sus principales cualidades a la hora de ser comparado con otro tipo de sensores.

La ilustración 3 muestra la respuesta de frecuencia normalizada de varios micrófonos MEMS del mismo modelo; La ilustración 4 muestra la respuesta de frecuencia normalizada de varios ECMs. La respuesta de frecuencia de cada micrófono MEMS es casi idéntica, mientras que la de los ECMs muestra significativamente variación de dispositivo a dispositivo, especialmente en las frecuencias altas y bajas.



**Ilustración 3. Frecuencia de respuesta de varios micrófonos MEMS**



**Ilustración 4. Respuesta de frecuencia de tres conjuntos de micrófonos ECM.**

Los micrófonos MEMS también han mejorado significativamente el rechazo de fuente de alimentación en comparación con ECMs, con una relación de rechazo a fuente de alimentación (PSRR) de mejor que -50 dB. La señal de salida y la tensión de polarización (potencia) comparten un pasador común sobre un ECM, por lo que cualquier ondulación en la fuente de alimentación aparece directamente en la señal de salida. [36]

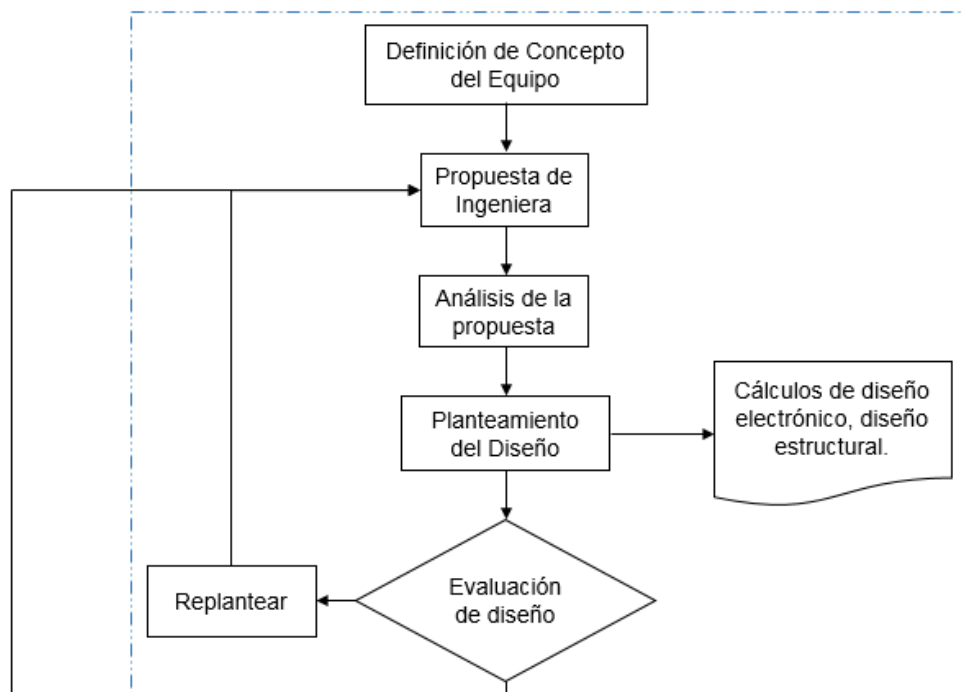
## 7. DISEÑO METODOLÓGICO

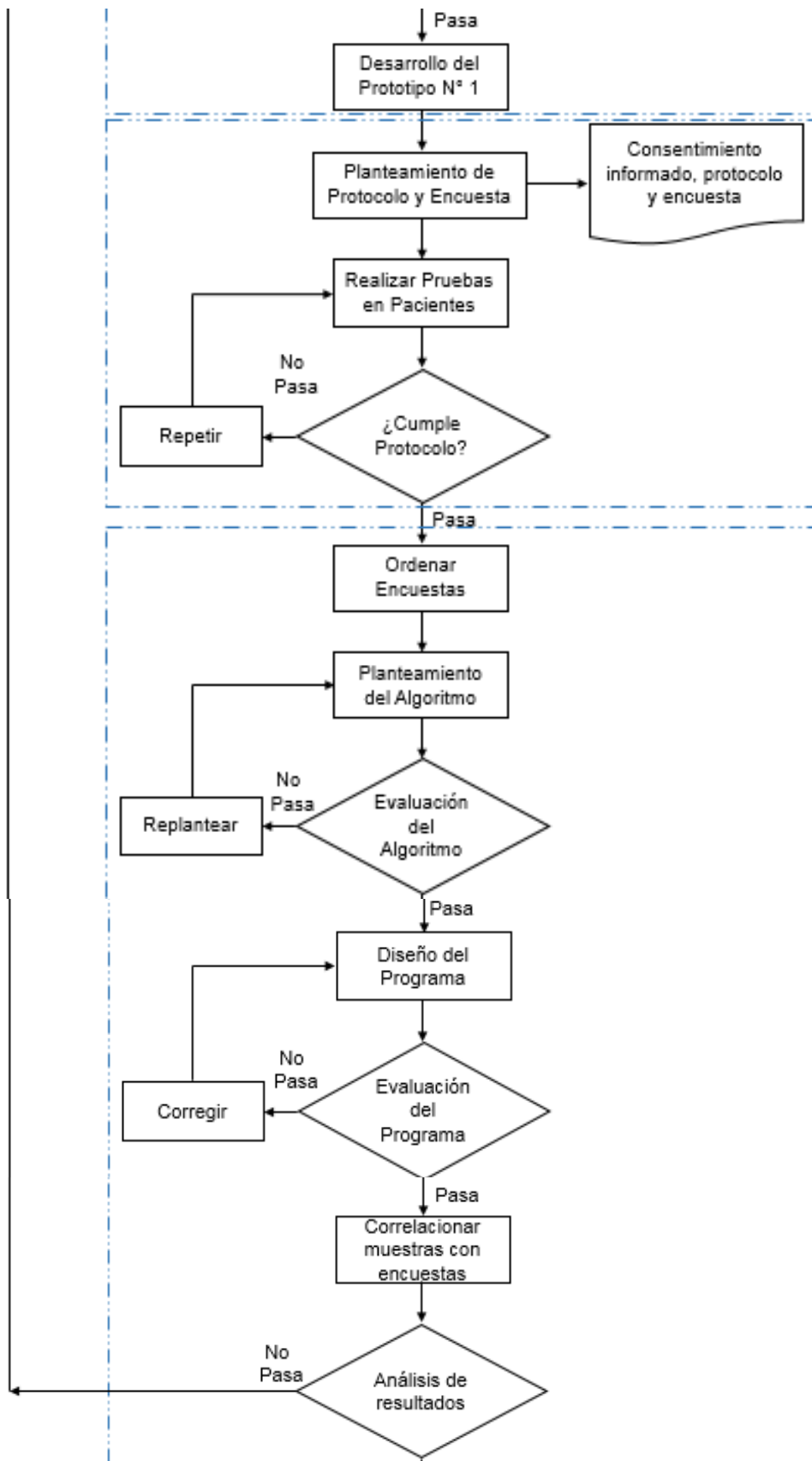
En la fase de transformación de una idea en un producto, para la solución de un problema, es necesario la definición clara de los alcances de este.

En este caso específico se dividió el proceso para la creación de un prototipo final en diferentes fases o procesos de diseño, iniciando con la definición del concepto del equipo, en el cual se definen las funciones o función principal que debe cumplir el equipo o producto final, este se encuentra seguido de la propuesta de ingeniería en la que se plantea la hipótesis de cómo se procederá a cumplir la función del equipo.

Luego de haber establecido de forma clara y concisa las funciones principales del equipo se procedió por medio de herramientas CAD como: solidworks, Eagle y proteus. A analizar las respuestas presentes en cada uno de los sistemas. Obtenido las respuestas del comportamiento teórico de cada uno de estos.

Luego de la aprobación del prototipo se procede a la manufactura de este con la finalidad de evaluar su comportamiento real del mismo, luego de este, se procede a hacer una evaluación del cumplimiento de la función principal del producto, para sus posteriores correcciones. Luego de estas se procedió a la respectiva validación experimental de este, en donde se simulan las condiciones de operación del equipo, dando paso esta validación de funcionamiento a la fase de validación experimental. Correspondiente aprobación o desaprobación en trabajo de campo, cuando todos los objetivos de funcionamiento en campo son cumplidos se procede a la elaboración de un prototipo final.





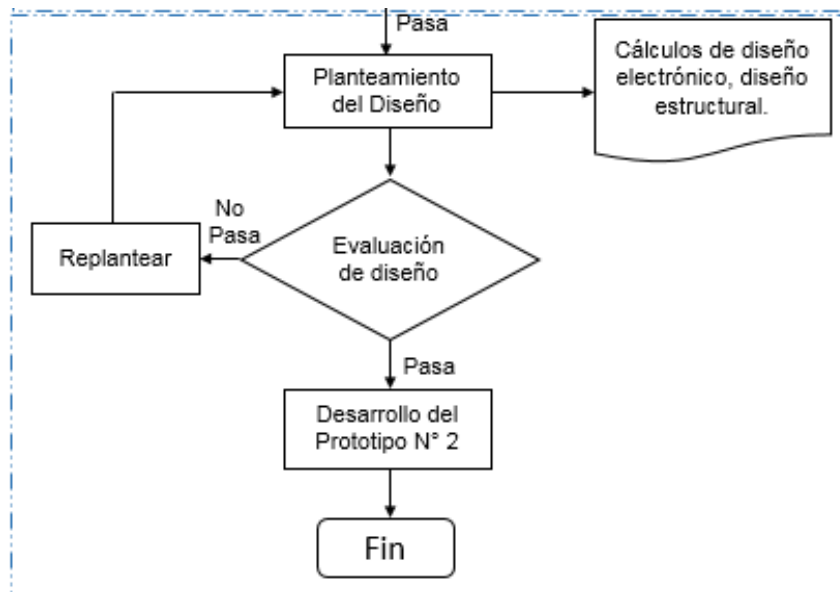


Figura 1. Algoritmo para diseño del Equipo

## 7.1. DEFINICIÓN DEL CONCEPTO DEL EQUIPO.

El acufenometro es un equipo médico de diagnóstico, diseñado con la finalidad principal de captar señales acústicas provenientes del oído y utilizado en este caso específico para la medición objetiva de acúfenos mecánicos.

## 7.2. PROPUESTA DE INGENIERÍA

Con la finalidad de sensar las señales acústicas provenientes del oído, se creará un ambiente hermético entre el canal auditivo y el sensor, esto se logra por medio de un cono con forma y propiedades de propagación acústica, el cual va sujeto a un soporte que rodea la cabeza para generar una presión constante entre el sensor y el canal auditivo y evitar ruidos causados por el movimiento del canal auditivo con respecto al sensor.

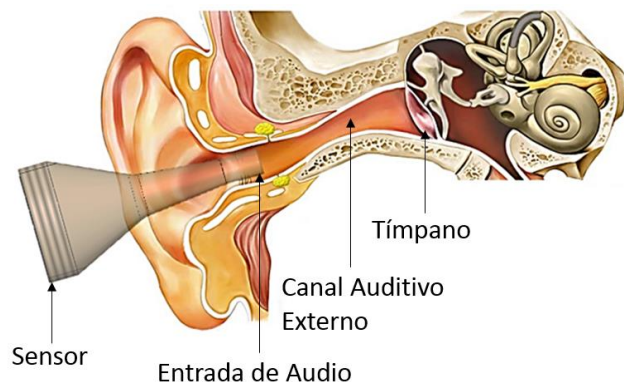


Ilustración 5. Relación del Sensor frente al canal Auditivo

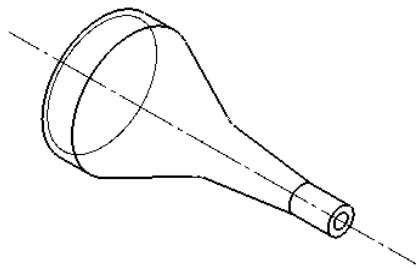
### **7.2.1. PROPUESTA DE DISEÑO ELECTRÓNICO.**

Por medio de la utilización de un micrófono se procederá a capturar las señales acústicas provenientes del oído, cerrando el ancho de banda para frecuencias audibles en el rango de 20 Hz a 20 KHz

### **7.2.2. PROPUESTA DE DISEÑO ESTRUCTURAL.**

#### **7.2.2.1. ELEMENTO DE TRANSMISIÓN ACÚSTICA**

Se requiere un material que carezca de la capacidad de amortiguación acústica, que cuente con una forma que permita la mayor amplificación acústica posible y además que posea la cualidad de direccionar las ondas sonoras, sin dejar a un lado características como la fácil limpieza y la hermeticidad del micrófono con respecto al canal auditivo, por lo cual es necesario añadir un accesorio en el extremo que tenga contacto con el canal auditivo.



**Ilustración 6. Propuesta de diseño elemento de transmisión acústica**

#### **7.2.2.2. ELEMENTO DE SUJECCIÓN ESTRUCTURAL**

Con el fin de dar comodidad tanto al paciente como al personal encargado de la toma del examen, es necesario crear un elemento de sujeción que permita el fácil posicionamiento y realice una presión constante del elemento de transmisión acústica, ya que el movimiento de este genera ruidos indeseados, interfiriendo en el análisis de las señales.

Ya definidas las características que debe poseer, se procederá a definir las propiedades de los materiales de construcción del elemento de sujeción estructural. Para su construcción es necesario un componente de bajo peso, con la cualidad de aislar el sonido para evitar la transferencia del mismo por la superficie de la carcasa, alta durabilidad, resistencia a la corrosión y debe contar con la capacidad de recobrar su forma (memoria del material) para que ejerza presión en sentido del canal auditivo.

### **7.3. ANÁLISIS DE LA PROPUESTA**



### 7.3.1. ANÁLISIS DE LA PROPUESTA DE DISEÑO ELECTRÓNICO.

En esta etapa se realiza un estudio de los componentes encargados de capturar y tratar las señales acústicas obtenidas. Como paso principal se procederá a definir los componentes:



Figura 2. Diagrama Acufenómetro objetivo

#### 7.3.1.1. MICRÓFONO TIPO MEMS ADMP401.

Debido a las ventajas presentes en los micrófonos de tipo condensador como son sonidos brillantes y definidos, buena sensibilidad y respuesta a altas frecuencias, presentamos una inclinación por los modelos de este tipo de micrófonos, siendo el más utilizado de esta tecnología el Electret (ECM), pero debido a su carencia en la repetitividad y estabilidad de temperatura, se optó por utilizar la tecnología MEMs. Los micrófonos MEMs operan bajo el mismo principio que los micrófonos de condensador, y superan la tecnología Electret en muchos factores como son: bajo consumo de energía, repetitividad, estabilidad y tamaño reducido.

#### 7.3.1.2. PRE AMPLIFICACIÓN OPA 344.

A causa de los bajos niveles de amplitud presentes en la salida del sensor es necesario el tratamiento y acondicionamiento de la señal obtenida. Comenzando por la etapa de Pre Amplificación, esta tiene como objetivo principal elevar los rangos de la señal para su posterior filtrado, esto es debido a que los filtros no atenúan únicamente la energía que se encuentra fuera del ancho de banda establecido sino el total de esta. En este caso se encuentra el OPA 344 como componente principal debido a que cumple con los requisitos del ancho de banda establecidos por la ficha técnica del sensor, y baja potencia que es un factor de alta importancia en el diseño del Acufenómetro ya que este requiere baterías para su alimentación, dando al equipo más horas de autonomía

#### 7.3.1.3. BANCÓ DE FILTROS.

Debido a los amplios rangos de señales electro-magnéticas presentes en el ambiente, sonidos indeseados en el área de examen y con la finalidad de limitar los rangos de frecuencias de muestreo, se establece el ancho de banda para un filtro pasa bajo de séptimo orden en un rango de 100 Hz a 15 K Hz. Además con la finalidad de eliminar señales parasitas de alta energía se diseña un filtro pasa bajos Butterworth con una frecuencia de paso de 15KHz a una frecuencia de corte de 30KHz, esto con la finalidad

de no atenuar ninguna de las señales que se puedan encontrar dentro del rango dado de 100 Hz a 15 K Hz.

#### **7.3.1.4. AMPLIFICADOR.**

Debido a la baja intensidad presente en las señales y la pérdida de energía a causa de la etapa de filtrado de señales parasitas. Es necesario aumentar la amplitud de la señal capturada, para facilitar su procesamiento y caracterización. Dándole a esta una variación en la ganancia, debido a las diferentes amplitudes presentes en la patología, esto con el fin de evitar la saturación del amplificador.

#### **7.3.1.5. ALIMENTACIÓN.**

Con la finalidad de evitar los ruidos eléctricos referentes a la toma de suministro eléctrico, aumentar la portabilidad del equipo y brindar mayor comodidad al operario del equipo y al paciente, se procede a alimentar los circuitos con baterías.

### **7.3.2. ANÁLISIS DE PROPUESTA DE DISEÑO ESTRUCTURAL.**

#### **7.3.2.1. ELEMENTO DE TRANSMISIÓN ACÚSTICA.**

Teniendo en cuenta la función a realizar del dispositivo, se precede a la selección del material de construcción del mismo. Como se ha mencionado y descrito anteriormente en: Propuesta de diseño estructural – Elemento de transmisión acústica, es necesario un material rígido, que permita su fácil mecanizado y presente resistencia a la corrosión. Debido a las características y propiedades presentes en el bronce latón proponemos la selección de este para la creación del elemento de transmisión acústica ya que cumple con los ítems establecidos para la selección del material y además por sus características de propagación acústica y resonancia.

