



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

VALIDACIÓN DE TERAPIAS AUDITIVAS PARA TRATAMIENTO DE ACÚFENOS

Trabajo de Titulación presentado en conformidad con los requisitos establecidos  
para optar por el título de Ingenieros en Sonido y Acústica

Profesor Guía

PhD. Carlos Andrés Jurado Orellana

Autores

Paúl Alejandro Aulestia Coronel

Daniel Alberto Naranjo Alvarado

Año

2016

**DECLARACIÓN PROFESOR GUÍA:**

“Declaro haber dirigido este trabajo a través de reuniones periódicas con los estudiantes, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación”

---

**Carlos Andrés Jurado Orellana**

**PhD. En Acústica**

**C.I. 542886-6**

**DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE**

“Declaramos que este trabajo de titulación es original, es de nuestra autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación”.

---

Daniel Naranjo Alvarado

C.I. 172401110-9

---

Paúl Aulestia Coronel

C.I. 171575843-7

## **AGRADECIMIENTOS**

A mis padres y abuelita por su apoyo incondicional, que han entregado todo su esfuerzo para que yo actualmente esté culminando esta etapa de mi vida. Sin ellos, nunca hubiese podido conseguir y lograr lo que hasta ahora.

*Daniel Naranjo Alvarado*

## **AGRADECIMIENTOS**

A mis dos hijos y mi esposa quienes fueron el sustento para que cumpla mis sueños y metas, además a todos mis compañeros y profesores con los cuales hemos podido hacer una buena amistad.

*Paul Aulestia*

## **DEDICATORIA**

Principalmente a Dios, y a todas las personas que han contribuido con este trabajo: Pacientes, médicos, docentes y a mis compañeros.

*Daniel Naranjo Alvarado*

## **DEDICATORIA**

A todas las personas las cuales confiaron en nuestro trabajo y a nuestros compañeros y profesores con los que compartimos esta experiencia.

*Paul Aulestia*

**RESUMEN:**

El trabajo de titulación se realiza con el fin de poder ofrecer una nueva y efectiva terapia alternativa para el tratamiento del acufeno, empleando la terapia de Ambiente Acústicamente Enriquecido (EAE). El acufeno también conocido como tinnitus es característico por presentar en la mayoría de casos un pitido, es una afección auditiva la cual se encuentra presente en nuestra sociedad y en constante crecimiento, debido a la modernización e industrialización de nuestra época. Actualmente son pocos los hospitales y consultorios del país los cuales brindan soluciones para este problema, y pocos también, los sitios los cuales hacen uso de terapias sonoras conocidas. Con la ayuda de la Facultad de Ingenierías de la Universidad de las Américas y el Consejo Superior de Investigaciones Científicas de Madrid se ha podido realizar este estudio y poner en práctica la validación de las terapias para que en un futuro pueda ser tomada en cuenta en diferentes centros médicos del país.



**ABSTRACT:**

This work is carried out in order to provide a new and effective alternative therapy for the treatment of tinnitus, using a therapy named Enriched Acoustic Environment (EAE). Tinnitus is characteristic by a beep, in most cases is a hearing condition which is present in our constant growing society, due to the modernization and industrialization of our time. Currently there are few hospitals and clinics in the country which provide solutions for treatment, and sites which make use of known sound therapies. Supported by the Faculty of Engineering of the University of the Americas and the Superior Council of Scientific Research in Madrid this study has been able to conduct a validation of therapies so that in the future it can be taken into account in different Centers of the country.

## ÍNDICE

1. PRESENTACIÓN .....	1
1.1. Introducción .....	1
1.2. Antecedentes .....	2
1.3. Alcance .....	3
1.4. Justificación .....	3
1.5. Objetivos .....	4
1.6. Hipótesis .....	4
2. MARCO TEÓRICO .....	5
2.1. El sistema auditivo .....	5
2.2. Plasticidad y tinnitus .....	27
2.3. Terapias sonoras de acúfenos .....	35
2.3.1. Enmascaramiento acústico .....	35
2.3.2. Terapia de reentrenamiento (TRT) .....	36
2.3.3. Terapia de discriminación auditiva (ADT) .....	38
2.3.4. Terapia de alta frecuencia (UltraQuiet) .....	39
2.3.5. Tinnitus Tester .....	40
2.3.6. Terapia por cambio de fase .....	41
2.3.7. Terapia sonora secuencial .....	41
2.4. Comparativa de las terapias auditivas .....	42
3. TERAPIA DE AMBIENTE ACÚSTICAMENTE ENRIQUECIDO (EAE) .....	44

3.1. Estado del arte.....	44
3.2. Tipos de Estímulos .....	44
3.2.1. Secuencia de tonos Burst: .....	45
3.2.2. Secuencia de tonos PIP.....	48
3.2.3. Fundamentos audiológicos de los tonos pip .....	52
3.2.3.1. Enmascaramiento y pulsos EMDIF (Mensajes Elementales de Frecuencia Discreta) .....	53
3.2.3.2. Curvas de sintonización en el sistema auditivo .....	55
<b>4. APLICACIÓN DE TERAPIA CON AMBIENTE ACÚSTICAMENTE ENRIQUECIDO.....</b>	<b>56</b>
4.1. Planificación de la Terapia.....	57
4.1.1. Evaluación previa de los pacientes.....	57
4.1.1.1. Número de personas .....	59
4.1.1.2. Reclutamiento de pacientes .....	59
4.1.1.3. Análisis de pacientes seleccionados .....	59
4.1.1.4. Fiabilidad .....	60
4.1.1.5. Validez del test .....	60
4.1.2. Cuestionarios utilizados .....	60
4.1.2.1. THI (Tinnitus Handicap Inventory) .....	60
4.1.2.2. TRQ (Tinnitus Reaction Questionnaire).....	62
4.2. Instrumentación y equipamiento.....	62
4.2.1 Plataforma de medición .....	63
4.3. Recurso Informático.....	63
4.3.1. Recurso Informático Audiómetro TFC Monoaural.....	63
4.3.1.1. Datos básicos para registro .....	64