#### **7.3.2.2. ELEMENTO DE SUJECCIÓN ESTRUCTURAL.**

Para la realización de un prototipo físico y funcional, se examinan las posibilidades de materializar este, siendo la impresión 3D la opción con más ítems a favor, analizando: costos de producción, materiales, precisión y tiempo de producción. Esta frente a la inyección, el termo-formado y mecanizado, es la que requiere menos procesos para su fabricación además de sus bajos costos, teniendo en contra solamente los limitados materiales de impresión presentes actualmente en el mercado, encontrando solamente tres: ABS, PLA y Nylon.

Para la elaboración de este, se ha seleccionado filamento de Nylon, su selección se basa en sus propiedades mecánicas, como son: alta resistencia a la tensión, un alto módulo de elasticidad y una buena recuperación frente a cargas dinámicas. Tomando como principal característica la recuperación instantánea luego del cese de la carga, propiedad que se encuentra menos notable en materiales como el ABS Y el PLA.

## 7.4. PLANTEAMIENTO DEL DISEÑO.

### 7.4.1. PLANTEAMIENTO DE DISEÑO ELECTRÓNICO.

#### 7.4.1.1. CIRCUITO DE ALIMENTACIÓN.

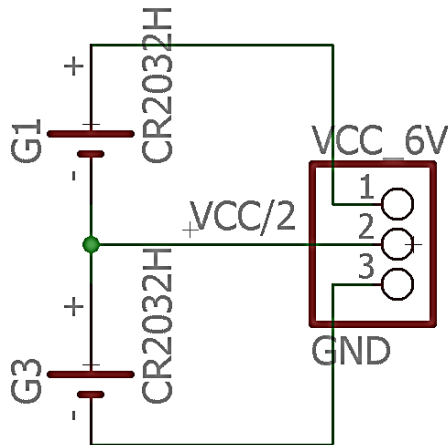
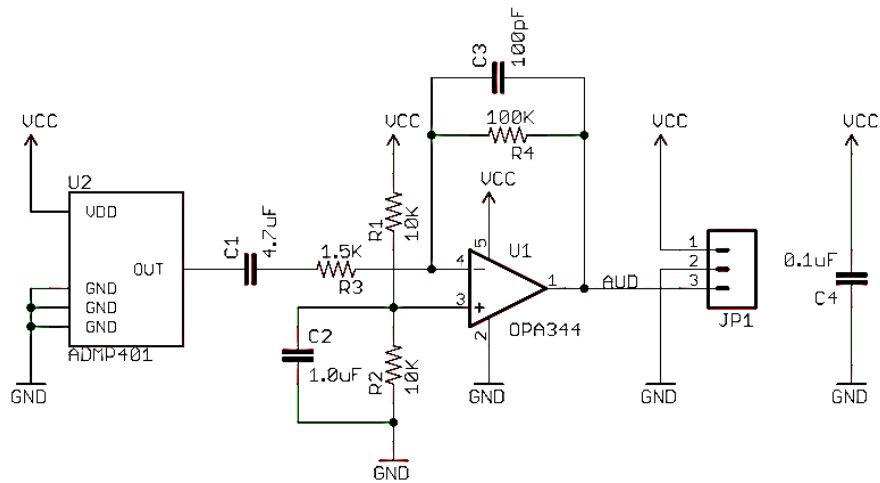


Ilustración 7. Plano electrónico del circuito de alimentación.

Siendo la autonomía del equipo, una de las principales consideraciones de diseño a la hora de alimentar los componentes electrónicos presentes en el circuito. Y teniendo en cuenta los diferentes voltajes manejados por este, ya que el circuito dispuesto para el sensor soporta una tensión máxima de 3.3V, y en los circuitos de filtrado y amplificación se requiere voltajes más elevados principalmente para evitar la saturación del sistema debido a el factor de amplificación tan elevado presente en este.

Se dispondrá de dos baterías de 3V en serie con la finalidad de obtener un voltaje de salida de 6V para la etapa de filtrado y del amplificador, dando una potencia máxima de alimentación para el circuito 1.32 Watts.

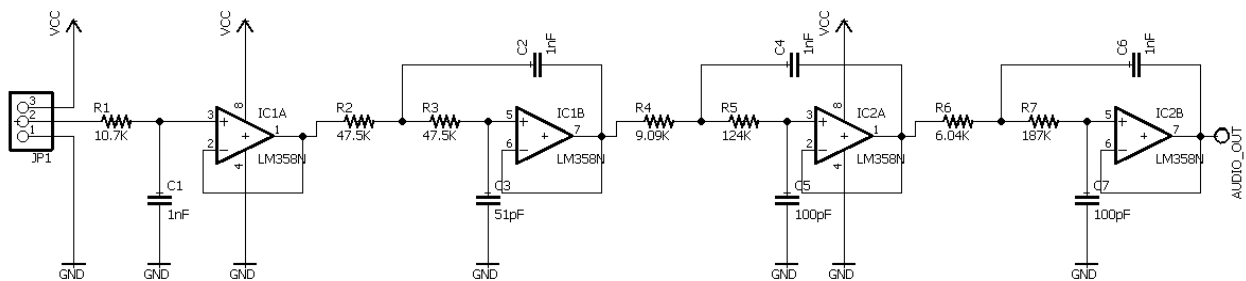
#### 7.4.1.2. CIRCUITO DE PRE-AMPLIFICACIÓN Y FILTRO PASA BANDA



**Ilustración 8. Plano electrónico del circuito de Adquisición, Pre-Amplificación y Filtro Pasa Banda desarrollado por Sparkfun ®**

El sistema de adquisición de señales generadas por los Acufenos, está basado en un micrófono tipo MEM's como sensor, seguido de un sistema de pre amplificación, el cual posee una ganancia de 67, la que está determinada por  $R4/R3$ , a su vez el componente  $C3$  limita el ancho de banda de la señal y brinda mejor estabilidad en la amplificación de las señales de audio.  $R1$  y  $R2$  se utilizan de modo para polarizar el Amplificador aproximadamente  $\frac{1}{2}$  de  $V_{cc}$ , debido a que su fuente de alimentación es una única tensión positiva. El componente  $C2$  ofrece una corriente alterna de baja impedancia.  $C1$  es para fines de DC-bloqueo.

### 7.4.1.3. CIRCUITO PASA BAJOS



**Ilustración 9. Plano electrónico del circuito pasa Bajos**

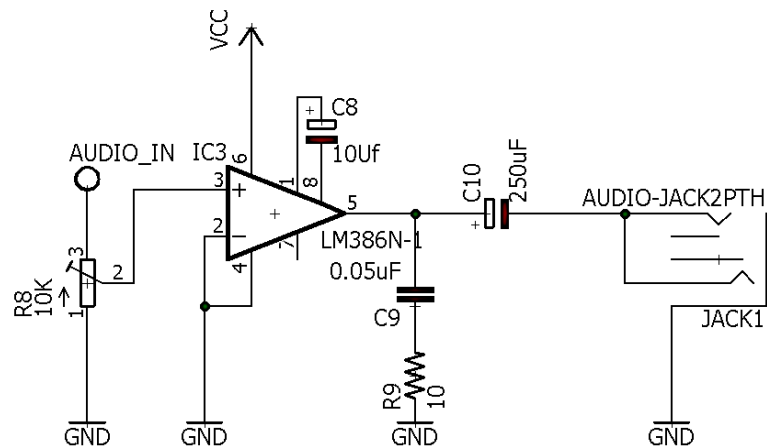
Debido a los efectos ocasionados por perturbaciones externas y ruidos de alta frecuencia que alteran considerablemente las señales capturadas, y dificultando el tratamiento de estas mediante software. Se optó por implementar un filtro que permitiera atenuar estas señales a niveles mínimos.

Debido a su linealidad en respuesta. Para la implementación se selecciona un filtro de séptimo orden tipo Butterworth de topología Sallen-Key, proporcionado así un factor de

calidad elevado frente a los filtros convencionales. Su comportamiento a la respuesta de las frecuencias dadas proporciona un alto grado de solidez para el funcionamiento de las bandas de frecuencias importantes en la toma de muestras de audio.

Parámetros de diseño; banda de paso 15KHz, banda de bloqueo 30KHz, establecidas por la ecuación  $f_c = \frac{1}{2\pi RC}$ , coeficiente de atenuación de 60dB/década, Ganancia 1 V/V, Alimentación por fuente única.

#### 7.4.1.4. CIRCUITO DE AMPLIFICACIÓN



**Ilustración 10. Plano electrónico del circuito De Amplificación**

Se ha empleado el Circuito Integrado LM386 como elemento principal para establecer la potencia de audio final. La señal de entrada pasa a través de un potenciómetro de 10KΩ el cual hace las veces de control de volumen, permitiendo el paso de mayor o menor voltaje hacia la entrada del Op-Amp. La salida saldrá por el pin 5 del Im386 y pasara a través del capacitor de desacople antes de llegar a la salida de audio. El capacitor el cual controlara la ganancia del amplificador está determinado por los pines 1 y 8 el respectivo circuito, en este caso se ha empleado una ganancia de 200, esto con el fin de amplificar las señales de baja potencia.

#### 7.4.2. PLANTEAMIENTO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL.

Principalmente se diseñaron dos artes diferentes del prototipo físico a mano alzada, con la finalidad de definir la distribución de los componentes y la forma del dispositivo. Con el fin de hacer la selección más óptima de este, se definieron unos ítems de diseño estructural los cuales debía seguir el prototipo como: ergonomía, distribución de pesos, hermeticidad del elemento de transmisión acústica frente al sensor, facilidad de ensamble, robustez, acceso a los elementos de control y percepción estética de este. Dando como resultado una creación híbrida entre ambos, tomando las mejores ideas de ambos diseños y juntándolas en un solo prototipo, para posteriormente ser dibujado en

el programa de diseño CAD SolidWorks, en donde se puede observar el diseño del equipo de una forma más real, lo que lleva a mejoras estéticas más acertadas.



**Ilustración 11. Prototipo N° 1 del Acufenometro**

## **7.5. EVALUACIÓN DE DISEÑO ELECTRÓNICO.**

Se procede a la simulación de los circuitos implementados y propuestos en el software de simulación electrónica CAD Proteus, con la finalidad de evaluar la respuesta de frecuencia de los filtros implementados.

### **7.5.1. CIRCUITO FILTRO PASA BANDA.**

Debido al bajo orden de este filtro se evidencia falencias en las frecuencias de paso de banda (100Hz – 15KHz). Ocasionando una menor atenuación en relación dB/décadas frecuencia. Por lo cual se encuentran presentes frecuencias parasitas en el circuito, lo cual lleva a la implementación del filtro pasa bajos para restringir las frecuencias de paso.

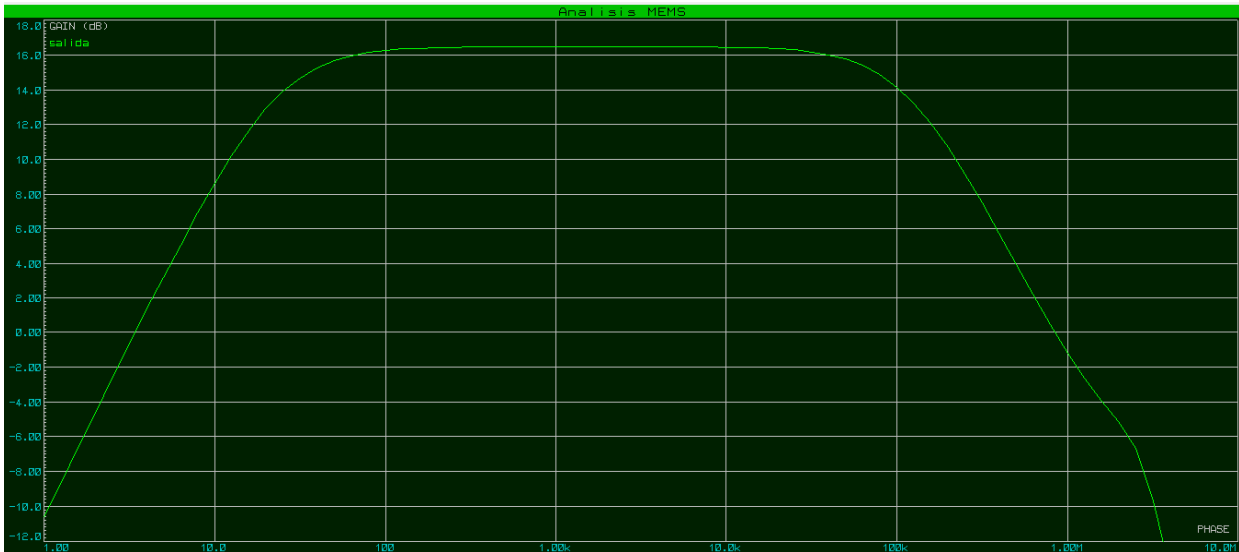


Ilustración 12. Respuesta filtro Pasa Banda (Simulación)

### 7.5.2. CIRCUITO FILTRO PASA BAJOS.

La respuesta en fase y frecuencia del filtro se muestra a continuación en la Ilustración 13. Se puede observar que esta cuenta con respuesta plana hasta la frecuencia de corte, se implementó un filtro de tipo Butterworth. El filtro en su respuesta muestra una atenuación de -60 dB/década asta 30KHz. El objetivo fundamental de colocar un filtro de este orden, es mitigar los efectos ocasionados por perturbaciones externas y ruido de alta frecuencia que alteraban considerablemente la señal.

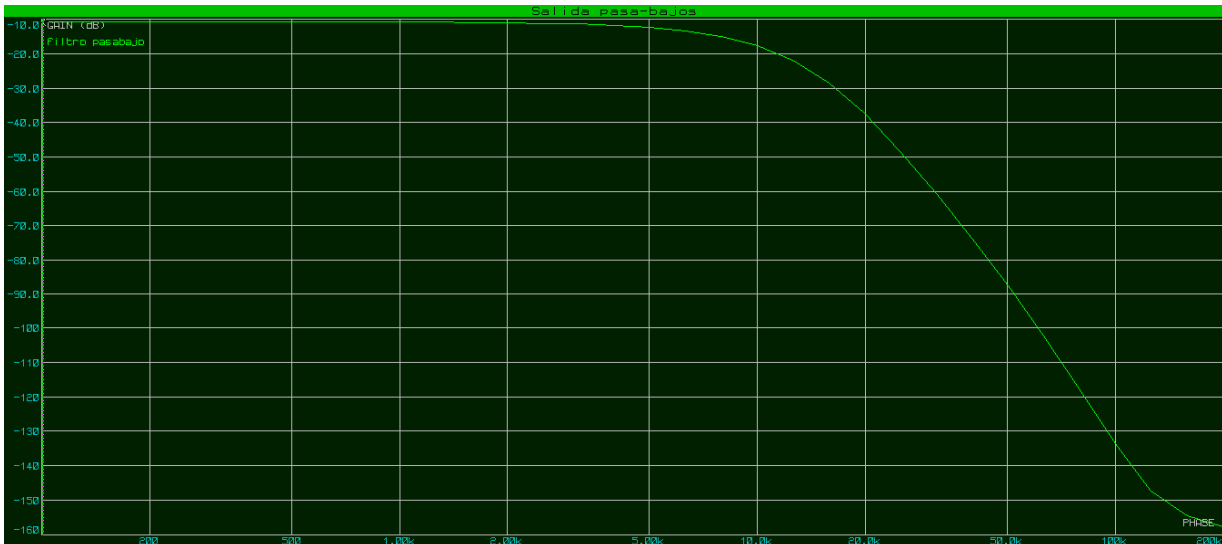


Ilustración 13. Respuesta en frecuencia del filtro Butterworth pasa bajos de 7º orden.

## 7.6. DESARROLLO DEL PROTOTIPO

### 7.6.1. DESARROLLO DE ELEMENTO DE TRANSMISIÓN ACÚSTICA.

Este se realiza en una aleación de bronce y latón, partiendo de un cilindro de 2". Para el mecanizado se selecciona una herramienta CNC, en este caso un torno. Esto con la finalidad de poder tener una repetitividad en la fabricación de futuras piezas, el mecanizado de esta se realiza de forma longitudinal, esto con la intención de: utilizar las fibras longitudinales de la extrusión del material para mejora la propagación del sonido y evitar pérdida de energía en los espacios transversales del material.

### 7.6.2. DESARROLLO ELECTRÓNICO.

#### 7.6.2.1. CIRCUITO DE ALIMENTACIÓN.

Para la contención y asegurar el buen contacto de las baterías con las terminales que transportan la energía al circuito electrónico. Se decide utilizar el Porta-Baterías destinado a las baterías seleccionada (CR 2032), de los cuales se realiza su posterior acople a una tarjeta encargada de dar soporte de estas al equipo y realizar las conexiones necesarias.

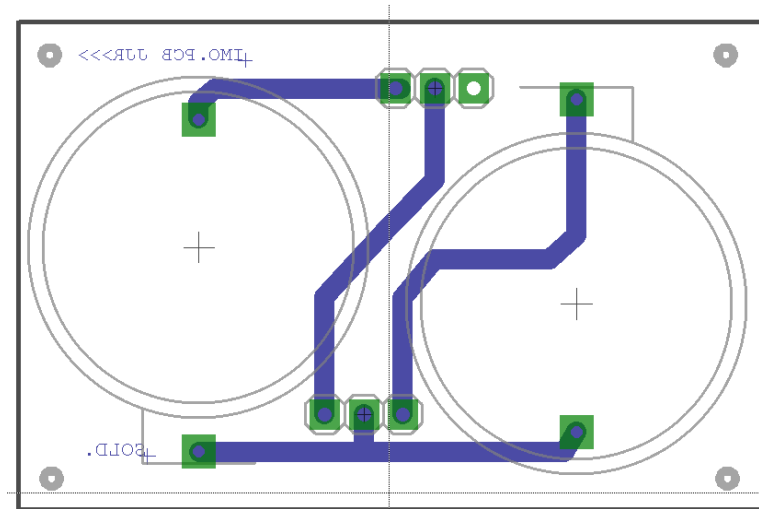


Ilustración 14. PCB circuito de alimentación

#### 7.6.2.2. CIRCUITO FILTRADO Y AMPLIFICADOR.

Se decide para el desarrollo del PCB, realizar este en una placa de doble capa, debido a la el requisito de portabilidad definido anterior mente, dando esta la opción de disminución de espacio ocupado por esta gracias al mejor aprovechamiento de la superficie. Esta cuenta con tres orificios de 3.2 mm para su fijación al elemento de sujeción estructural por medio de tornillos M3, también se ubica el Jack de salida de audio en el medio de esta con el fin de dar el efecto de simetría a la hora de tomar el examen, puesto que la ubicación de este depende del oído a examinar.



Debido a que la impedancia de las pistas depende de la inductancia generada a frecuencias superiores a 1 KHz y que además esta impedancia se debe reducir a valores mínimos, se hace necesario incorporar al diseño del circuito impreso un plano de masa. Este también reduce las tensiones parásitas del circuito. Además cuando hay un gran número de caminos en paralelo también se hace necesario usarlo.

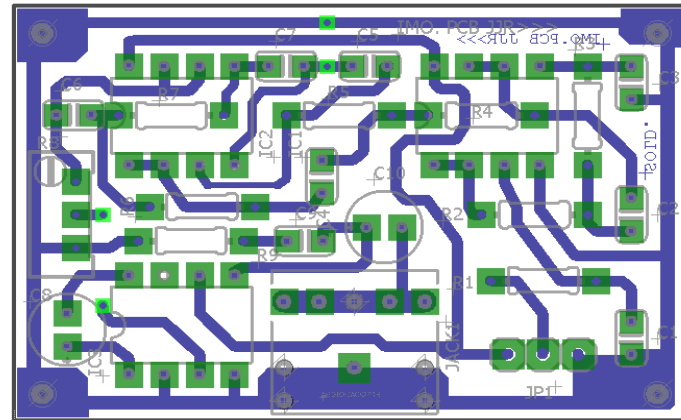


Ilustración 15. PCB Circuito filtrado y Amplificador

### 7.6.3. DESARROLLO DE ELEMENTO DE SUJECIÓN ESTRUCTURAL.

Para este se han destinado tres compartimientos con la finalidad de asegurar las tarjetas de: adquisición esta se encuentra en la zona más proximal al oído, debido a que a esta se encuentra sujeto el sensor tipo MEMS, esta se encuentra seguida por el circuito de alimentación cuya ubicación está dispuesta con la finalidad de evitar en su mayoría cables de conexión excesivamente extensos, y debido a la diferencia de voltajes presentes en los circuitos, se optó por dejar esta en la parte media del dispositivo, no siendo esta la única razón de la ubicación de una estructura sólida en el medio del elemento de sujeción estructural brindando mayor apoyo con respecto a la cabeza del paciente y evitando movimientos indeseados, además de dividir la fuerza ejercida al deformar el elemento de sujeción estructural y por ultimo encontramos paralela a la tarjeta de adquisición el circuito de filtrado y amplificación, del cual se puede observar la salida de audio.

Con la finalidad de realizar un desplazamiento fácil y preciso del elemento de transmisión acústica, además de la ventaja adjunta de disminuir peso y tiempo de impresión. Se dispone de un canal, por el cual es posible deslizar el conjunto de sensor y elemento de transmisión acústica.



**Ilustración 16. Modelo del Acufenometro objetivo final**

## **7.7. EVALUACIÓN DE PROTOTIPO**

Por medio de la implementación de un prototipo de prueba de los circuitos de adquisición, filtrado y amplificación. Y con la ayuda del software generador de tonos Test Tone Generator V 4.0, se procederá a determinar la respuesta real del sistema, frente a sonidos simulados con intensidades de baja amplitud.

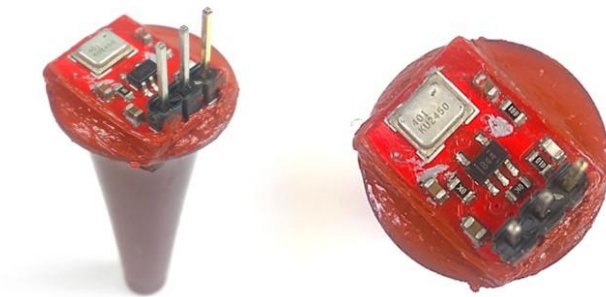
### **7.7.1. VALIDACIÓN EXPERIMENTAL**

#### **7.7.1.1. SISTEMA DE ADQUISICIÓN**



**Ilustración 17. Tarjeta INMP401 desarrollada por Sparkfun ®**

Por medio de la implementación de la tarjeta de adquisición de señales acústicas INMP401 de Sparkfun®, la cual consta de un micrófono MEMS ADMP401 de la compañía Analog Device®, con una sensibilidad de -42dB, un consumo de corriente menor a 250uA, una salida analógica, una respuesta en frecuencia en el rango comprendido entre 100Hz y 15KHz y una SNR de -62 dBA. Además de contar un una etapa de pre amplificación y acondicionamiento de las señales acústicas captadas por el micrófono. La ilustración 15 muestra la tarjeta implementada en el diseño propuesto del instrumento.



**Ilustración 16. Sistema Experimental De Adquisición**

Con la finalidad de obtener un acercamiento mayor al oído medio del paciente, y una buena transmisión acústica se utiliza un cono de otoscopio aprovechando su forma cónica, la cual hace que la propagación del sonido sea más efectiva. Para crear un ambiente sin filtraciones acústicas se sella la tarjeta de adquisición al cono por medio de silicona para formar empaques. Para brindar mayor ajuste con respecto al canal auditivo y comodidad al paciente se instala un accesorio de silicona en el extremo de recepción de señales acústicas, como se muestra en la ilustración

#### **7.7.1.2. SISTEMA DE SIMULACIÓN DE CAE**

Utilizando un cilindro el bronce latón que simula el CAE. Este cuenta con unas dimensiones de: espesor de la pared 1.8mm, diámetro interno 8.8mm, diámetro externo 12.45mm y una longitud de 5.4mm, por el cual se introducirá: el elemento de transición acústica en este caso un cono de otoscopio y paralelo a este el audífono generador de tonos. Como se evidencia en la ilustración 16 parte C.

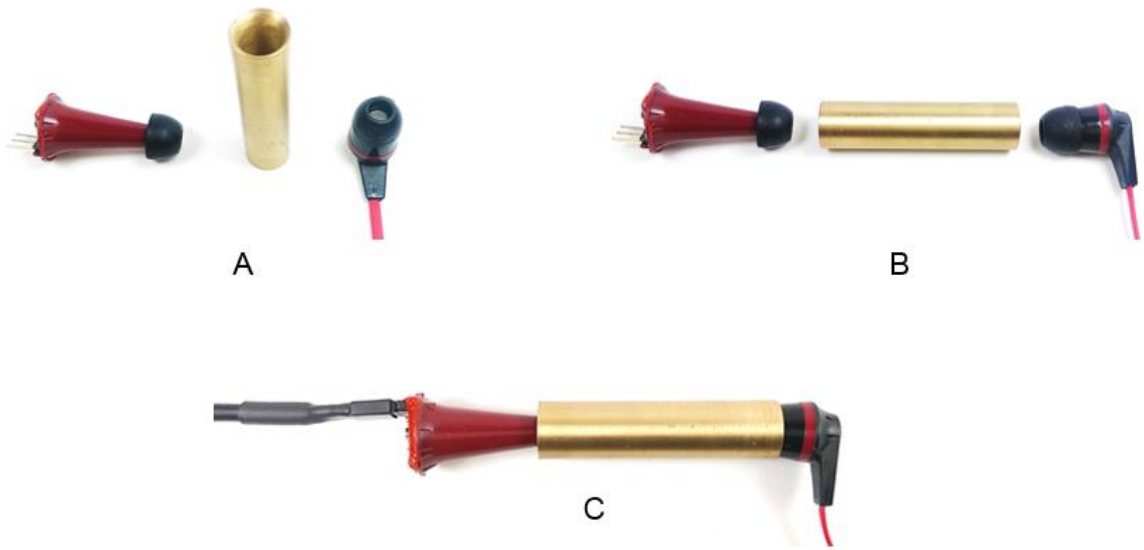


Ilustración 18. Simulador de CAE

### 7.7.1.3. SISTEMA DE FILTRADO Y AMPLIFICACIÓN

Debido a la carencia de certeza en la eficiencia real del dispositivo en la captura de las señales acústicas de los pacientes, los sistemas de los prototipos se implementan en un protoboard. Es importante considerar que este hecho no afectara considerablemente el estudio y que por el contrario nos permito aplicar criterios de mejora continua en la construcción de un óptimo sistema instrumento para la captura y almacenamiento de señales acústicas provenientes del sistema auditivo externo y medio.

#### 7.7.1.3.1. PROTOTIPO EXPERIMENTAL N°1

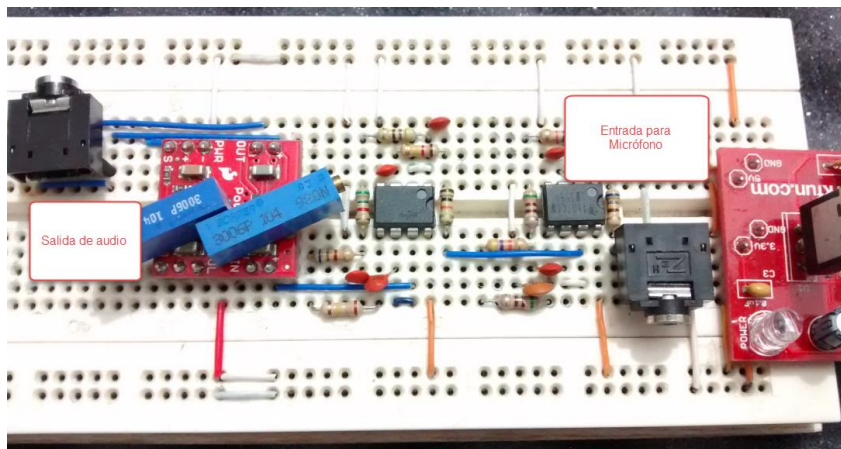
El sistema propuesto se alimenta con 3.3 y 5.0 Voltios. La conexión de la fuente es de tipo USB B-2. La Ilustración 17 muestra la fuente de alimentación implementada.



Ilustración 19. Fuente de alimentación Modelo Experimental

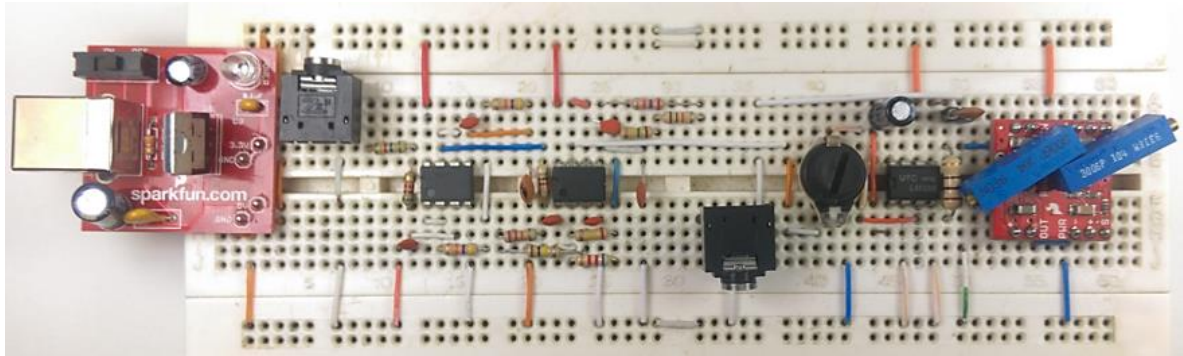
En el circuito propuesto a continuación (ilustración 18) y en el cual se realizaron las primeras pruebas de respuesta, se efectuó inicialmente por medio de un parlante de  $8\Omega$  y auriculares (con la finalidad de evidenciar una salida de audio con amplitud considerable y evaluar si el sistema presentaba perturbaciones o ruidos), cuenta con: Fuente de alimentación, tarjeta de desarrollo INMP401, filtro séptimo orden tipo Butterworth y amplificador TPA2005D, el cual es un amplificador de audio clase D de bajo consumo con una potencia de salida hasta de  $\frac{1}{4}$  W.

En el momento en que el sistema estuvo aceptado, se procedió a realizar la transmisión de la información a la tarjeta de audio del computador, por medio de un cable de audio de 3.5 mm. encontrando la primera falla de diseño en la transmisión de información al ordenador, ya que los amplificadores de este tipo se rigen por la ley del todo o nada, esto quiere decir que se encuentran totalmente encendidos o totalmente apagados siendo incapaces de dar señales en un punto medio, lo que imposibilita tomar su salida como una señal analógica, además de contar con un generador de PWM a una frecuencia de 250KHz, la cual es integrada a la señal pre amplificada de audio, lo que dificulta su adquisición al computador por medio de la tarjeta de audio de este, ya que esta integración de señales aumenta la frecuencia de la señal por encima de los 20KHz ósea fuera del rango de las señales de audio codificables.



**Ilustración 20. Prototipo Experimental N°1.**

#### **7.7.1.3.2. PROTOTIPO EXPERIMENTAL N°2.**



**Ilustración 21. Prototipo Experimental N°2.**

Luego de evidenciar las fallas presentes en el Prototipo Experimental N°1, se sustituyó el amplificador TPA2005D (amplificador clase D), por un amplificador de potencia y baja tensión (LM386), el cual permite variar su ganancia entre 20 y 200 veces las señales de entrada dadas por el las vibraciones presentes en el oído medio, y sensadas por el micrófono MEMS,

Con el fin de obtener una señal de salida variable controlada; Por medio de un potenciómetro de 1M se regula la entrada al amplificador, con el fin de controlar el volumen de salida, asimismo se logró controlar el volumen de transmisión a la computadora, para su respectiva adquisición de audio. De esta manera se pudo obtener con mayor eficacia las señales transmitidas desde nuestra fuente sonora principal y la adquisición de estas mediante computadora.

#### **7.7.1.4. RESPUESTAS DE FRECUENCIA PROTOTIPO EXPERIMENTAL N°2.**

Grafica de las respuestas de frecuencia del circuito a la misma amplitud y diferentes frecuencias

### **7.8. PRODUCTO FINALIZADO**

#### **7.8.1. ELEMENTO DE TRANSMISIÓN ACÚSTICA**



**Ilustración 22. Elemento de Transmisión Acústica Finalizado.**



### 7.8.2. CIRCUITO DE ALIMENTACIÓN.

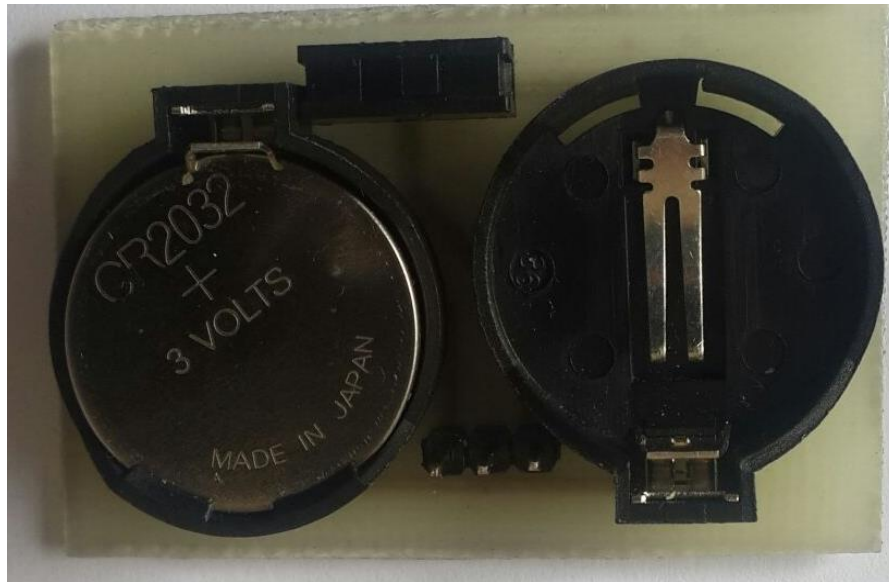


Ilustración 23. Circuito de Alimentación finalizado

### 7.8.3. CIRCUITO DE FILTRADO Y AMPLIFICACIÓN.

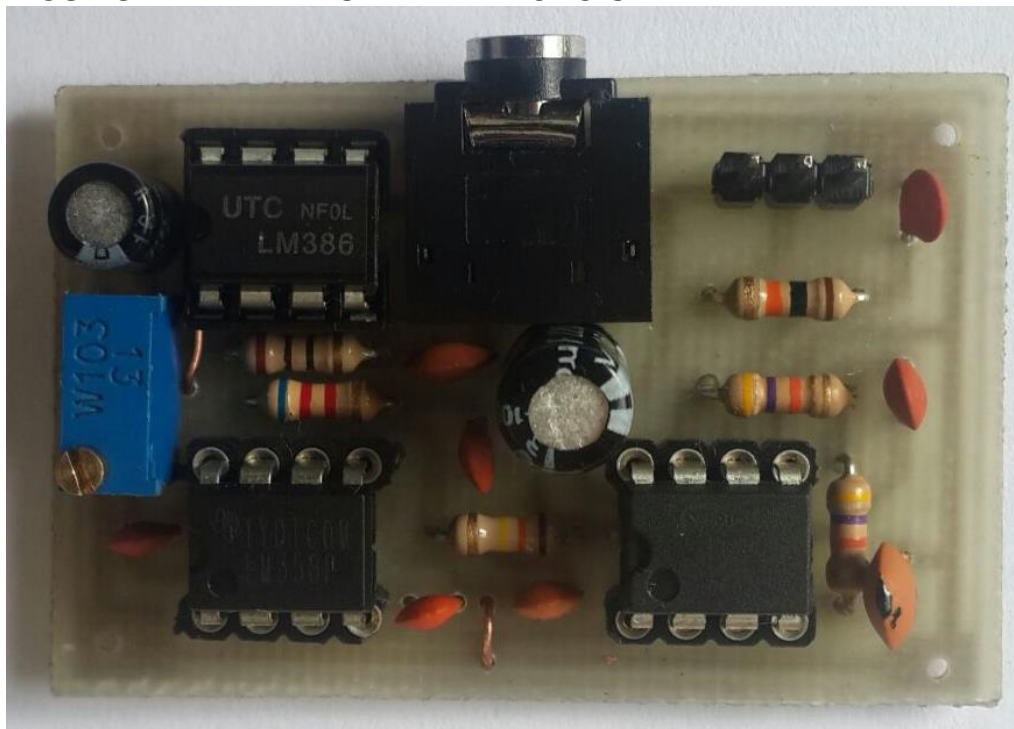


Ilustración 24. Circuito de Filtrado y Amplificado

#### **7.8.4. ELEMENTO DE SUJECIÓN ESTRUCTURAL.**



#### **7.9. PLANTEAMIENTO DEL PROTOCOLO Y ENCUESTA**

Para la toma de muestras, en los pacientes del hospital militar central, se plantea un protocolo de adquisición de datos, con la finalidad de garantizar la mayor respetabilidad del experimento en todos los casos o pacientes. Figura N°1.