4.3.1.2. Indicaciones de funcionamiento del programa .....	65
4.3.1.3. Progreso del programa .....	66
4.3.1.4. Finalización del programa.....	66
4.3.2. Recurso Informático Programa para generación de tonos PIP y Burst (EAE1) .....	67
4.3.2.1. Interfaz gráfica principal.....	67
4.3.2.2. Tipo de Pulso.....	69
4.3.2.3. Propiedades de señal .....	70
4.3.2.4. Frecuencias y valores de umbral .....	71
4.3.2.5. Tipo e importación de datos .....	72
4.3.2.6. Sección de escucha .....	72
4.3.2.7. Generar y salvar audio .....	73
4.3.3. Recurso informático para Compensación de respuesta de audífonos .....	74
4.3.3.1. Proceso de medición .....	74
4.3.3.2. Interpolación .....	75
4.3.3.3. Diseño del filtro .....	76
4.3.3.4. Normalización.....	76
4.3.4. Recurso Informático Evaluador de Tinnitus. ....	77
4.4. Desarrollo de la Terapia .....	77
4.4.1. Lugar para las sesiones presenciales.....	77
4.4.1.1. Ruido de fondo de la sala .....	78
4.4.2. Entrevista con pacientes.....	78
4.4.3. Audiometría .....	79
4.4.4. Umbral de pérdida auditiva de los pacientes con acúfeno.....	80
4.4.5. Acufenometría.....	81

4.4.6. Evaluación de datos obtenidos .....	82
4.4.7. Seguimiento a pacientes.....	82
4.4.8. Segunda sesión presencial con pacientes.....	83
<b>5. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....</b>	<b>83</b>
5.1. Datos básicos de los pacientes .....	83
5.2. Resultados generales .....	86
5.2.1. Resultados según el cuestionario THI .....	87
5.2.2. Resultados según el cuestionario TRQ.....	88
5.3. Análisis Estadístico.....	90
5.3.1. Tipo de prueba:.....	90
5.3.1.1. Prueba de Hipótesis .....	90
5.3.1.2. Hipótesis de investigación .....	90
5.3.1.3. Hipótesis nula ( $H_0$ ).....	90
5.3.1.4. Hipótesis alterna ( $H_1$ ).....	90
5.3.1.5. Alfa ( $\alpha$ ).....	91
5.3.1.6. Valor t (t-test).....	91
5.3.2. Aplicación con datos de cuestionario THI .....	91
5.3.2.1. Pruebas de muestras relacionadas .....	91
5.3.3. Aplicación con datos de cuestionario TRQ .....	93
5.3.3.1. Pruebas de muestras relacionadas .....	93
<b>6. ANÁLISIS ECONÓMICO .....</b>	<b>94</b>
6.1. Costos del proyecto .....	95
6.2. Propuesta económica. ....	95
6.2.1 Venta de tonos sin incluir equipos .....	95
6.2.2 Venta de tonos con reproductor.....	96

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	97
REFERENCIAS .....	99
ANEXOS .....	105

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Elementos fisiológicos del sistema de audición. ....	5
Figura 2. Sistema auditivo periférico. ....	7
Figura 3. Sistema auditivo periférico con la cóclea desenvuelta. ....	7
Figura 4. Modelamiento de Canal Auditivo.....	8
Figura 5. Diagrama del oído medio. ....	10
Figura 6. Esquema del laberinto membranoso.....	12
Figura 7. Corte de la cóclea. ....	13
Figura 8. Micromecanismo coclear (modelo de Kiel).....	15
Figura 9. Generación y difusión del potencial de acción. ....	18
Figura 10. Diagrama de la vía auditiva aferente.....	21
Figura 11. Esquema de córtex auditivo. ....	23
Figura 12. Diagrama de la distribución columnar en el cerebro. ....	24
Figura 13. Curva tasa de disparo intensidad.....	25
Figura 14. Comparación de mapas tonotópicos.....	29
Figura 15. Reorganización de mapa tonotópico de un gato.....	31
Figura 16. Generadores de plasticidad que se originan en el sistema periférico.....	32
Figura 17. Interpretaciones corticales de cuatro monos.....	33
Figura 18. Estructuración tonotópica en roedores.....	34
Figura 19. Mapas tonotópicos en 3 distintos grupos de felinos..	34
Figura 20. Tratamientos para habituación del acúfeno. ....	36
Figura 21. Esquema del paradigma oddball. ....	38
Figura 22. Foto de equipo UltraQuiet. ....	40
Figura 23. Funcionamiento sistema de control activo de ruido.....	41
Figura 24. Curvas HL. ....	47
Figura 25. 10ms de una secuencia de tonos burst de 100ms, fq sampleo=44100 Hz. ....	47
Figura 26. <i>Tono pip de frecuencia 500 Hz y <math>(\alpha, \gamma)=(230,5)</math>.</i> .....	49
Figura 27. Envolvente de un tono pip de 500 Hz.....	50
Figura 28. Parámetros de tonos PIP.....	51
Figura 29. Distintos valores de los parámetros $(\beta, \gamma)$ en los tonos pip. ....	52

Figura 30. Clicks de duraciones crecientes con espectros.....	54
Figura 31. Curvas de sintonización con la respuesta de frecuencia de tres neuronas auditivas primarias de un gato.....	55
Figura 32. Comparación de curvas de sintonización para las respuestas de la membrana basilar .....	56
Figura 33. Diagrama de flujo para el seguimiento de un paciente con acúfenos.....	58
Figura 34. Aplicación de plataforma de medición.....	63
Figura 35. Interfaz inicial de programa TFC_Monoaural. ....	64
Figura 36. Datos a ingresar por parte del paciente. ....	65
Figura 37. Indicaciones de funcionamiento del programa. ....	65
Figura 38. Inicio del programa, opciones de oído derecho o izquierdo. ....	66
Figura 39. Ejemplo de audiograma de un paciente, generado por el programa TFC_Monoaural. ....	67
Figura 40. Interfaz de programa EAE1.....	68
Figura 41. Sección para escoger el tipo de pulso.....	69
Figura 42. Ventana simétrica tipo semi Blackman-Harris.....	69
Figura 43. Sección de propiedades de señal. ....	70
Figura 44. Frecuencias y valores de umbral de audiometría.....	71
Figura 45. Tipo e importación de datos. ....	72
Figura 46. Formas de onda correspondiente a archivo generado para oído izquierdo y derecho. ....	73
Figura 47. Proceso de medición de respuesta de audífonos .....	75
Figura 48. Paciente iniciando el proceso de audiometría con el programa TFC Monoaural. ....	79
Figura 49. Ejemplo de proceso de medición de niveles de audífonos.....	80
Figura 50. Audio de paciente en página Mediafire para descargar .....	82
Figura 51. Pacientes con acufeno por edad.....	84