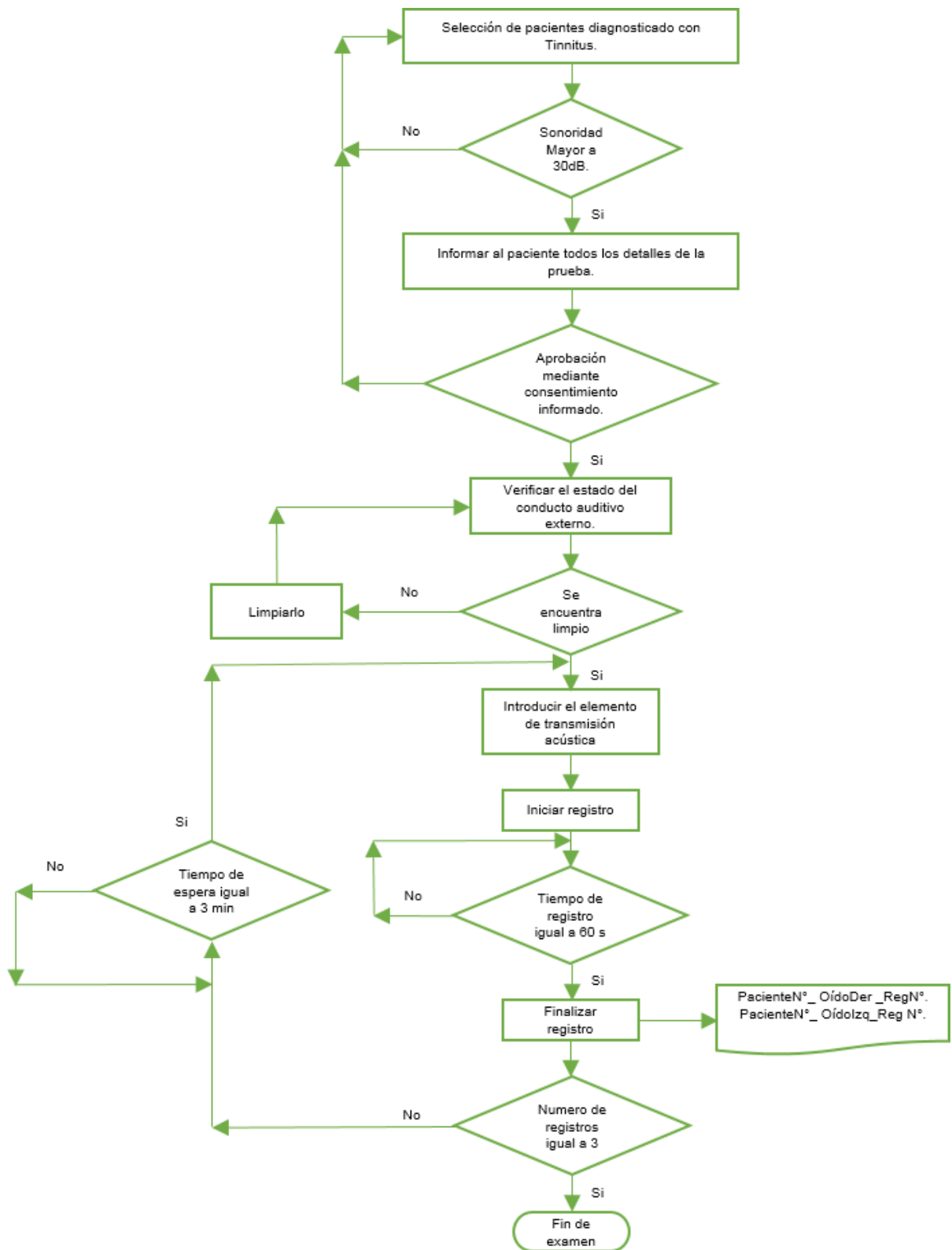


Figura 3. Diagrama de flujo Protocolo

## 7.10. PLAN DE RECOLECCIÓN DE LOS DATOS.

La técnica empleada para la recolección de los datos es lectura de variables físicas, y la herramienta de medición, es el cuestionario de recolección de información.

### 7.10.1. DEFINICIÓN DE LAS VARIABLES

Variable	Definición Operativa	Operatividad	Tipo de variable
Edad	Tiempo cronológico medido en años de una persona	Edad en años	Discreta
Sexo	Condición orgánica que distingue a los machos de las hembras	Femenino o Masculino	Discreta
Lateralidad	Relativo a la extremidad dominante	Diestro, Zurdo o Ambidiestro	Discreta
Historial Familiar	información médica acerca de un individuo y su familia biológica	No o Si (Padres, Hermano y, o Hijos)	Discreta
Comienzo	Cuando experimento por primera vez la sensación de acufenos	Tiempo en Años	Cualitativa ordinal
Como comenzó	Descripción de los primeros síntomas del acufeno	Gradual o abrupto	Discreta
Comienzo relacionado con	A qué factores se asocia el inicio de su acufeno	Sonido intenso, síndrome de latigazo cervical, problemas en audición, estrés, trauma craneano u otro.	cualitativa nominal
Pulsátil	fenómeno caracterizado por manifestar latidos o pulsaciones rítmicas	Si, con los latidos del corazón; Si, pero no con los latidos del corazón; No	Discreta
Lateralidad del acufeno	Relativo al oído donde se percibe el acufeno	Oído derecho; oído izquierdo; ambos oídos, peor en el derecho; ambos oídos, peor en el izquierdo; igual en ambos oídos; dentro de la cabeza; en otro lugar.	Discreta
Manifestación	Como se manifiesta el	Intermitente; Constante.	Discreta

	acufeno en el tiempo		
Intensidad Día a Día	Grado de fuerza o de energía con que se manifiesta el acufeno de un día a otro	Variable; Continuo.	Discreta
Intensidad Comparable	Referente a sonidos cotidianos el acufeno a cual se asemeja en intensidad.	Voz susurrada, telefónica, hablada, ruido de calle, Avión, Trueno.	Discreta
Como suena el acufeno	Referente a sonidos cotidianos el acufeno a cual se asemeja	Tono, ruido, grillos u otro.	cualitativa nominal
Descripción del tono	En que rango de frecuencia se encuentra el acufeno.	Muy grave; grave; medio; agudo; muy agudo.	Discreta
Intensidad del acufeno	En que rango de amplitud se encuentra el acufeno.	Muy suave, suave, medio suave, medio fuerte , fuerte y Muy fuerte	Discreta
Porcentaje de conciencia del acufeno	Porcentaje del tiempo despierto en el que es consciente del acufeno	1%-100%	cualitativa nominal
Casuales del acufeno mes	Alteraciones emocionales debido a la percepción del acufeno	Enojado, molesto, irritable, confundido, aislado, sin alteración	Discreta
Tratamiento no convencional	Tratamientos fuera de la medicina convencional	No, Si cual	cualitativa nominal
Factores Ambientales que disminuyen la intensidad	Factores ambientales que inciden en la disminución de tono, intensidad o factores relacionados al acufeno	Hora del día, música, ruido de ducha o cascada, movimiento de la cabeza o cuello, temperatura ambiental (Calor o frio), Hábitos u otro	cualitativa nominal
Factores ambientales que aumente la intensidad	Factores ambientales que inciden el aumento de tono, intensidad o factores relacionados al acufeno	Cerrar los ojos, posición, televisor o radio, trafico, no haber dormido bien, alimentación, no haber comido bien, actividad física u otro	cualitativa nominal
Tomar una siesta	Las siestas en el día tiene efectos positivos en el acufeno	Lo empeora, lo mejora, no tiene efecto.	Discreta

Relación sueño Acufeno	Relación entre el sueño nocturno y el acufeno	Si, No, No se	Discreta
Estrés	Que efecto tiene el estrés en el acufeno.	Lo empeora, lo mejora, no tiene efecto.	Discreta
Medicación	Alguna mediación que tenga efecto sobre el acufeno	Sí; No	cualitativa nominal
Audífonos	Utiliza audífonos para escuchar música y oros sonido y en que oído	Si, oído derecho; Si, oído izquierdo, No.	Discreta
Dificultad para tolerar sonidos	Encuentra dificultad en tolerar sonidos porque le parecen altos	Nunca, raramente, a veces, usualmente, siempre.	Discreta
Dolor por sonidos normales	Le produce dolor sonidos que otras personas les parecen normales	Nunca, raramente, a veces, usualmente, siempre.	Discreta
Padecimientos	Enfermedades o daños presentes en el momento del examen.	Jaquecas, vértigos o mareos, alteraciones temporo-mandibulares, dolor de nuca o cuello, algún tipo de dolor, tratamiento por problema psiquiátrico.	Discreta

Tabla 4. Definición de las Variables

## 7.11. TRATAMIENTO DE DATOS DE LAS MUESTRAS

A cada paciente que se le aplicó las pruebas del prototipo se le solicitó diligenciar el formulario de recolección de información. Las preguntas realizadas en dicho cuestionario fueron previamente estudiadas, analizadas y seleccionadas partiendo de la premisa de su relevancia en cuanto a datos puntuales que ayuden al diagnóstico objetivo del Tinnitus. Los especialistas del pabellón de ORL de HOMIC validaron dicha información.

La idea con el cuestionario es establecer un predictor del nivel de incidencia del Tinnitus en el detrimento de la calidad de vida de los pacientes que lo padecen. Vale la pena aclarar que no es una herramienta de diagnóstica, ni pretende proponer un nuevo test de incapacidad de Tinnitus como el desarrollado por el Dr. Newman y Jacobson en 1996. El Tinnitus Handicap Inventory (THI) es un cuestionario de 25 ítems, divididos en tres sub-escalas. La primera valora el componente funcional de la incapacidad a nivel mental (dificultad para concentrarse o leer), socio laboral y físico (interferencia en la audición). La sub-escala emocional mide las respuestas afectivas como la frustración, enojo, ansiedad y depresión. La última de ellas, la escala catastrófica, ofrece una idea del nivel de desesperación y de incapacidad para solucionar el problema que refiere el

paciente. El rango de resultados del test va de 0% (el acúfeno no interfiere en la vida del paciente) hasta 100% (incapacidad severa). Se ha establecido una clasificación en función de los valores obtenidos en el THI (tabla 1). El objetivo de este estudio es presentar una adaptación al español del THI y su validación como herramienta habitual en la evaluación del paciente con acúfeno.

El formulario de recolección de información consta de 28 preguntas, las cuales fueron aplicadas a 19 pacientes en el pabellón de ORL del HOMIC de la ciudad de Bogotá, Colombia.

### **7.11.1. EVALUACIÓN DE DATOS**

El 79% de los pacientes es de género masculino y el 21% de género Femenino. Además el 84% de los pacientes aseguro que no hay historial de acufenos en su familia, mientras que el 16% asevero que si existen antecedentes familiares. El 68% de los pacientes referidos en el pabellón de ORL no describen que su acufeno es pulsátil, mientras que el 32% lo describe pulsátil. De esta última cantidad el 80% asegura sentir la frecuencia pulsátil en la misma periodicidad de los latidos del corazón. Con respecto al lugar donde el paciente percibe el Tinnitus, el 58% asegura que lo escucha en ambos oídos, mientras que el 21% lo describe en el oído derecho al igual que el otro 21% que lo describe en el oído izquierdo.

Con respecto a la manifestación en el tiempo del Tinnitus el 79% afirma que es constante, mientras que el 21% restante lo narra intermitente. Para la intensidad psicoacústica del Tinnitus relatada por los pacientes el 74% alega percibir un Tinnitus medio fuerte en el rango de los 70 dB, un 21% lo siente fuerte, cercano a los 90 dB y un restante 4% lo siente muy fuerte con valores superiores a los 90 dB. Esto permite asegurar que la mayoría de los pacientes que padecen de Tinnitus se acostumbran a dichos sonido, como se acostumbran los que viven en las ciudades a los ruidos de buses, busetas y carros, o a los trabajadores de discotecas que se acostumbran o adaptan su sistema auditivo a tratar con sonidos inferiores a los 100 dB, que está en los límites de la escala de niveles de intensidad sonora que soporta el oído humano (siendo 140 dB el umbral de dolor). Con respecto a su tonalidad el 42% afirma que es grave, un 32% media, un 16% agudo y un 10 muy grave.

En relación al tiempo en que los pacientes narran que son conscientes de su Tinnitus, la situación es la siguiente: el 37% asevera que siempre lo sienten, un 27% manifiesta que casi siempre y un 37% afirma que rara vez lo sienten. Partiendo de estas premisas se les pregunto qué factores ambientales hacen que su acufeno disminuya en su intensidad, lo cual arrojó las siguientes estadísticas: un 42% afirma que la música disminuye la intensidad del Tinnitus, a los cuales con una simple terapia de reentrenamiento auditivo podemos suprimir la enfermedad; un 21% que el calor disminuyen su intensidad, un 11% con ruidos de ducha o cascada, un 11% al mover la cabeza o cuello, un 5% al manejar moto, debido a las vibraciones que resuenan con la cadena de huesecillos y podrían estar atenuando el Tinnitus o simplemente cancelando sus efecto, un 5% la mañana y por ultimo un 5% en la noche. Consecuentemente, se les pasó a preguntar qué factores ambientales hacen que su acufeno aumente de

intensidad, con lo cual obtuvimos los siguientes datos: un 37% aseguró que la TV o la Radio lo aumentan, un 16% que al cerrar los ojos, dando muestra de su conexión con las ondas alfa, las cuales aumentan considerablemente su actividad. Un 21% asegura que el tráfico aumenta la intensidad del Tinnitus, un 11% narra que al acostarse la intensidad del Tinnitus aumenta, y por último un 5% que el silencio, la temperatura y la alimentación aumentan su Tinnitus. Para terminar con el formulario, se les preguntó a los pacientes si tomar una siesta durante el día mejora el acúfeno o si el estrés modifica su acúfeno, lo cual proyectó las siguientes estadísticas: un 74% afirma que el tomar una siesta no tiene ningún efecto sobre su Tinnitus, mientras que un 21% afirma que lo mejor y un restante 5% que lo empeora. Sobre el efecto del estrés un 42% alega que no tienen ningún efecto y un 58% asevera que lo empeora

## **7.12. ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS**

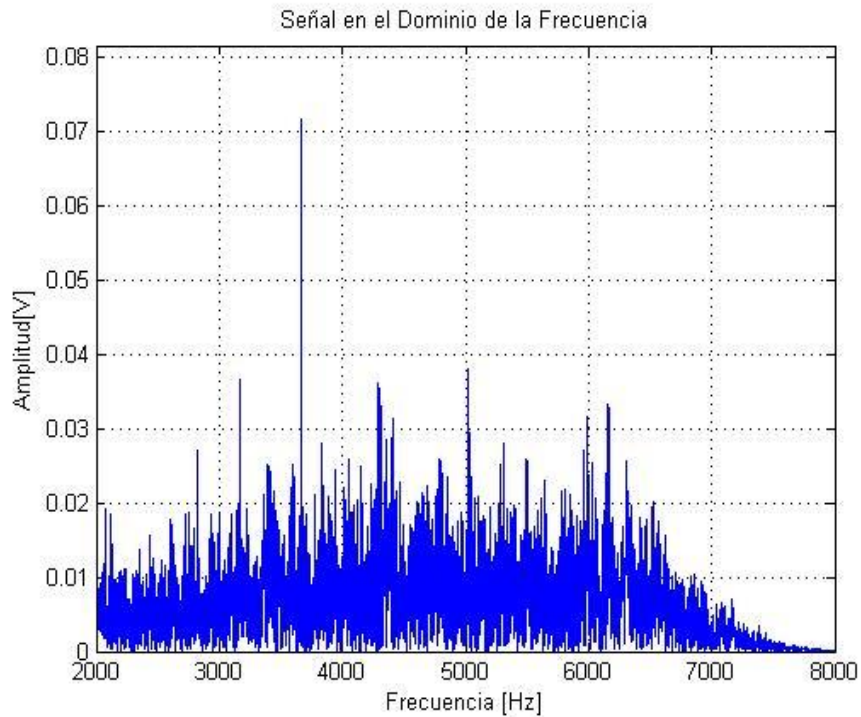
Con el fin de lograr los objetivos planteados al inicio de esta tesis, se aplicaron técnicas para el análisis e interpretación de las señales acústicas mediante MATLAB para una mejor comprensión de los resultados.

A continuación se presentan los resultados más relevantes durante nuestra fase de estudio, y la estimación en el dominio de la frecuencia del nivel de intensidad presentes en cada una de las acufenometrias objetivas obtenidas.

Finalmente se da por hecho y se demuestra que la teoría presente acerca de los acúfenos, y las frecuencias generadas a causa del tinnitus, se encuentran establecidas en un rango de frecuencias de 3khz y 10khz, caracterizándola como un tono agudo.

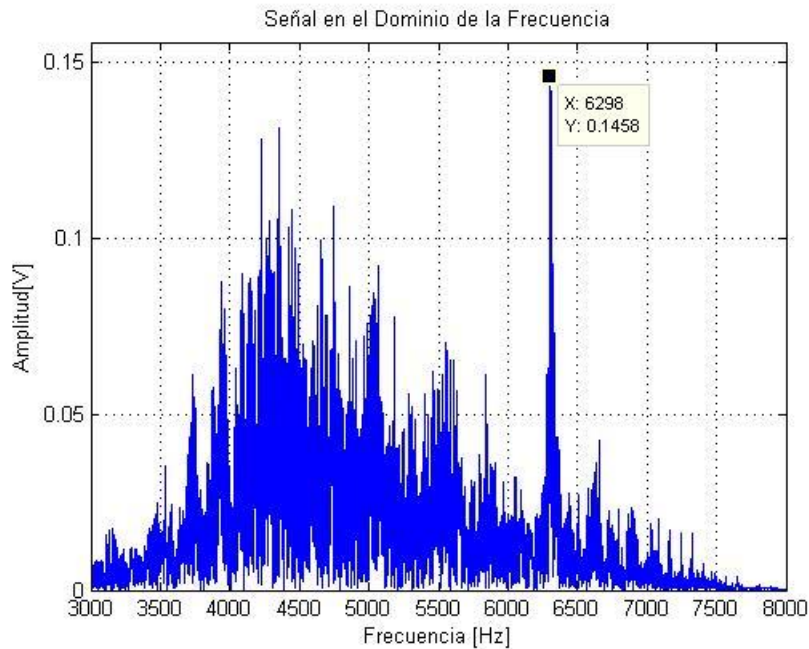
A continuación se presentaran los resultados obtenidos en nuestra fase de estudio de las señales tomadas en las capturas de audio de nuestros pacientes

La figura ilustra una de las pruebas captadas en nuestro paciente número 6, de sexo masculino, de 74 años, el cual manifiesta que experimenta tinnitus aproximadamente hace 33 años, a su vez describe la intensidad de su acúfeno comparable con un avión y en el cual presenta mayormente prevalencia de este sonido en su oído izquierdo, como lo ilustra la figura, el espectro de la señal indica que su frecuencia está entre 3.8khz corroborando el presente sonido en nuestro paciente número 6.



**Ilustración 25. Espectro de la señal de audio Paciente 6**

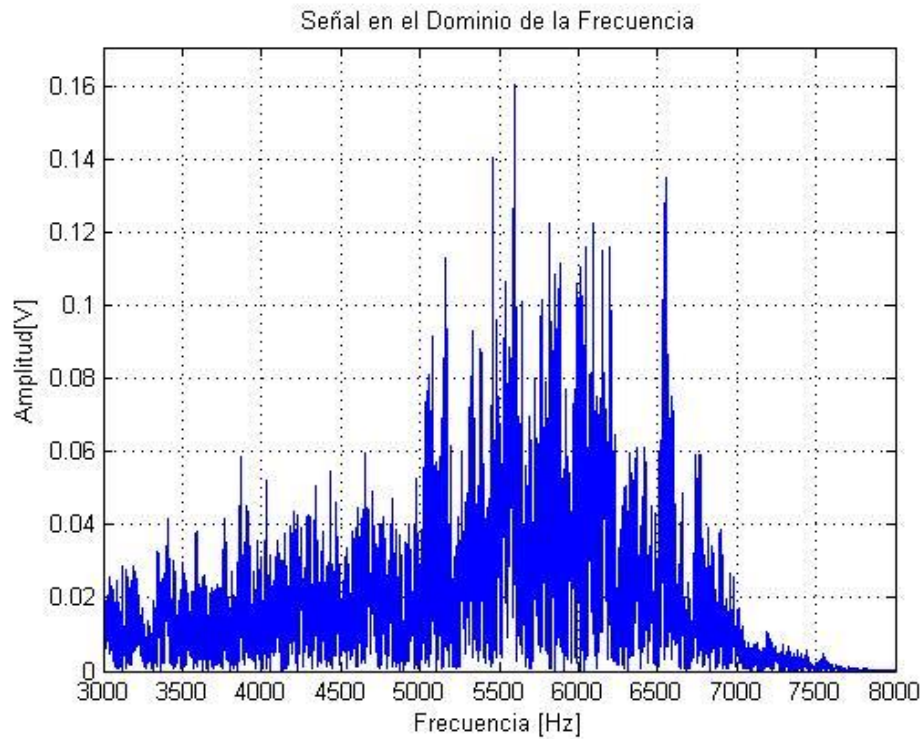
Otra señal relevante en nuestro caso de estudio, es aquella señal adquirida en nuestro paciente número 13, el cual posee 72 años, sexo masculino, experimenta acúfenos hace 50 años, la intensidad del sonido es constante en sus dos oídos, el paciente describe su acúfeno comparable con el sonido emitido en un grillo, aunque no presenta alteración en su estado emocional. De acuerdo a su explicación subjetiva y en base a nuestro acufenómetro, el espectro de la señal de audio obtenida en nuestro paciente número 13 en la figura \_- en la cual se puede ver la concentración de energía de la onda sonora con una frecuencia fundamental de 6kHz, dando por hecho la existencia de un sonido intenso presente en el paciente tal como él lo indica en el cuestionario inicial.



**Ilustración 26. Espectro de la señal de audio Paciente 13**

A continuación se ilustra una de las muestras representativas durante el estudio de las señales sonoras emitidas por los acufenos de nuestros pacientes , en el cual encontramos al paciente 14 , con 58 años de edad , sexo femenino , con un historial de acufenos en sus familiares, experimento por primera vez la sensación de acufenos hace 10 años , la intensidad de su acufeno se haya principalmente en el oído izquierdo , tal y como lo describe el paciente , se evidencia su caracterización de los sonidos escuchados por el paciente mediante el espectro de la señal de audio ,teniendo la principal característica de identificación de la intensidad sonora, presentada en el síntoma descrito por nuestro paciente, la figura \_ presenta la distribución de energía en un rango de frecuencias entre 5 K Hz a 6.8 KHz , frecuencias en las cuales se establece el tinnitus.





**Ilustración 27. Espectro de la señal de Audio en Paciente 14 OI**

Luego de ser expuestos estos resultados basándonos en la literatura médica , se establece un punto fundamental ,presentando resultados en base a los estudios previos en esta enfermedad , como característica representativa para el previo análisis , se puede destacar que la población mayor a 50 años es más propensa a presentar acufenos , se podría llegar a decir que en futuros casos de estudio deben de excluirse todo paciente con edades menores a 45 años, esto con el fin de tener datos más objetivos para el análisis de las muestras obtenidas en pacientes con acufenos previamente diagnosticados.

## **8. SUGERENCIAS**

Durante la fase de nuestro diseño estructural se identificó falencias en la falta de distintos tamaños en los conos de prueba de adquisición del examen, debido a que la estructura anatómica en la población no es similar , se presentaran errores en la toma de muestras de las señales, causando tanto atenuación en la señal vibratoria en los pacientes con tinnitus , como a su vez infiltración de señales de ruido , provocando una determinación errónea para el análisis de las señales de audio en cada uno de los pacientes .

Se sugiere el desarrollo de un algoritmo de procesamiento, análisis y descripción de la señal, con el fin de buscar posibles soluciones para la determinación objetiva de esta afección, dado que en el mundo no existe un instrumento que permita objetivizar la enfermedad.

## **9. TRABAJOS FUTUROS**

Como principal trabajo futuro y con el fin de culminar la totalidad de la investigación con un tratamiento efectivo orientado a la supresión de acúfenos mecánicos, es necesario aumentar la muestra poblacional de este estudio, para primeramente tener un rango de error menor en los estudios estocásticos de las muestras. Obtener mayor información acerca de las señales acústicas provenientes del oído medio para su posterior análisis.

Por medio de la caracterización de las señales acústicas obtenidas, se pretende la generación de una señal contra, la cual atenuara las frecuencias por el oído medio en la fase de generación de esta, permitiendo al paciente atenuar las señales. Por medio de esta supresión temporal de la señal (dispositivo médico propuesto a futuro), se pretende generar un reentrenamiento de audio con la finalidad de suprimir dichas frecuencias (frecuencias de los acúfenos) en los pacientes inhibiendo la percepción de estas de manera permanente.

## 10.COSTOS.

En tabla 5, se encuentran únicamente relacionados los costos de producción del equipo como prototipo, ya que para su producción industrial se requieren elementos y maquinaria, fuera del alcance del presupuesto de esta investigación, ya que este es presentado de manera experimenta y con la única finalidad de validar la adquisición de señales acústicas provenientes del oído medio.

<i>Ítem</i>	<i>Valor</i>
Componentes electrónicos	14.000
Fabricación de PCB	168.200
Tarjeta de desarrollo INMP401	30.204,90
Elemento de transmisión acústica	80.000
Simulador de CAE	43.000
Impresión de prototipo	1.840.000
Tornillos	4.000
Baterías	5.000
Machos de roscado	60.000
Cable audio 3.5 mm	9.000
Total	2'253,404.9

**Tabla 5. Costos totales de construcción del Prototipo**

## 11. CONCLUSIONES

La activación del tinnitus ha estado sujeto a varias teorías, ya que no existe un único mecanismo responsable de todos los tipos de acufenos, aunque la existencia de cada acufeno es percibida de manera distinta por cada individuo, nuestro instrumento de medición es capaz de percibir algunos de estos sonidos generados a causa del tinnitus, los cuales presentan una amplitud superior a -70 dB SPL. Como se ha logrado evidenciar mediante la toma de muestras en nuestra fase estudio con pacientes en el HOMIC.

La implementación de estas pruebas debe de ser realizada con un tamaño de muestra poblacional más grande, con el fin de generar una base de datos y analizar las características acústicas con todos los individuos que padecen de esta enfermedad.

Existe un tamaño de muestra poblacional en la cual los métodos terapéuticos no son eficaces, los cuales requieren de nuevas investigaciones para el análisis, tanto de su fisiopatología, como de su mecanismo de respuesta en las diferentes terapias, de este modo se presenta una nuevo instrumento de medición objetiva que podría llegar a ser un método para el análisis de estos fenómenos vibratorios los cuales prevalecen en la población con acufenos.

La identificación de una buena historia clínica permitirá una buena clasificación del acufeno a tratar y proporcionara un enfoque etiológico adecuado, vital para el posterior tratamiento

El ingeniero biomédico de la ECCI está en la capacidad de adquirir nuevo conocimiento e implementar nuevas tecnologías de punto en la solución de problemas en las diferentes áreas de la Biomédica.

## 12. REFERENCIAS

- [1] José G. Ledezma, Argnice Loreto, María M. Primera, Alejandra Riera, Yuderka Santana, Mariana Pérez, Amalia Mora. ACTA OTORRINOLARINGOLÓGICA: Sociedad Venezolana de Otorrinolaringología .INDIZADA EN LILACS · MIEMBRO DE ASEREME, ISSN 0798-166X - Depósito Legal N° pp. 89-0006, VOLUMEN 22 - N° 1 – 2010.
- [2] COLES, R. Epidemiology of tinnitus: Demographic and clinical features. Journal of Laryngology and Otology.(Suppl. 9). 1984, pp. 195 – 202.
- [3] DAVIS, A. C. Hearing in adults. London: Whurr Publishers. 1995.
- [4] HAZELL. J, VERNON. J. A. and MØLLER, A. R. Models of tinnitus: Generation, perception, clinical implications. In Mechanisms of tinnitus. pp. 57–72 Needham Heights, MA: Allyn& Bacon. 1995.
- [5] Muñiz L, C. Neurología clínica de Rangel Guerra . Editorial El Manual Moderno. Pp 436. 2015
- [6] HOUSE, J. W. *Panel of Tinnitus Control. Management of the Tinnitus Patient.*Ann.Otol. 90, 597- 601. 1981.
- [7] Hear-it.org. El tinnitus. 24 de agosto de 2014, disponible en:  
<http://www.hear-it.org>
- [8] MOLLER, Aage. Sensory Systems: Anatomy, Physiology and Pathophysiology. Gulf Professional Publishing. pp. 38-39. 2002.
- [9] DIAMANTE, Vicente. Otorrinolaringología y afecciones conexas. Editorial el ateneo. Tercera edición. pp. 2-13. 2004.
- [10] VERGARA. Ramiro. Tinnitología Acufenometría objetiva. Bogotá, Colombia. Primera edición. 2007.
- [11] Duvermey - MENENDEZ, Tomas: aportación al conocimiento de los acufenos. Tesis Doctoral.pp.65.1994.
- [12] HOUSE, J. W. *Panel of Tinnitus Control. Management of the Tinnitus Patient.*Ann.Otol. 90, 597- 601. 1981

- [13] GOODHILL, V. El oído - Enfermedades: vértigo y sordera. Salvat Editores. Barcelona 1985.
- [14] BERGMAN, M. and HELLER, M. Tinnitus in Persons with Notsnal Hearing. (Unpublished report)
- [15] MEIKLE, M. B., CREEDON, T. A., and GRIEST, S. E. Tinnitus archive 2d ed. Retrieved April 29, 2004, from <http://www.tinnitusarchive.org/>
- [16] FOWLER, P. Head Noises in Normal and Disordered Ears. Arch. Otolaryngol. Vol. 39. 1944
- [17] MEYERHOFF, W. L. and COOPER, J. C, Jr. Tinnitus. In: Otolaryngology. Edited by Papperella, M. and Shumrick, D. W. D. Saunders Company. Philadelphia, USA. 1980.
- [18] CIGES, M. y MORALES, U. (1978): "Etiopatogenia de los acúfenos". Anales O.R.L. Iber-Amer. Vol.1, 101. Citado por: MENENDEZ, Tomas: aportación al conocimiento de los acufenos. Tesis Doctoral.pp.65.1994.
- [19] ANTOLI-CANDELA, F.; OLAIZOLA, F. y AGUADO, A. (1957): "Acufenolerapia. Ensayo terapéutico".Revista Española de Oto-Neuro-Oftalmología y Neurocirugía. Año XIV. Tomo XVI, 283
- [20] BERLINER y CUNNINGHAM (1987): En Hazell (1987)
- [21] FOWLER, Edmond Prince (1965):."Subjective head noises (Tinnitus aurium). Genesis and Differential Diagnostic significance. A few facts and several speculations". Laryngoscope. Vol.75. N2 10, 1610
- [22] SEBEAR, J.P. (1990). "Analyse epidemiologique des resultats". Ann.Oto-Laryng. (Paris). Tome 107, Supplement 1, 73.
- [23] FRANÇOIS, Ricard. Tratado de osteopatía craneal, Articulación temporomandibular: Análisis y tratamiento ortodóntico. Ed. Médica Panamericana. Segunda edición. pp. 521-527. 2005.
- [24] MENENDEZ, Tomas: aportación al conocimiento de los acufenos. Tesis Doctoral.pp.107.1994
- [25] KLOTZ. PL. (1966):. "Une plaie majeure de l'otologie: les acouphenes". Gazzele des Hopitaux.138 (13>, 665.
- [26] SENECHAL, G. (1956):. "Examen dun malade atteint de bourdonnements doreille". R.N.F.1, 19.