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Concentraciones de iones dentro y fuera de las neuronas.....	19
Tabla 2. Resultados de experimentos de sin intervención y con intervención del córtex. ....	22
Tabla 3. Componentes de sistema nervioso autónomo. ....	27
Tabla 4. Comparativa entre terapias para el tratamiento de acúfenos. ....	43
Tabla 5. Curva de pérdidas utilizada en el diseño de la secuencia de tonos burst.....	46
Tabla 6. Clasificación de incapacidad de cuestionario THI. ....	61
Tabla 7. Valores del umbral mínimo auditivo.....	80
Tabla 8. Valores del umbral auditivo de los pacientes y diferencias con umbral MAP (minimum audible pressure).....	81
Tabla 9. Frecuencia y porcentaje por género. ....	84
Tabla 10. Valores por edad de los pacientes. ....	84
Tabla 11. Frecuencia y porcentaje por nivel de estudios. ....	85
Tabla 12. Frecuencia y porcentaje por localización del acúfeno. ....	85
Tabla 13. Frecuencia y porcentaje tipo de acúfeno.....	85
Tabla 14. Frecuencia y porcentaje por tiempo de evolución del acúfeno. ....	86
Tabla 15. Frecuencia y porcentaje por problemas auditivos asociados. ....	86
Tabla 16. Frecuencia y porcentaje por consumo de medicamentos. ....	86
Tabla 17. Resultado de las terapias auditivas realizadas (THI).....	87
Tabla 18. Resultado de las terapias auditivas realizadas (TRQ).....	89
Tabla 19. Resumen del procesamiento de los casos THI. ....	91
Tabla 20. Estadísticos de muestras relacionadas THI. ....	91
Tabla 21. Prueba de muestras relacionadas THI. ....	92
Tabla 22. Conclusión estadística THI.....	92
Tabla 23. Resumen del procesamiento de los casos TRQ. ....	93
Tabla 24. Estadísticos de muestras relacionadas TRQ.....	93
Tabla 25. Prueba de muestras relacionadas TRQ. ....	94
Tabla 26. Conclusión estadística TRQ.....	94
Tabla 27. Costos del proyecto.....	95
Tabla 28. Primera propuesta económica.....	96

Tabla 29. Segunda propuesta económica.....	96
--	----

## 1. PRESENTACIÓN

### 1.1. Introducción

El acúfeno conocido también como “Tinnitus”, es la apreciación de un sonido que se produce en los oídos o a nivel cefálico, sin necesidad que se genere una actividad mecánica a nivel del oído externo. El acúfeno se manifiesta generalmente como un pitido, el cual persiste a lo largo del tiempo, siendo este con mayor reincidencia si no lo es tratado. Las principales causas son, la exposición sonora en los lugares de trabajo y enfermedades asociadas al oído en el sistema auditivo. Debido a estos acontecimientos el cerebro procesa una señal la cual carece de información de tipo frecuencial, en su intento de captar la señal este genera una mayor cantidad de estímulos, para poder restablecer o compensar la faltante de datos recibidos. Este movimiento el cual se produce en el cerebro producido por los estímulos, es conocido como plasticidad cerebral, todavía no se localiza de donde aparece el tinnitus pero sí parece haber un consenso de que es producida por este fenómeno.

La definición del tinnitus como un fenómeno plástico muestra que con un tratamiento adecuado este puede ser habituado o inhibido por el paciente (Cobo, 2010), Gracias a este hecho, se han creado varias terapias auditivas, como lo es la terapia de enmascaramiento sonoro, la terapia de re-entrenamiento auditivo, terapia por cancelación de fase, y la terapia en la cual nos enfocaremos llamada ***Ambiente Acústicamente Enriquecido (EAE)***, entre otras. El objetivo de las terapias auditivas es provocar en las personas tratadas cambios plásticos que produzcan una habituación y/o una inhibición residual en el paciente.

La habituación se centra principalmente en el sistema límbico y sistema autónomo, de manera que, si bien la persona siente la molestia por el tinnitus, puede coexistir con él, suprimiendo las implicaciones que actúan perjudicialmente sobre su modo de vivir. La inhibición residual consiste en minorar, o eliminar, la percepción del tinnitus cuando se suspende el impulso

sonoro aplicado. La inhibición perdura desde unos pocos segundos hasta varias horas, incluso días.

Varias de estas terapias han sido aplicadas a lo largo de los últimos siglos por distintos científicos y médicos, con mayor énfasis en este siglo. Haciendo una comparativa de las distintas terapias aplicados en los pacientes, se puede apreciar que la terapia de Ambiente Acústicamente Enriquecido (EAE) es una de las más adecuadas para su aplicación en el tratamiento de acufenos. Esto se debe a que estimula de manera selectiva, en una zona de frecuencias específicas e individualizadas, ya que se hace uso la curva de pérdida auditiva del paciente (Cobo et al., 2010).

## **1.2. Antecedentes**

Casi todas las personas han sentido alguna vez un silbido en el oído que no ha sido ocasionado por ninguna fuente sonora exterior. Habitualmente, esta sensación está involucrada con alguna causa que lo ocasione, como por ejemplo lo es la exposición a altos niveles sonoros, fiebre, ototoxicidad, exposición a ruidos laborales, como lo son las industrias, o una alteración breve del oído medio o externo. No obstante, este ruido interno afecta del 5 al 15 por ciento de la población general. Esta sensación predomina con mayor porcentaje en adultos mayores a 60 años, equivalente al 12 por ciento, y en personas de los 20 a los 30 años, en un 5 por ciento. Del 1 por ciento al 3 por ciento de la población general, la sensación es lo suficientemente dominante como para perjudicar al bienestar de vida, dando como resultados, alteración del sueño, bajo rendimiento en el trabajo, y angustia psicológica. Eggermont (2004).

Conforme a la información de Jastreboff y Jastreboff (2000); aproximadamente se encuentran afectados con este malestar entre 25 a 52 millones de habitantes de la población americana, prevaleciendo con un 30 %, en los adultos que se encuentran en las edades de 65 años. Al afectar en un 5 % de la población general de americanos (alrededor de trece millones de americanos), este pitido puede ser lo bastante relevante como para ser calificado como clínico. Weisz et al., (2004), afirman que en Europa más de 5

millones de habitantes aprecian un silbido interior en niveles moderados y fuertes, lo que da como resultado, trastornos del sueño, problemas al concentrarse, incremento de la depresión o angustia. En el caso de España el 17 por ciento de las personas tratadas en un consultorio presentaban síntomas de este ruido (Herráiz y Hernández, 2002).

En Ecuador no se cuenta con datos exactos acerca del porcentaje de personas que padecen de tinnitus, por lo que no se puede decir en qué tipo de personas tiene una mayor ocurrencia. Se espera con este trabajo dar mayor énfasis al tema, ya que existe un número reducido de clínicas, las cuales ofrecen terapias auditivas en el país, distintas a la propuesta, y no se tiene publicaciones al respecto.

### **1.3. Alcance**

Implementar la terapia de Ambiente Acústicamente Enriquecido (EAE) para el tratamiento del acúfeno (tinnitus), como una alternativa a adoptar por los institutos y clínicas audiológicas en el país para mejorar la calidad de vida de las personas que padezcan esta enfermedad, sean niños jóvenes o adultos. Así también se pretende que sirva de referencia para estudios posteriores de enfermedades similares al acúfeno.

### **1.4. Justificación**

La falta de conocimiento e investigación con respecto a tratamientos para el acúfeno en nuestra sociedad, es el principal justificativo para la elaboración de este trabajo de titulación. Con la aplicación de estas se podrá obtener y realizar una base de datos, con los médicos especialistas de los pacientes, de las enfermedades relacionadas causantes de la misma, sean lesiones, malformaciones hereditarias, desgastamiento por edad o pérdida auditiva por exposición de ruido en el trabajo. En el Ecuador, según investigaciones hechas en este trabajo, no se cuenta con tecnologías y procedimientos para tratarlo como en países de primer mundo.

## **1.5. Objetivos**

### **1.5.1. Objetivo General:**

Evaluar la terapia de Ambiente Acústicamente Enriquecido (EAE) para el tratamiento de acúfeno en pacientes seleccionados de la ciudad de Quito.

### **1.5.2. Objetivos Específicos:**

- Reclutar pacientes en hospitales públicos y privados, para la aplicación de las terapias.
- Realizar las audiometrías a los pacientes para la obtención de los tonos correspondientes a la terapia.
- Calibrar los auriculares de los pacientes mediante los recursos informáticos necesarios.
- Elaborar un presupuesto económico de dichas terapias, para determinar la los valores de la aplicación de la terapias en el país.
- Analizar los resultados obtenidos en las terapias aplicadas en el lapso de tiempo determinado.
- Evaluar si los estímulos acústicamente enriquecidos son los más apropiados para la terapia personalizada del acúfeno.

## **1.6. Hipótesis**

Una vez aplicada la terapia auditiva en las personas afectadas, esta reduciría el nivel de tinnitus en los pacientes, siempre y cuando se mantenga las especificaciones y recomendaciones dadas a los pacientes, para la aplicación de las terapias

Si la terapia resulta exitosa, los pacientes podrán continuar con la aplicación de la misma, manteniendo un control con su médico especialista.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. El sistema auditivo

El sistema auditivo se encarga de transformar en impulsos eléctricos, los cambios de presión producidos en el ambiente por la difusión de ondas acústicas en el aire proveniente de cualquier fuente, pasando a lo largo de la vía auditiva este impulso es transmitido por el nervio auditivo y transferido al cerebro para ser interpretados.

Se encuentra constituido por tres partes; el sistema periférico, el sistema auditivo central y el nervio auditivo, mismos que se encuentran en constante iteración. La parte periférica se conforma por el oído externo, medio e interno. El nervio acústico consta de un grupo de neuronas que enlazan el oído interno con la corteza auditiva cerebral.



*Figura 1. Elementos fisiológicos del sistema de audición.*

Tomado de Cobo, P., 2006, p. 4.

En función el oído medio y oído externo reciben la señal sonora al ingreso del sistema periférico y es trasladado al oído interno por un proceso mecánico. En el oído interno, la membrana basilar, se encuentra de forma extendida a lo largo de la cóclea, ésta efectúa un análisis inicial de frecuencias en la señal

emitida, ubicando las frecuencias bajas en el extremo apical y las frecuencias altas en la base. Las células llamadas ciliadas se inervan en el órgano de Corti, mismas que se parecen a pelos y se encuentran en comunicación con la membrana tectoria. El desplazamiento producido entre la membrana tectoria y basilar, estimula las células ciliadas causando una descarga eléctrica. En el proceso se produce la transformación mecánica a bioeléctrica. Estas descargas son transferidas por medio del nervio acústico a la corteza auditiva en donde se codifican y analizan.