- [27] TYLER, Richard. S. Tinnitus Handbook. Cengage Learning. Primera edición. pp. 149-203. 2000. ISBN 1-56593-922-0.
- [28] JASTREBOFF P.J. Tinnitus retraining therapy. Prog Brain Res. Vol. 166. pp. 415-23. 2007
- [29] Eggermont JJ and Tass PA (2015) Maladaptive neural synchrony in tinnitus: origin and restoration. Front. Neurol. 6:29. Doi: 10.3389/fneur.2015.00029
- [30] BURNS Edward. A comparison of variability among measurements of subjective tinnitus and objective stimuli. Audiology 23. pp. 426–440. 1984.
- [31] STOUFFER J.L. and TYLER R.S. Characterization of tinnitus-by-tinnitus patients. Speech Hear Disord. Vol. 55, no3, pp. 439-453. 1990.
- [32] Llinás, R. R., Ribary, U., Jeanmonod, D., Kronberg, E., & Mitra, P. P. (1999). Thalamocortical dysrhythmia: A neurological and neuropsychiatric syndrome characterized by magnetoencephalography. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 96(26), 15222–15227.
- [33] HENRY J. A. and MEIKLE M. B. Psychoacoustic measures of tinnitus. J Am AcadAudiol. Vol. 11. pp. 138-55. 2000
- [34] VERGARA, Ramiro. Instrumento Electrónico Computarizado Denominado Acufenómetro Espectral (AE). 28 de diciembre de 2007, disponible en: <http://www.wipo.int>
- [35] BAUER, Mathias. Diagnosis of Tinnitus from EEG Data. Clinical Data Review&Reporting. 24 de Marzo de 2006. Disponible en: [www.mineway.de](http://www.mineway.de)
- [36] Lewis, Jerad and Moss B. MEMS Microphones, the Future for Hearing Aids. Vol. 47. November 2013. From [www.analog.com](http://www.analog.com)



## **13. ANEXOS**

### **13.1. ANEXO I: FORMATOS.**

#### **13.1.1. CONSENTIMIENTO INFORMADO**

##### **CONSENTIMIENTO INFORMADO. INFORMACION PARA EL PACIENTE.**

Su médico le ha diagnosticado **Acufenos (Tinnitus)** una infección de los oídos causada varios problemas del oído. Pueden aparecer por una exposición a sonidos muy fuertes, infecciones del oído medio, tumores en el nervio auditivo o cera en los oídos, entre otras posibilidades. Una de las causas más frecuentes es la exposición a ruidos muy altos durante el trabajo (músicos, carpinteros, pilotos) o durante actividades recreativas (cacerías, tiro al plato, música muy alta). También es importante tener en cuenta que existen en el mercado cerca de 200 medicinas en cuya receta se especifica que pueden provocar zumbidos en los oídos.

Su **Doctor** le está invitando a participar en una investigación para poder conocer más de la enfermedad y además verificar la eficiencia del equipo médico diseñado en la captura de la enfermedad. Esta información nos ayudará a tomar mejores decisiones para controlar la enfermedad. Su participación es absolutamente voluntaria y no afectará su enfermedad y su atención médica.

##### **PROCEDIMIENTOS DEL ESTUDIO.**

Si usted acepta participar, antes de iniciar el estudio se debe corroborar la existencia de la afección (**Acufenos**). Luego de esto, deberá llenar el formato de historia de Acufenos entregado a usted por el médico. Usted será valorado por un médico para establecer la existencia de Acufenos y el estado de conducto auditivo externo. Luego se capturará por medio de un micrófono los sonidos provenientes de sus oídos afectados y no afectados. Estos se almacenarán en un PC portátil donde posteriormente se realizarán los estudios pertinentes que permitan caracterizar las señales captadas.

##### **BENEFICIOS.**

Si usted acepta participar no recibirá un beneficio directo de los resultados de este estudio. La información obtenida en este estudio podría ayudarnos en el futuro a mejorar el control y la prevención de su enfermedad para usted y otros pacientes.

##### **RIESGOS.**

La captura de los sonidos no ejercerá ningún riesgo sobre el paciente. Los procedimientos empleados no utilizan materiales corto punzantes, ni tóxicos, tampoco utilizamos fármacos que puedan afectar la integridad física y psicológica de los participantes en la investigación.

##### **RESPONSABILIDADES DEL PACIENTE.**

Usted debe permitir la realización de las pruebas, incluyendo la captura de los sonidos de los oídos afectados y no afectados. Es importante que cumpla también con las

recomendaciones hechas por su médico. Usted ayudará mucho si le dice a su médico cualquier molestia que presente durante los procedimientos.

### **ALTERNATIVAS.**

No existe un método alternativo que permita obtener la información que estamos solicitando. Si usted escoge no participar en el estudio, no se afectará en nada su enfermedad.

### **CONFIDENCIALIDAD.**

Sólo su doctor y sus colaboradores sabrán que usted está participando en el estudio. Los registros que se hagan se harán identificándolo sólo con un código y no con el nombre. Si los resultados de este estudio son publicados, usted no será identificado por el nombre.

### **COMPENSACIÓN.**

Los implementos utilizados para el estudio están cubiertos en los costos de la investigación. Usted no tendrá que incurrir en ningún gasto por participar en este estudio. Si como consecuencia directa de los procedimientos de este estudio sufre enfermedades o daños físicos, se le proveerá el cuidado profesional médico que requiera sin ningún costo para usted.

### **PERSONAS A CONTACTAR.**

#### **Contacto 1:**

**NOMBRE: ING. WILSON ANGULO**

**TELEFONOS: (57) 1 – 3537171 ext: 185 – (313) 2084288**

**E-MAIL: [w\\_isaza@hotmail.com](mailto:w_isaza@hotmail.com)**

#### **Contacto 2:**

**NOMBRE: Dr. JORGE LUIS VERA**

**TELEFONOS: 3157939890**

**E-MAIL: [jorgeluisveral@gmail.com](mailto:jorgeluisveral@gmail.com)**

Si tiene cualquier pregunta acerca de este estudio o acerca de lo que debe hacer en caso de que sienta alguna molestia durante el estudio, puede comunicarse con el Dr. JORGE LUIS VERA al teléfono 3157939890

Si tiene dudas con respecto a los derechos y deberes que tiene por su participación en este estudio, puede comunicarse con el Dr. Jorge Luis Vera, Miembro del Comité de Investigación del HOMIC al teléfono 315 793 98 90

Su médico, responsable de esta investigación, estará disponible para responder cualquier pregunta adicional.

Nombre del Médico \_\_\_\_\_

Dirección del médico \_\_\_\_\_

Teléfono del médico \_\_\_\_\_

**TERMINACIÓN DEL ESTUDIO.**

Usted entiende que su participación en el estudio es VOLUNTARIA. En cualquier momento usted puede retirar su consentimiento a participar en el estudio, sin que su tratamiento médico posterior se vea afectado. Su médico también podrá detener el estudio por razones médicas u otras razones.

**AUTORIZACIÓN PARA USO DE LAS MUESTRAS Y DATOS OBTENIDOS EN ESTE ESTUDIO.**

Se le solicita la autorización al participante para que las muestras y datos obtenidos en este estudio, puedan ser utilizados en otros estudios e investigaciones, previa aprobación del Comité de ética médica y el departamento de ORL del HOMIC y el Comité de investigaciones del Hospital Militar Central, en acuerdo firmado por parte del Hospital Militar Central, quien se reserva la custodia de los datos clínicos e identidad de los pacientes.

**ACEPTACIÓN.**

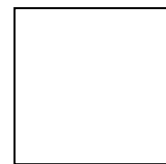
**“Su firma (o huella digital) indica que usted ha decidido participar voluntariamente en este estudio habiendo leído (o escuchado) la información anterior.”**

Nombre del Paciente \_\_\_\_\_

Firma del paciente \_\_\_\_\_

C.C. \_\_\_\_\_

Ciudad y fecha \_\_\_\_\_



Índice Derecho

Representante Legal (sólo para menores de edad, o discapacitados mentales)

Nombre \_\_\_\_\_

Firma \_\_\_\_\_

C.C. \_\_\_\_\_

Ciudad y fecha \_\_\_\_\_



Índice Derecho

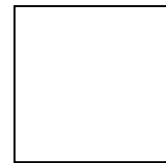
Testigo 1.

Nombre \_\_\_\_\_

Firma \_\_\_\_\_

C.C. \_\_\_\_\_

Ciudad y fecha \_\_\_\_\_



Índice Derecho

Testigo 2.

Nombre \_\_\_\_\_

Firma \_\_\_\_\_

C.C. \_\_\_\_\_

Ciudad y fecha \_\_\_\_\_



Índice Derecho

### 13.1.2. FORMULARIO RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN.

<b>Apellido y Nombre:</b>	<b>Fecha:</b>
<b>Fecha de nacimiento:</b>	

<b>1. Edad:</b>
<b>2. Sexo</b> <input type="checkbox"/> F <input type="checkbox"/> M
<b>3.</b> <input type="checkbox"/> diestro <input type="checkbox"/> zurdo <input type="checkbox"/> ambidiestro
<b>4. Historia familiar de Acúfenos</b> <input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO si contesto SI: <input type="checkbox"/> padres <input type="checkbox"/> hermanos <input type="checkbox"/> hijos

<b>5. Comienzo: Cuándo experimentó por primera vez la sensación de Acúfenos?</b> _____ _____ _____ _____
--

<b>6. Cómo fue el comienzo?</b> <input type="checkbox"/> gradual <input type="checkbox"/> abrupto
<b>7. El comienzo estuvo relacionado con:</b> <input type="checkbox"/> sonido intenso <input type="checkbox"/> síndrome del latigazo cervical <input type="checkbox"/> problemas en audición <input type="checkbox"/> estrés <input type="checkbox"/> trauma craneano <input type="checkbox"/> otros
<b>8. Su acúfeno es pulsátil?</b> <input type="checkbox"/> SI, con los latido del corazón <input type="checkbox"/> SI, pero no con los latidos del corazón <input type="checkbox"/> NO

<b>9. Dónde percibe el acúfeno?</b> <input type="checkbox"/> oído derecho <input type="checkbox"/> oído izquierdo <input type="checkbox"/> ambos oídos, peor en el derecho <input type="checkbox"/> ambos oídos, peor en el izquierdo <input type="checkbox"/> igual en ambos oídos <input type="checkbox"/> dentro de la cabeza <input type="checkbox"/> en otro lugar
<b>10. Cómo se manifiesta el acúfeno en el tiempo?</b> <input type="checkbox"/> intermitente <input type="checkbox"/> constante

**11. La intensidad de su acúfeno varía de un día para otro?**

Variable  Continua

**12. La intensidad del acufeno es comparable con:**

Voz susurrada.

Voz telefónica.

Voz hablada.

Ruido de calle.

Avión.

Trueno.

**13. Describa en sus propias palabras como suena su acúfeno. Algunos ejemplos, puede utilizar otras palabras si lo requiere, silbido, repique, timbre, pulsante, click, zumbido, chasquido, máquina de escribir, susurro, detonación, rugido, torrente, etc.**

tono  ruido  grillos  otro \_\_\_\_\_

**14. Describa el tono de su acúfeno.**

muy grave  grave  medio  agudo  muy agudo

**15. Describa la intensidad de su acúfeno.**

muy suave (< 40 dB)  suave (50 dB)  medio suave (60 dB)

medio fuerte (70 dB)  fuerte (80 dB)  Muy fuerte (>90 dB)

**16. En el último mes, que porcentaje de su tiempo despierto fue consciente del acúfeno? Por ejemplo 100%, todo el tiempo; 25% un cuarto de su tiempo.**

\_\_\_\_\_ (escriba un número entre 1 a 100%)

**17. Durante el último mes, a causa del acúfeno usted se ha manifestado más**

frecuentemente:  Enojado  Molesto  Irritable

Confundido  Aislado  Sin alteración de su estado de ánimo.

**18. Ha tenido algún tipo de tratamiento no convencional, homeopático, alternativo o de tradición popular en referencia su problema auditivo? Cuál?**

**19. Que factores ambientales hacen que su acufeno disminuya en su intensidad?**

Hora del día (¿mañana, mediodía, tarde, noche, madrugada?) \_\_\_\_\_

Música.

Ruido de ducha o cascada.

Movimiento de la cabeza o cuello.

Temperatura ambiental: ¿Calor o frío? \_\_\_\_\_

Hábitos: ¿Cigarrillo, licor, otro? \_\_\_\_\_

Otro: ¿Cuál? \_\_\_\_\_

**20. Que factores ambientales hacen que su acúfeno aumente de intensidad?**

Cerrar los ojos.

Posición: ¿Acostado, sentado, de pie? \_\_\_\_\_

Televisor o radio.

Tráfico.

No haber dormido bien.

Alimentación: ¿Antes, durante o después de comer? \_\_\_\_\_

No haber comido bien.

Actividad física: ¿subir escaleras, ejercicio, cargar algo pesado, trabajo, otra?  
\_\_\_\_\_

Otro: ¿Cuál? \_\_\_\_\_

**21. Tomar una siesta durante el día mejora el acúfeno?**

lo empeora  lo mejora  no tiene efecto

**22. Hay alguna relación entre cómo duerme de noche y su acúfeno?**

SI  NO  NO SE

**23. El estrés modifica su acúfeno?**

lo empeora  lo mejora  no tiene efecto

**24. Alguna medicación tiene efecto para su acúfeno?**

Medicamento	Detalle el efecto

**25. ¿Utiliza audífonos para escuchar música y otro sonido y en qué oído?**

Si, oído derecho  Si, oído izquierdo  No

**26. Encuentra dificultad en tolerar sonidos porque le parecen muy altos?**

nunca  raramente  a veces  usualmente  siempre

**27. Le producen dolor sonidos que para otras personas son normales?**

nunca  raramente  a veces  usualmente  siempre

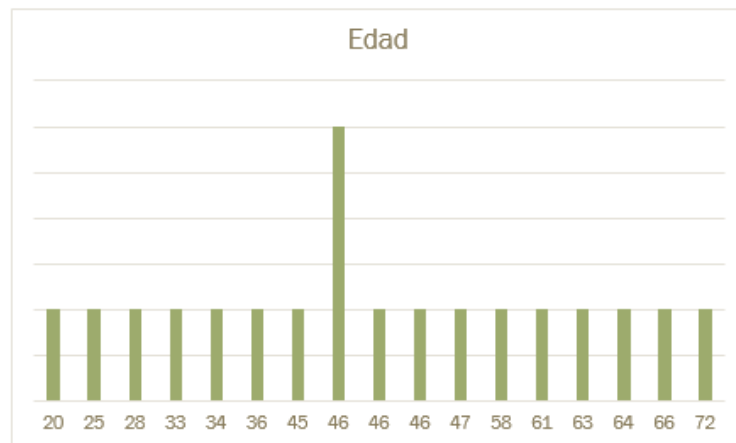
**28. Señale la respuesta que aplique:**

Sufre de jaquecas?

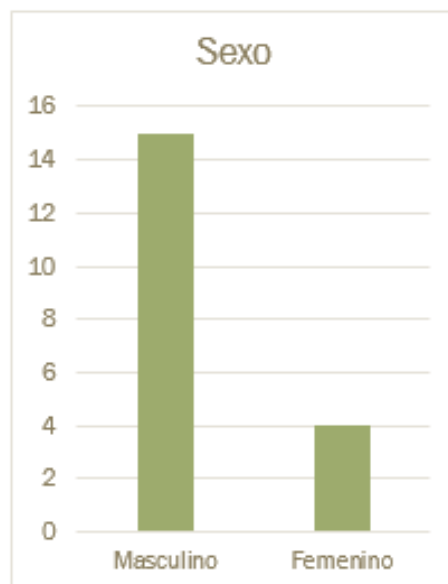
- Sufre de vértigo o mareos?**
- Sufre de alteraciones temporo-mandibulares?**
- Sufre de dolores de nuca o cuello?**
- Sufre de algún otro tipo de dolor?**
- Está usted en tratamiento por algún problema psiquiátrico?**

## 13.2. GRAFICAS ENCUESTAS

### 13.2.1. PREGUNTA N°1



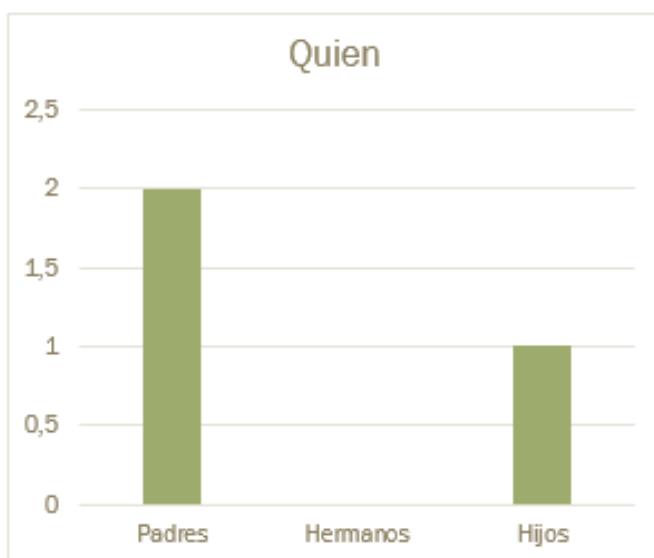
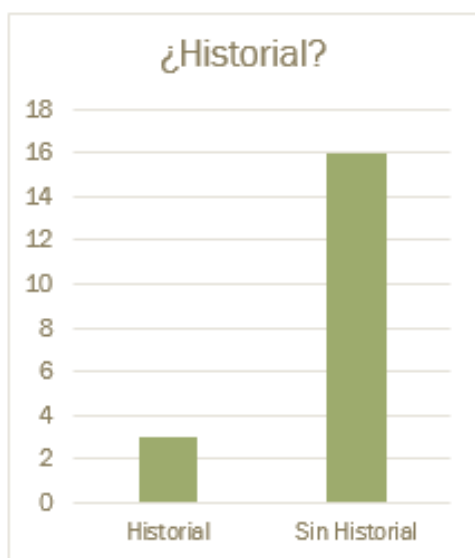
### 13.2.2. PREGUNTA N°2