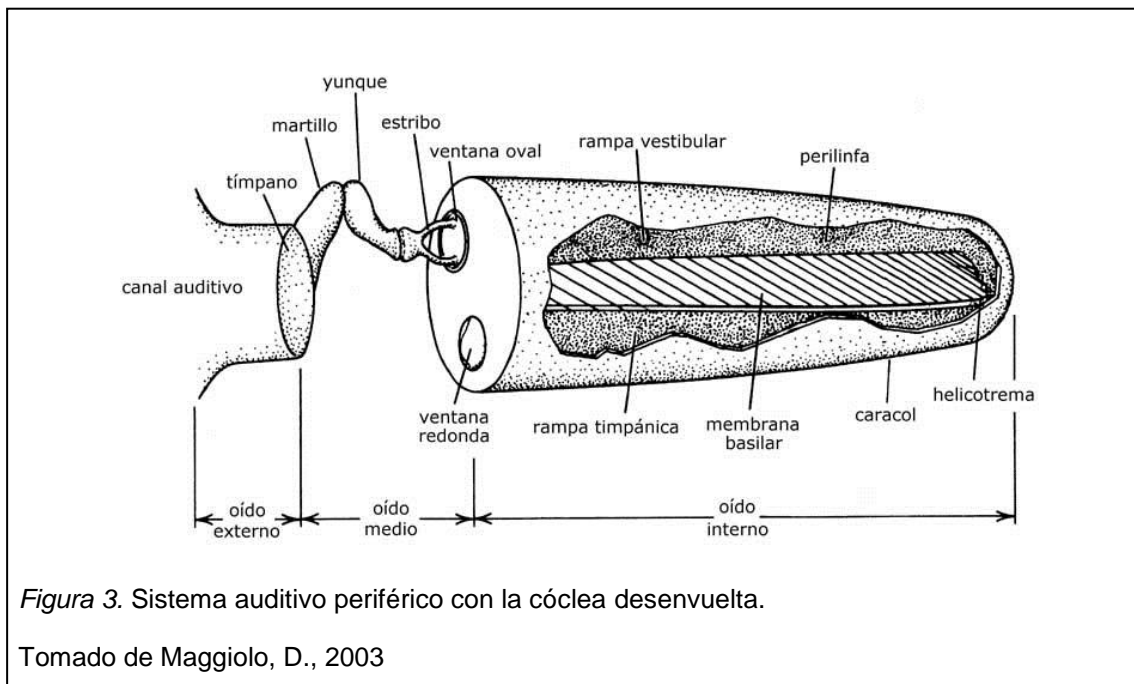
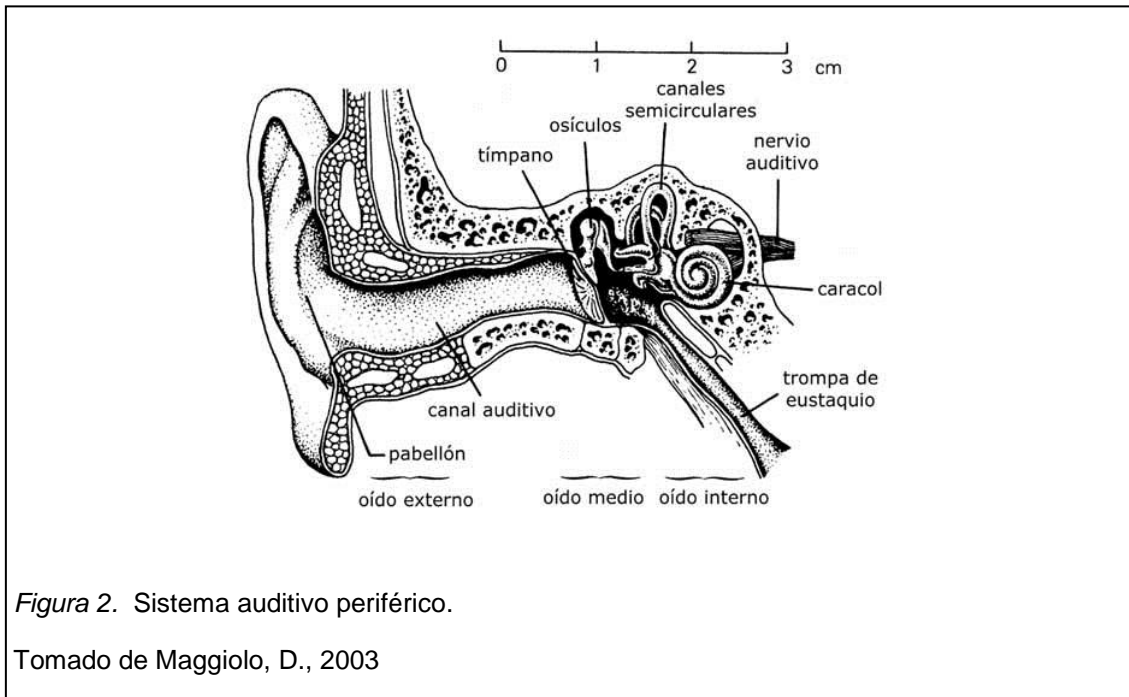
### **2.1.1. El sistema auditivo periférico:**

Está conformado del oído externo, oído medio y oído interno.

El sistema auditivo periférico trabaja en la percepción sonora del ambiente, principalmente convirtiendo en impulsos eléctricos, las señales de presión sonora que alcanzan al tímpano. Además ejerce una importante función en el sistema vestibular y estructuras adjuntas que se relacionan con el sentido del equilibrio.

Las ondas acústicas que son receptadas en el pabellón, hacen llegar la señal hasta la membrana timpánica, la cual la traduce como vibraciones mecánicas. Las vibraciones son transmitidas por el oído medio, haciendo un acoplamiento de impedancias con los huesecillos hasta llegar a la cóclea, que también ejecutan una adaptación de impedancias. La cóclea actúa como un analizador de sonido, transformando la curva amplitud-frecuencia en otra amplitud-distancia en la membrana basilar.





### 2.1.1.1. Oído externo

Se compone por el pabellón (pina), el cual recepta las ondas acústicas en el canal, y las dirige al conducto auditivo teniendo fin en el tímpano. El canal auditivo mide aproximadamente veinte y cinco milímetros de largo y siete milímetros de diámetro; al tener el comportamiento de un ducto sin abertura, y en el cual fluctúa una pila de aire, se produce una frecuencia de resonancia en el conducto acercándose a los 3400 Herzios. Debido a la resonancia, el nivel sonoro en el tímpano es 10 dB mayor al nivel del ingreso en el oído externo, en la frecuencia mencionada (Cobo, 2006).

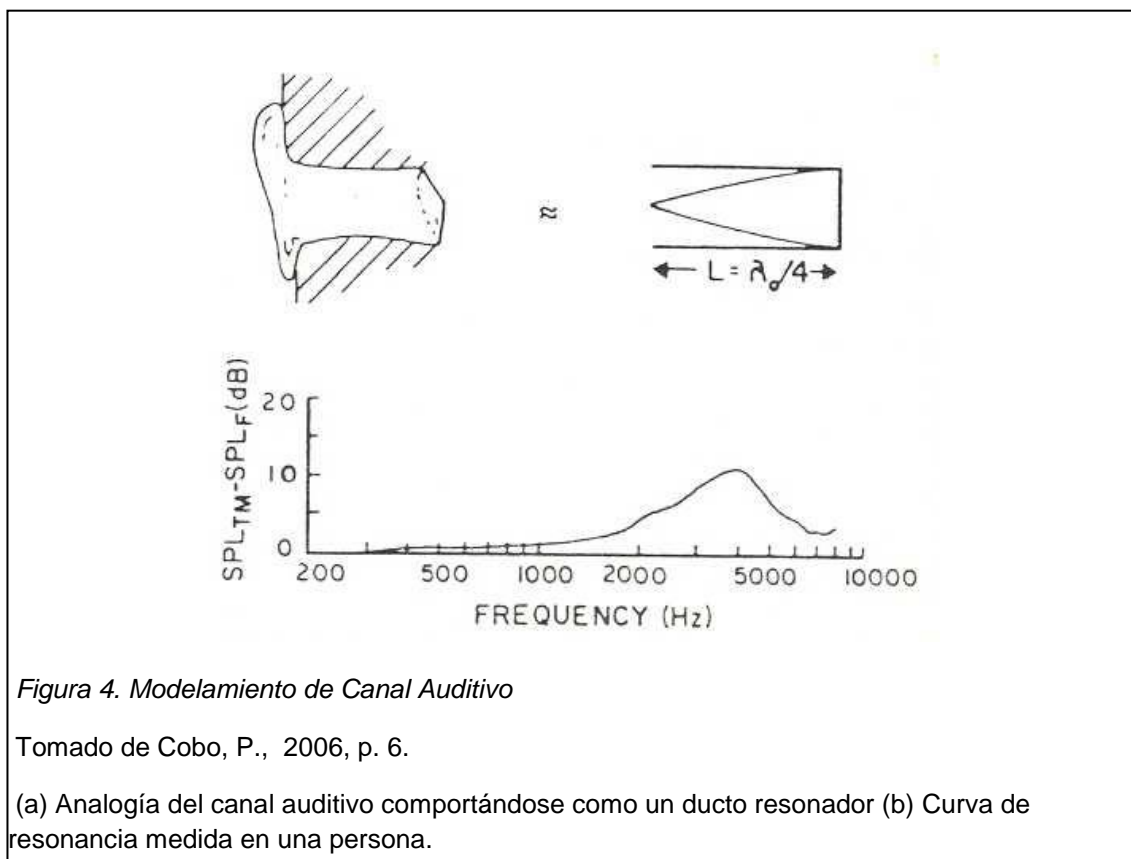


Figura 4. Modelamiento de Canal Auditivo

Tomado de Cobo, P., 2006, p. 6.

(a) Analogía del canal auditivo comportándose como un ducto resonador (b) Curva de resonancia medida en una persona.

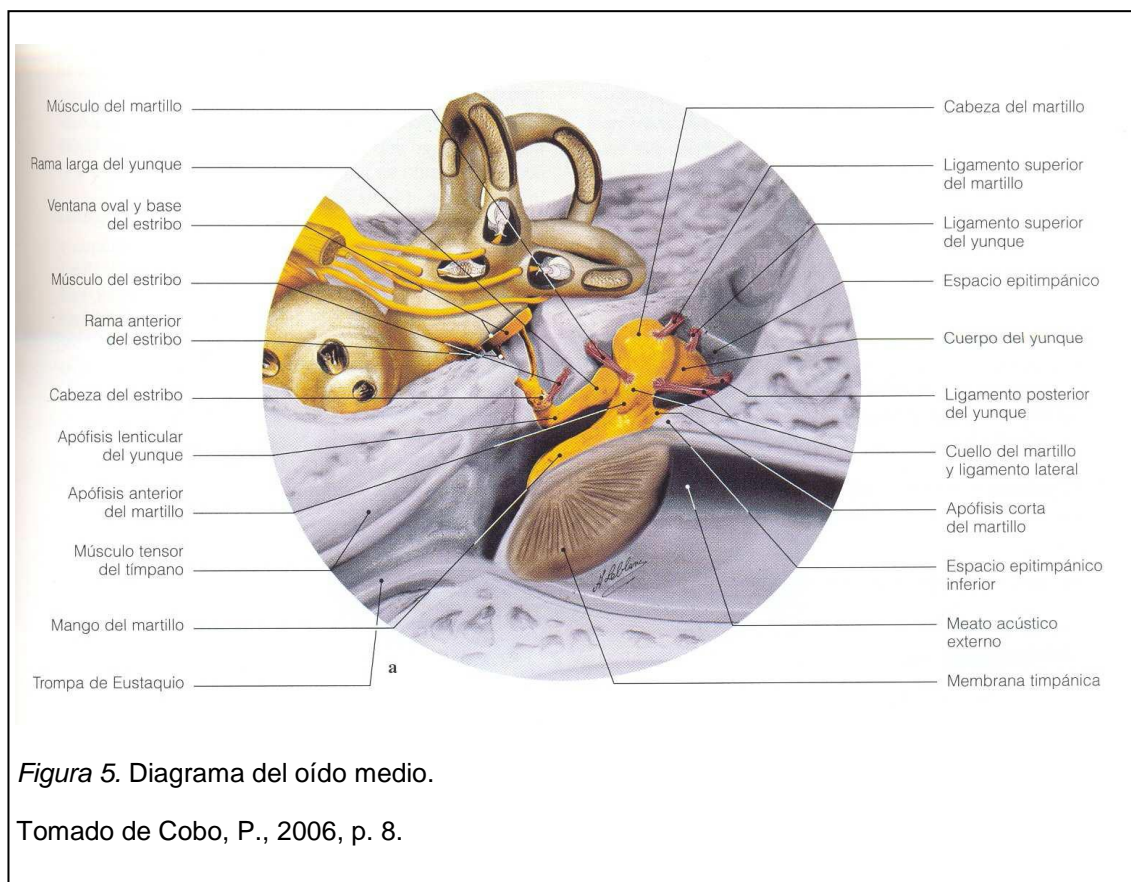
Otro efecto a considerar es la difracción/reflexión causada por el cráneo. Si se considera a la cabeza como un cuerpo rígido de forma esférica con un diámetro de 18cm aproximándose en frecuencia a los 2000 Hz, cualquier frecuencia que se encuentre por encima de esta se difractará en el contorno de la cabeza, teniendo una desigualdad de nivel muy leve en la llegada de la señal en

ambos oídos, por otro lado, sonidos que sean mayores a dicha frecuencia serán reflejados y tendrán una atenuación considerable en el oído contrario. Por ello, la cabeza presenta una barrera para sonidos de altas frecuencias.