### 13.2.3. PREGUNTA N°3

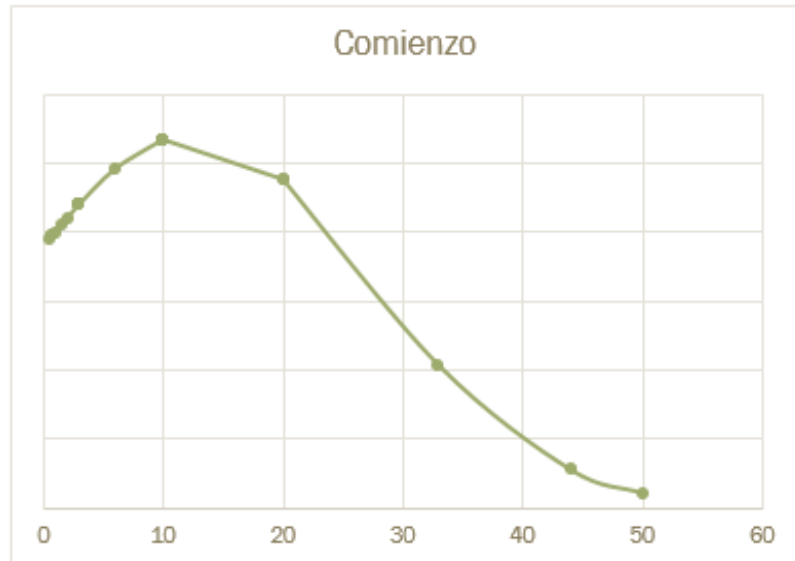


### 13.2.4. PREGUNTA N°4

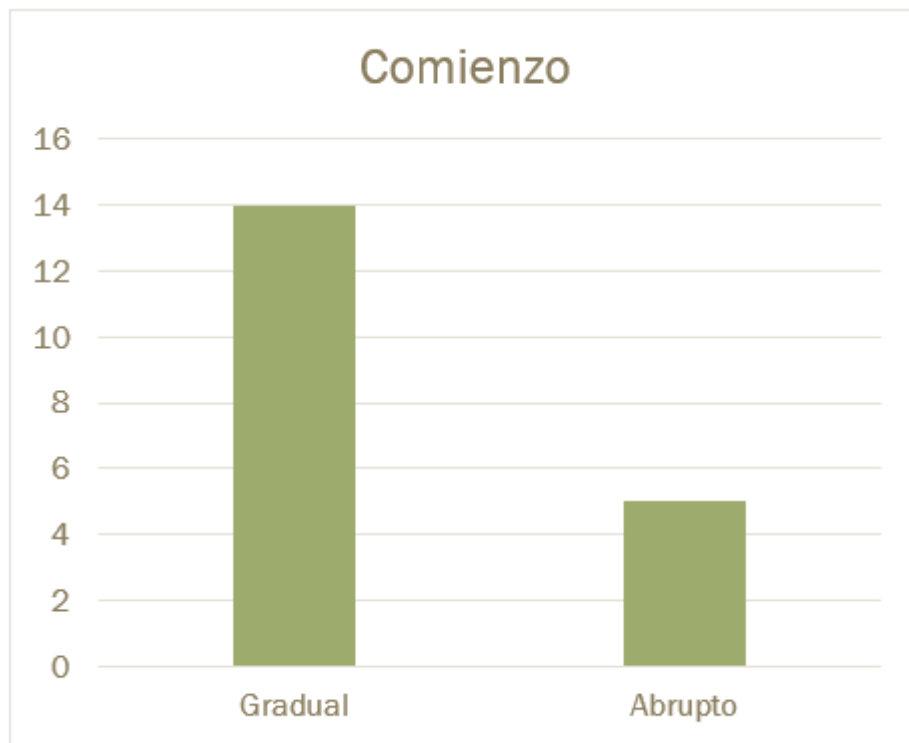




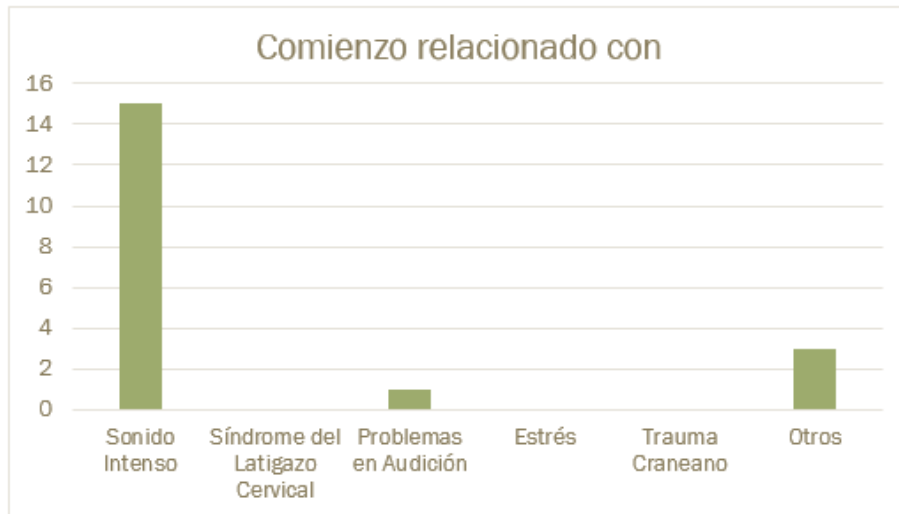
### 13.2.5. PREGUNTA N°5



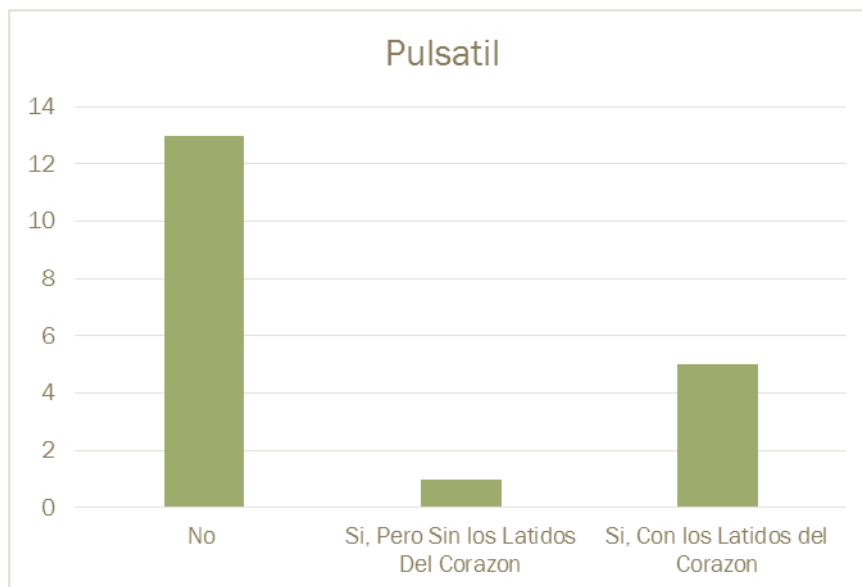
### 13.2.6. PREGUNTA N°6



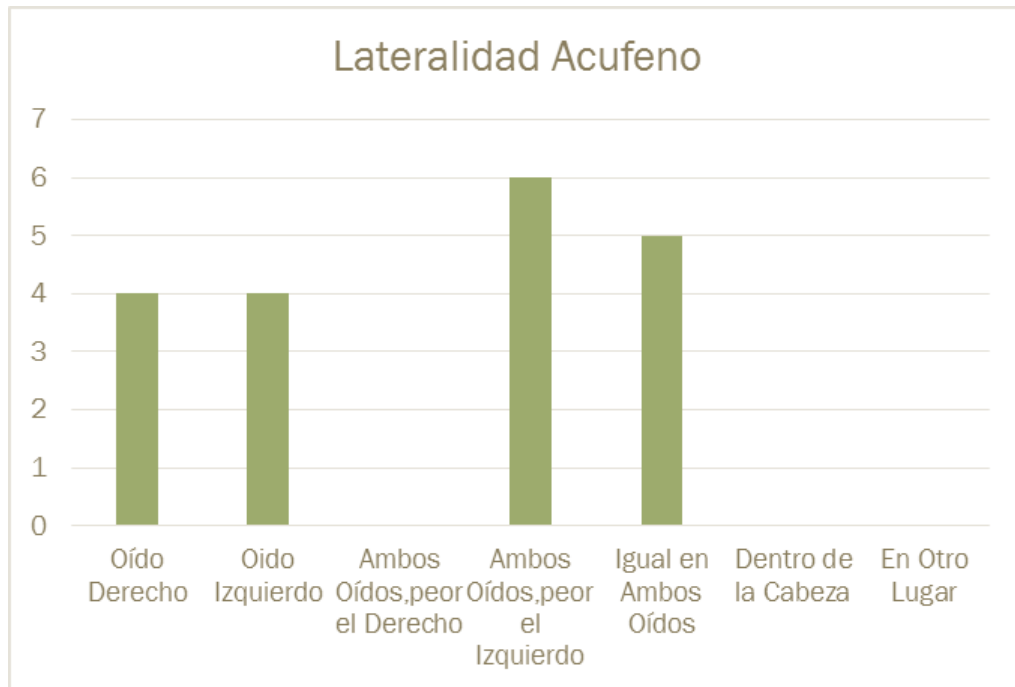
### 13.2.7. PREGUNTA N°7



### 13.2.8. PREGUNTA N°8



### 13.2.9. PREGUNTA N°9



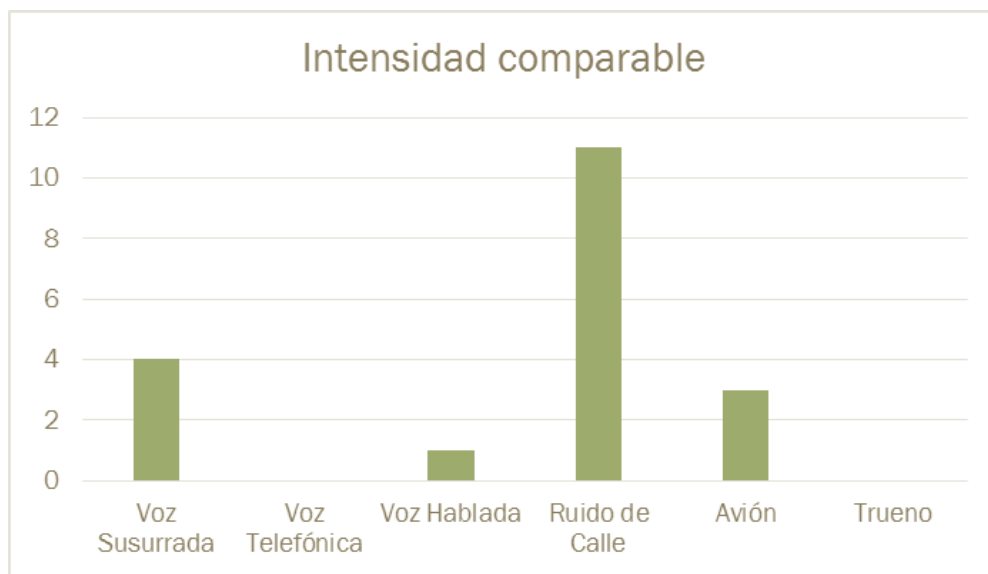
### 13.2.10. PREGUNTA N°10



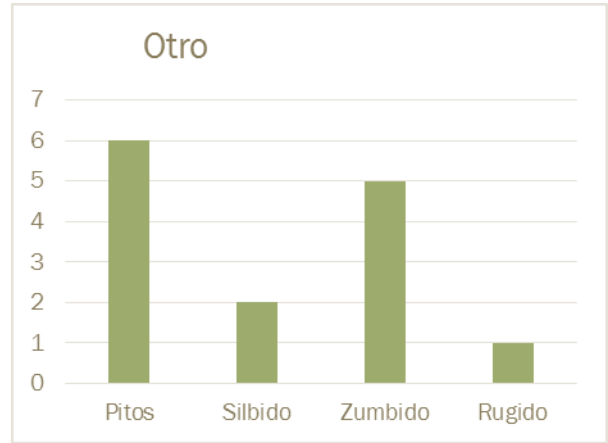
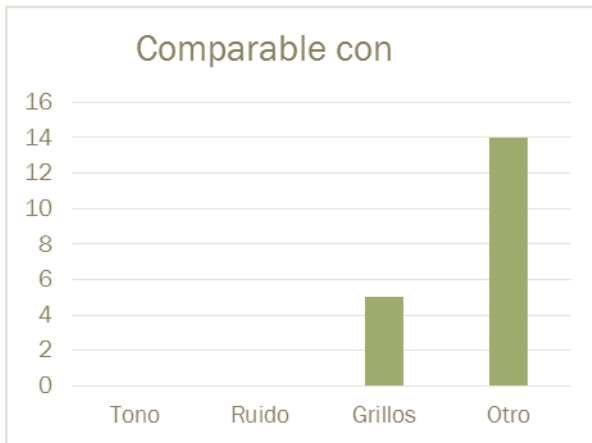
**13.2.11. PREGUNTA N°11**