La localización binaural se da debido a la diferencia de niveles que llegan a los dos oídos, el retardo temporal entre una señal y otra y las diferencias en frecuencia y amplitud. Con la localización binaural se puede diferenciar distintos tipos de fuente, su ubicación y distancia. Este efecto es dependiente de la frecuencia, como se mencionó anteriormente las altas frecuencias tendrán una mayor retardo y atenuación, debido a la reflexión, y en las frecuencias bajas se tienen niveles similares en los dos oídos por la difracción, pero aún se tiene el retardo temporal siendo este de 0,5 ms. Se debe tomar en cuenta que este retardo temporal pertenece a una frecuencia de 2000 Hz, es decir, la frecuencia límite entre reflexión y difracción.

#### **2.1.1.2. Oído medio**

Está conformado por el tímpano, y un grupo de huesecillos; el yunque, martillo y estribo, además de la trompa de Eustaquio; el oído medio acopla el tímpano con la ventana oval. Las principales funciones del oído medio son la adaptación de impedancias acústicas y la adaptación de la presión corporal interna con la externa.



El tímpano es una membrana que se mueve debido a la onda acústica que la alcanza. Una parte de la onda que llega al tímpano es absorbida, y la otra es reflejada. A esta tendencia del sistema de audición de oponerse al paso del sonido se conoce como impedancia acústica.

La función de los huesecillos es transferir el movimiento del tímpano hacia el oído interno. Como el oído interno tiene material linfático y el oído medio se encuentra ocupado de aire hay que solucionar un desorden de impedancias generado siempre que una onda es conducida desde un medio gaseoso hacia un medio líquido.

Mediante dos vías complementarias el oído interno soluciona el desarreglo de impedancias: primero, la reducción del área en la que se centraliza el movimiento, el promedio del área del tímpano es de  $69 \text{ mm}^2$ , pero la superficie efectiva vibrante es de aproximadamente  $43 \text{ mm}^2$ . El pie del estribo, que

impulsa la ventana oval moviendo el material linfático del oído interno, tiene una dimensión aproximada de  $3,2 \text{ mm}^2$ . En consecuencia, la presión aumenta en unas 13,5 veces. Por otro lado, el martillo y el yunque actúan como un mecanismo de palanca y la relación entre los dos brazos de la palanca es de 1,31:1. El aumento total de la presión es de unas 17,4 veces, debido a que la ganancia mecánica del mecanismo de palanca es de 1,3. El valor final dependerá de la superficie real de vibración del tímpano (Maggiolo, 2003).

Con respecto a la trompa de Eustaquio su principal función es conservar, en ambos lados del tímpano, una presión equilibrada.

El oído medio no reacciona de la misma manera a todos los niveles de intensidad. Esto se debe al reflejo acústico que es el cambio de rigidez de los músculos que juntan los huesecillos a la cavidad ósea. El oído medio está dirigido por la rigidez a bajas frecuencias y por la masa a altas frecuencias. Por esta razón, este efecto (reflejo acústico) no es seguro en el margen de frecuencias altas. Vale recalcar que el lapso de tiempo para responder del reflejo acústico es de 10 ms. Por esta razón no resulta práctico para sonidos impulsivos como disparos y explosiones (Cobo, 2006).

### **2.1.1.3. Oído interno**

Se encuentra conformado por el laberinto, que es una estructura ósea la cual reviste al laberinto membranoso. Se constituye por el vestíbulo, los conductos semicirculares y la cóclea o caracol. El líquido paralinfático fluye entre el laberinto óseo y el laberinto membranoso, y el líquido endolinfático circula dentro del laberinto membranoso.