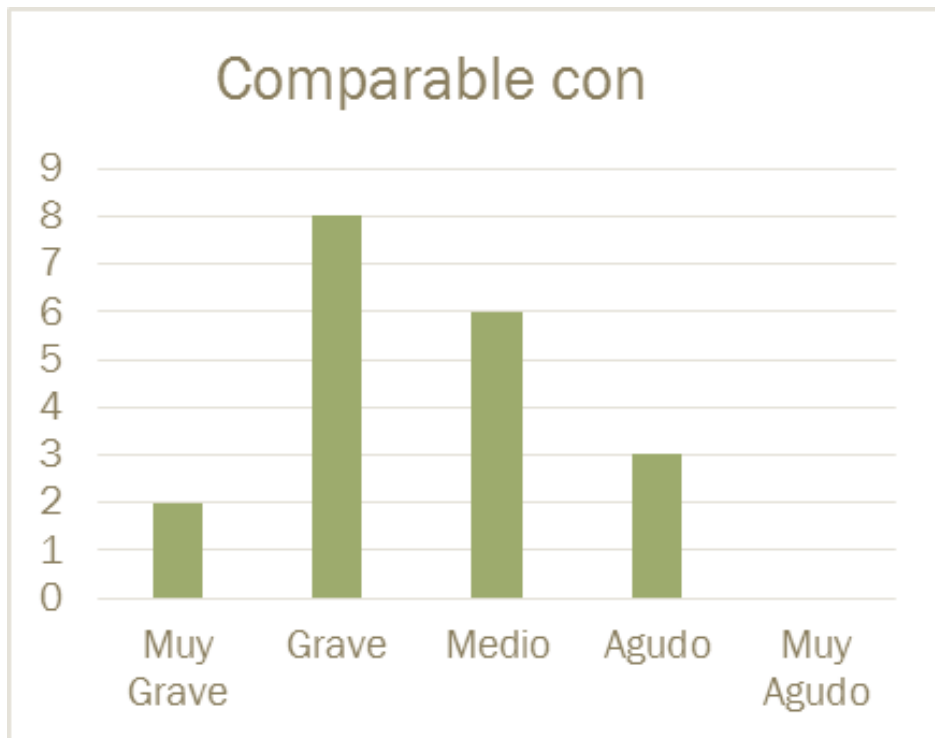
**13.2.12. PREGUNTA N°12**



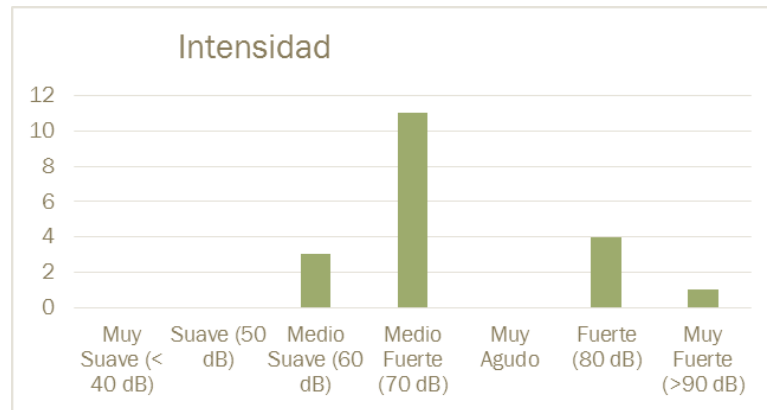
**13.2.13. PREGUNTA N°13**



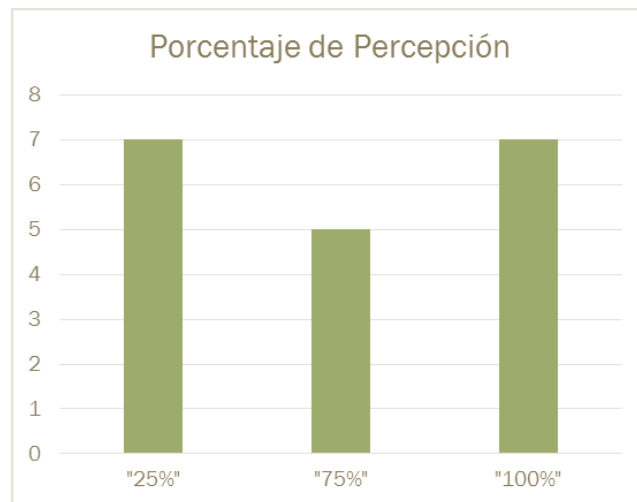
**13.2.14. PREGUNTA N°14**



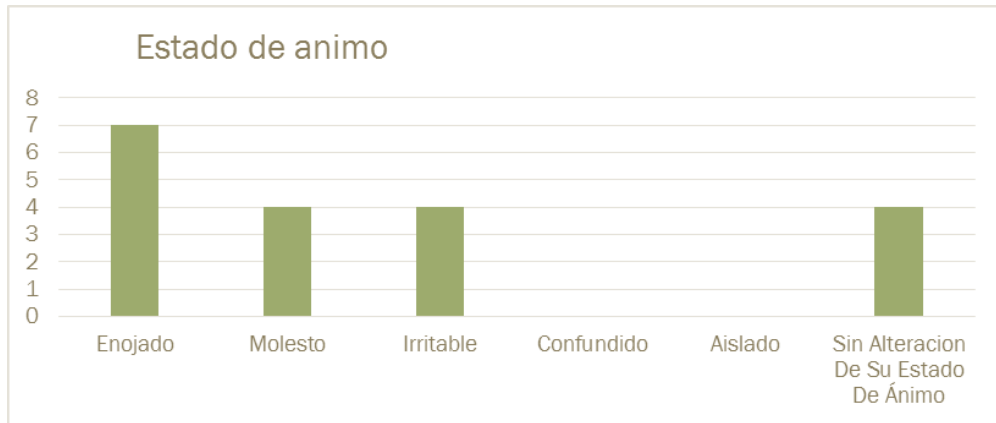
**13.2.15. PREGUNTA N°15**



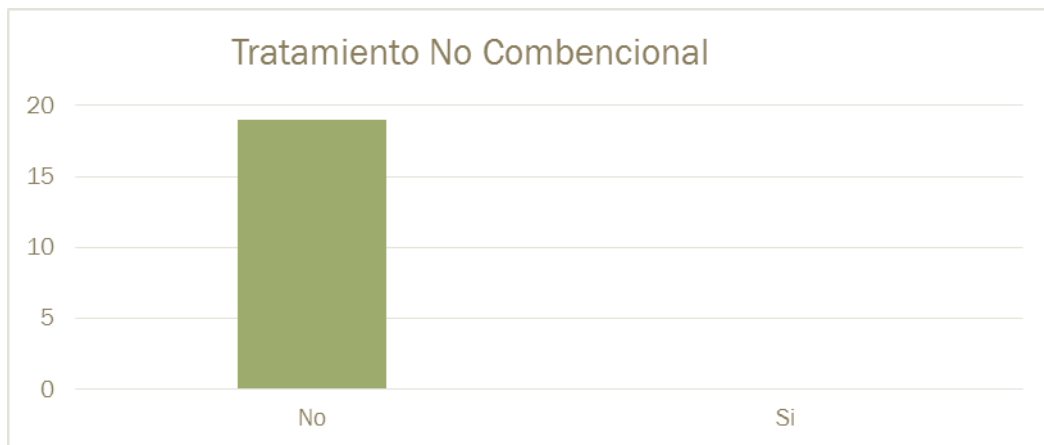
**13.2.16. PREGUNTA N°16**



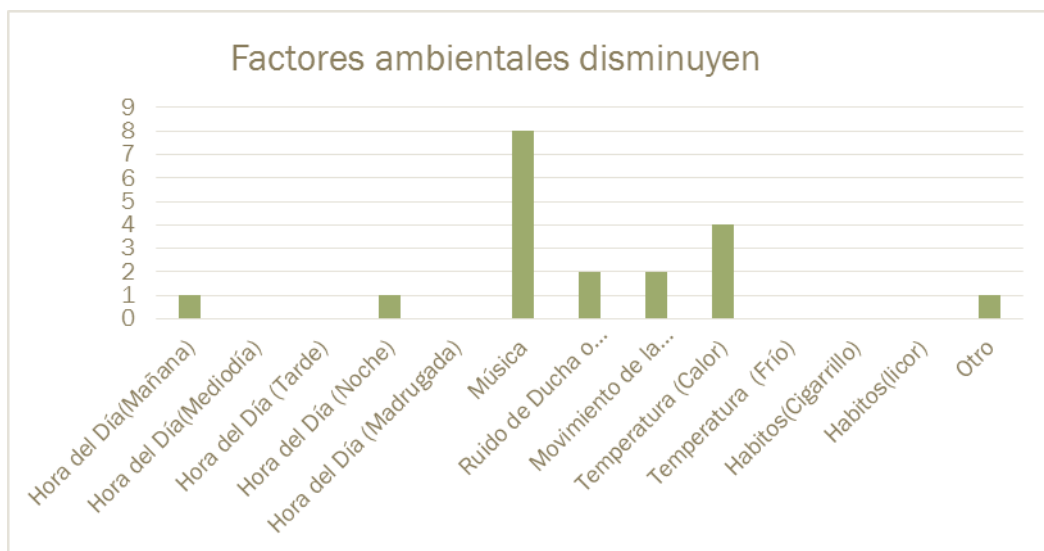
**13.2.17. PREGUNTA N°17**



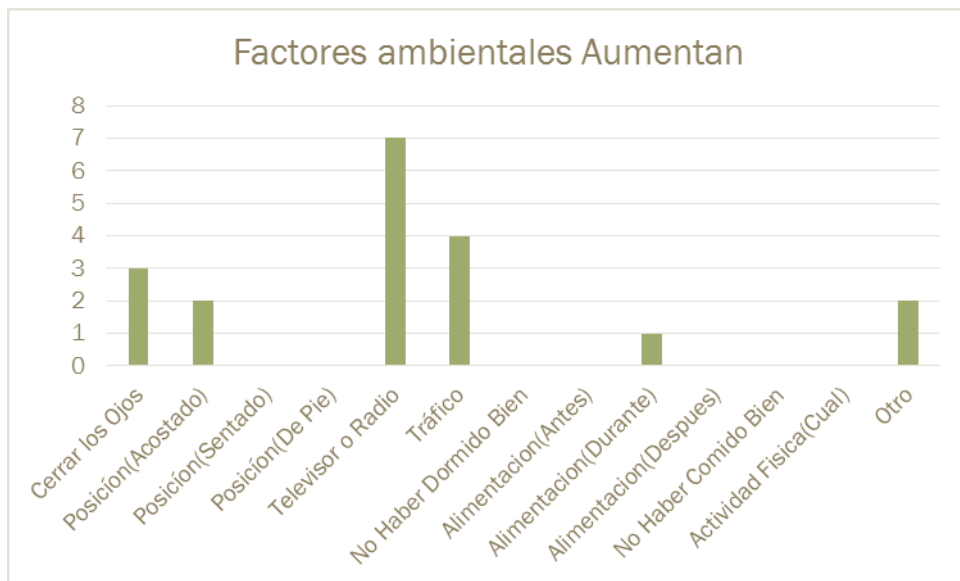
**13.2.18. PREGUNTA N°18**



**13.2.19. PREGUNTA N°19**

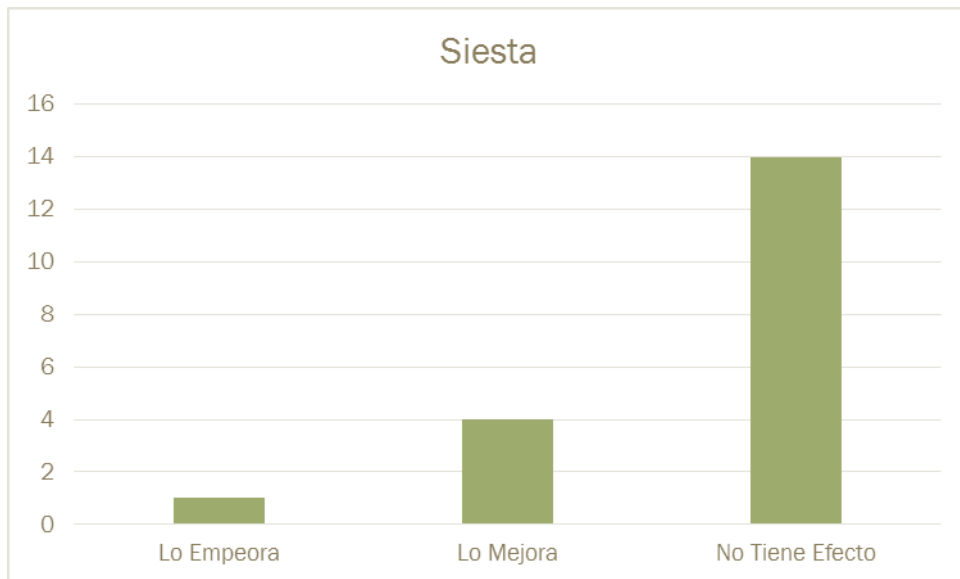


**13.2.20. PREGUNTA N°20**

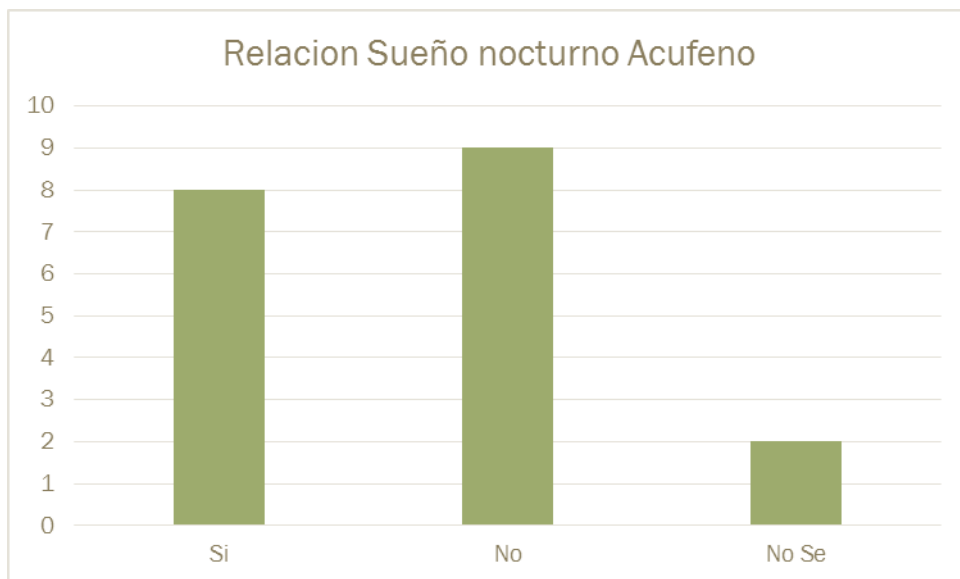


**13.2.21. PREGUNTA N°21**

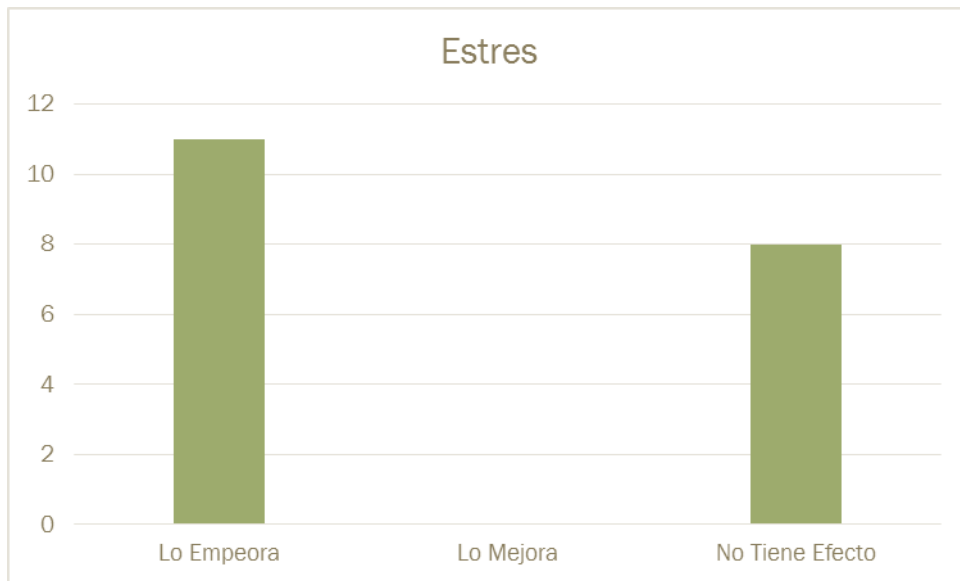




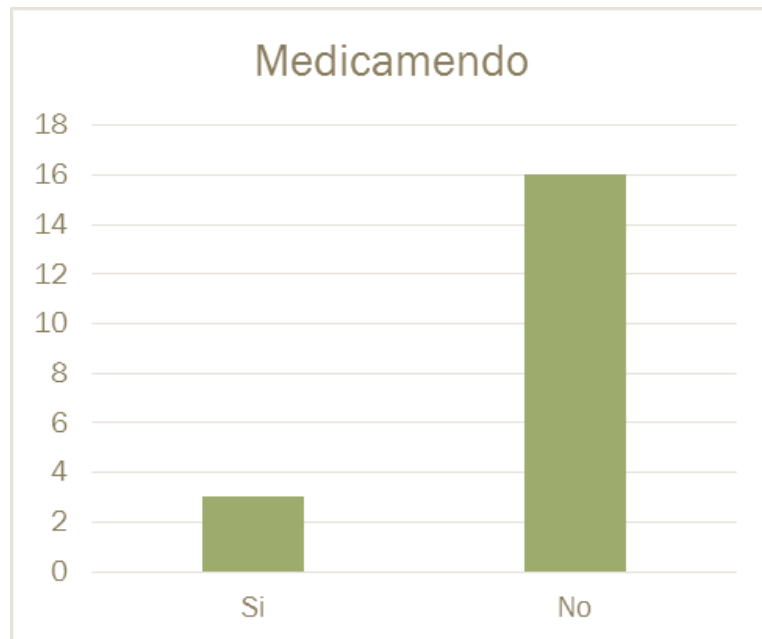
**13.2.22. PREGUNTA N°22**



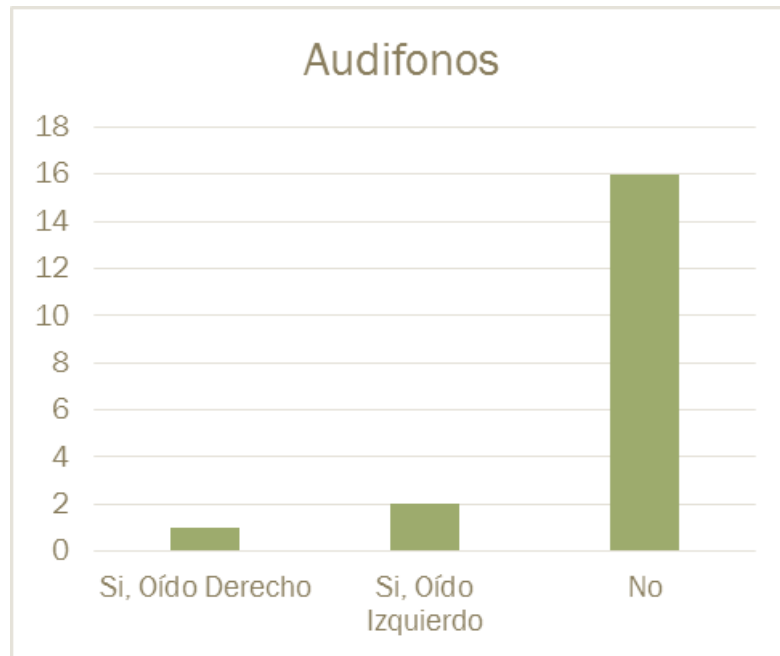
**13.2.23. PREGUNTA N°23**



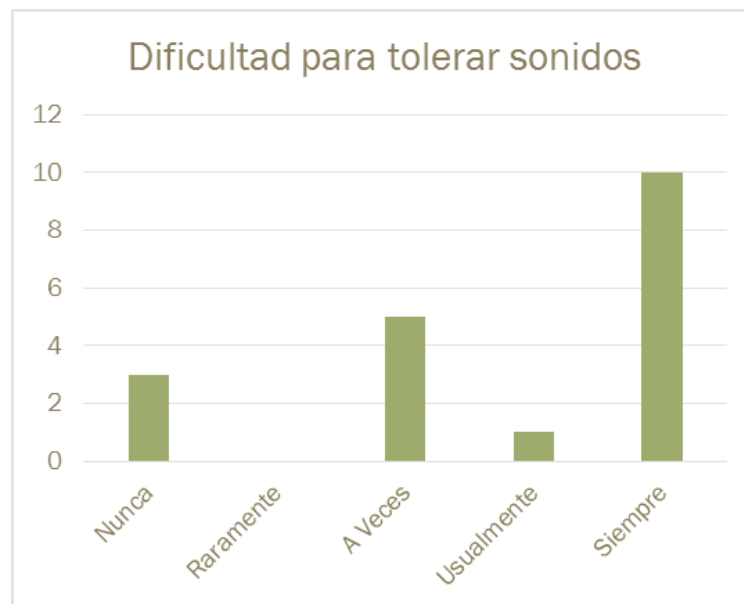
**13.2.24. PREGUNTA N°24**



**13.2.25. PREGUNTA N°25**



**13.2.26. PREGUNTA N°26**



**13.2.27. PREGUNTA N°27**



**13.2.28. PREGUNTA N°28**