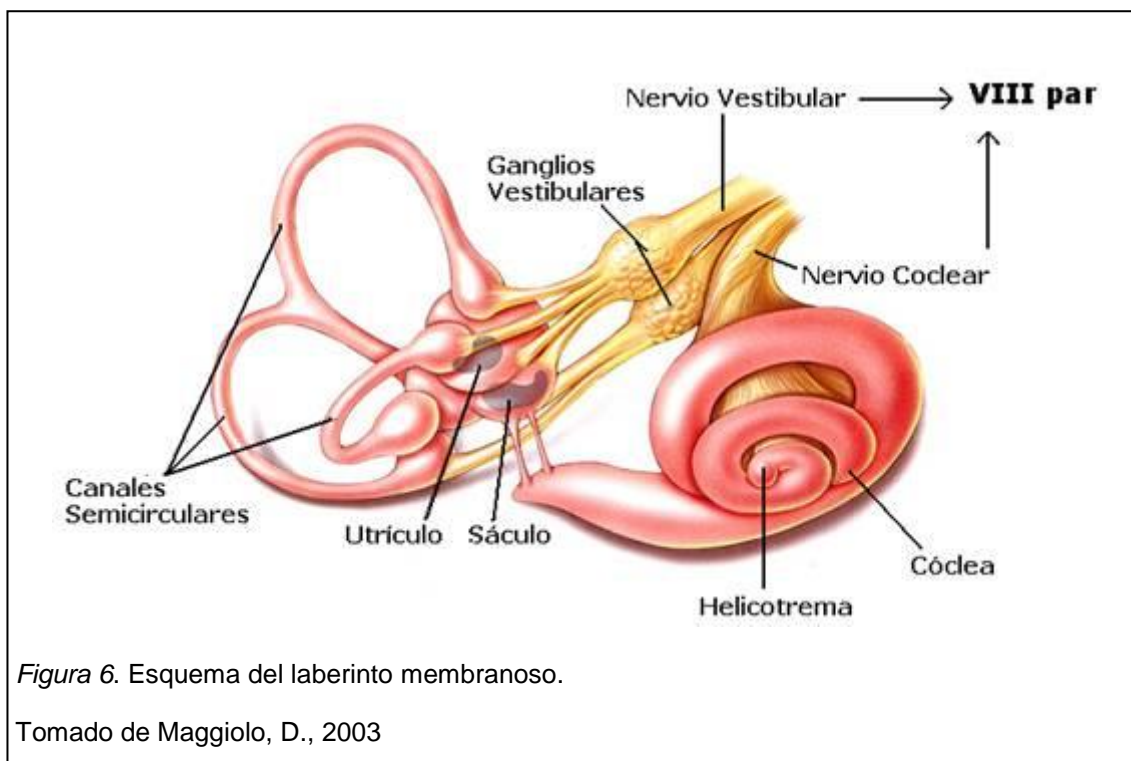


Figura 6. Esquema del laberinto membranoso.

Tomado de Maggiolo, D., 2003

Los canales semicirculares tienen en su base una ampolla y dentro los órganos otolíticos (órganos sensoriales de la aceleración rotacional). Los otros canales contienen además de ampollas, dos órganos otolíticos más, el utrículo y el sáculo, que son receptivos a las aceleraciones lineales. Por ello, los órganos otolíticos son conocidos por establecer un análisis vectorial del movimiento, tanto rotacional como lineal.

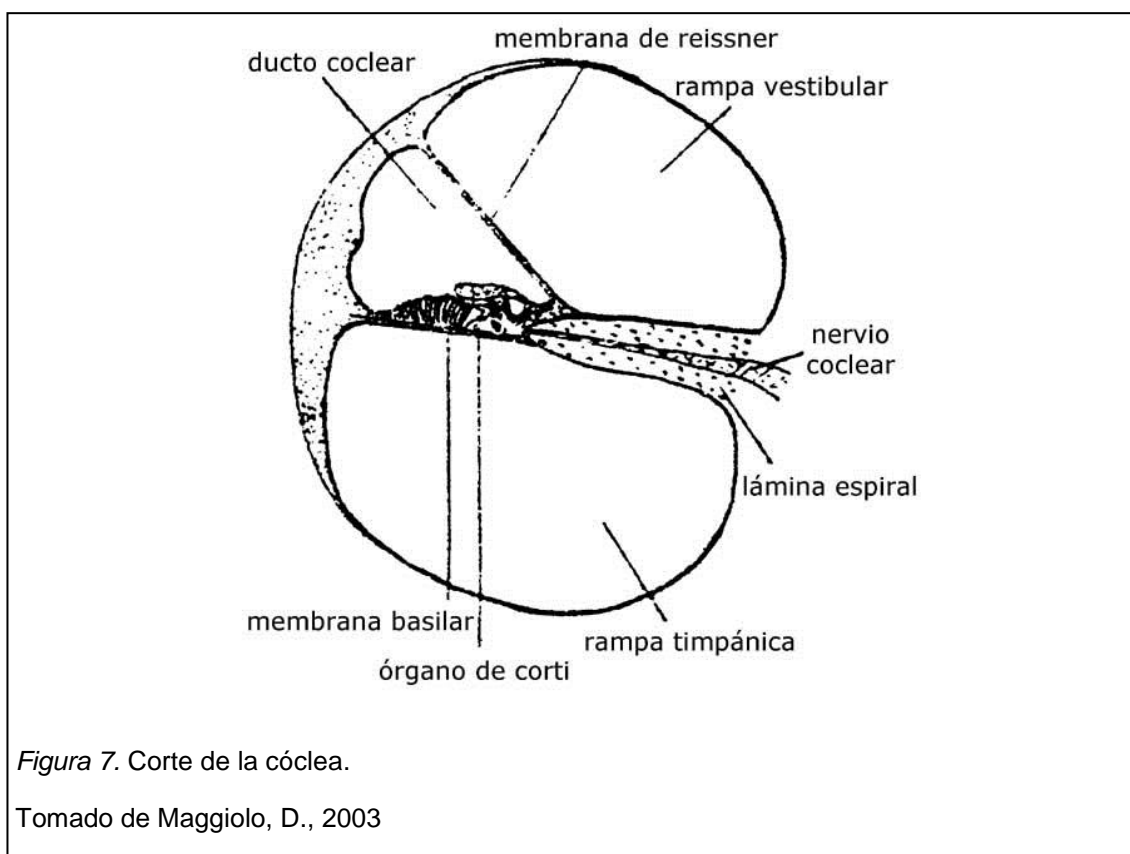
La cóclea enrollada en forma de espiral, tiene una dimensión aproximada a los 35 mm de largo y 1,5 mm de diámetro. El conducto coclear, fracciona la cóclea en dos partes: la rama inferior o timpánica y la rama superior o vestibular

La rama vestibular o superior y el ducto coclear se encuentran separados por la membrana de Reisner, y la rama inferior o timpánica está separada de la rama media, o conducto coclear, por medio de la membrana basilar, que se la conoce también como partición coclear.

El órgano de Corti se sitúa encima de la membrana basilar y sobre este órgano, reside la membrana tectoria. Las rampas timpánicas y vestibular,

contienen en su interior líquido peri linfático, el cual causa el desplazamiento de la membrana basilar debido a la señal receptada. Dentro de la rama media se halla el fluido endolinfático.

El órgano de Corti, en donde las vibraciones se transforman en señales bioeléctricas, a su vez tiene células sensoriales y de soporte. Las células ciliadas externas y las células ciliadas internas son las células sensoriales que, serían las más importantes del Órgano de Corti, desde el punto de vista acústico. Las células pilares, las células de soporte internas, las células de Deiter y las células de Hensen son las células de soporte. Las células ciliadas son las más significativas del órgano de Corti, desde el punto de vista acústico.



Se calcula que en el ser humano se encuentran alrededor de 13400 células externas y 3400 internas. Los esteros cilios (en forma de pelos) emergen de las

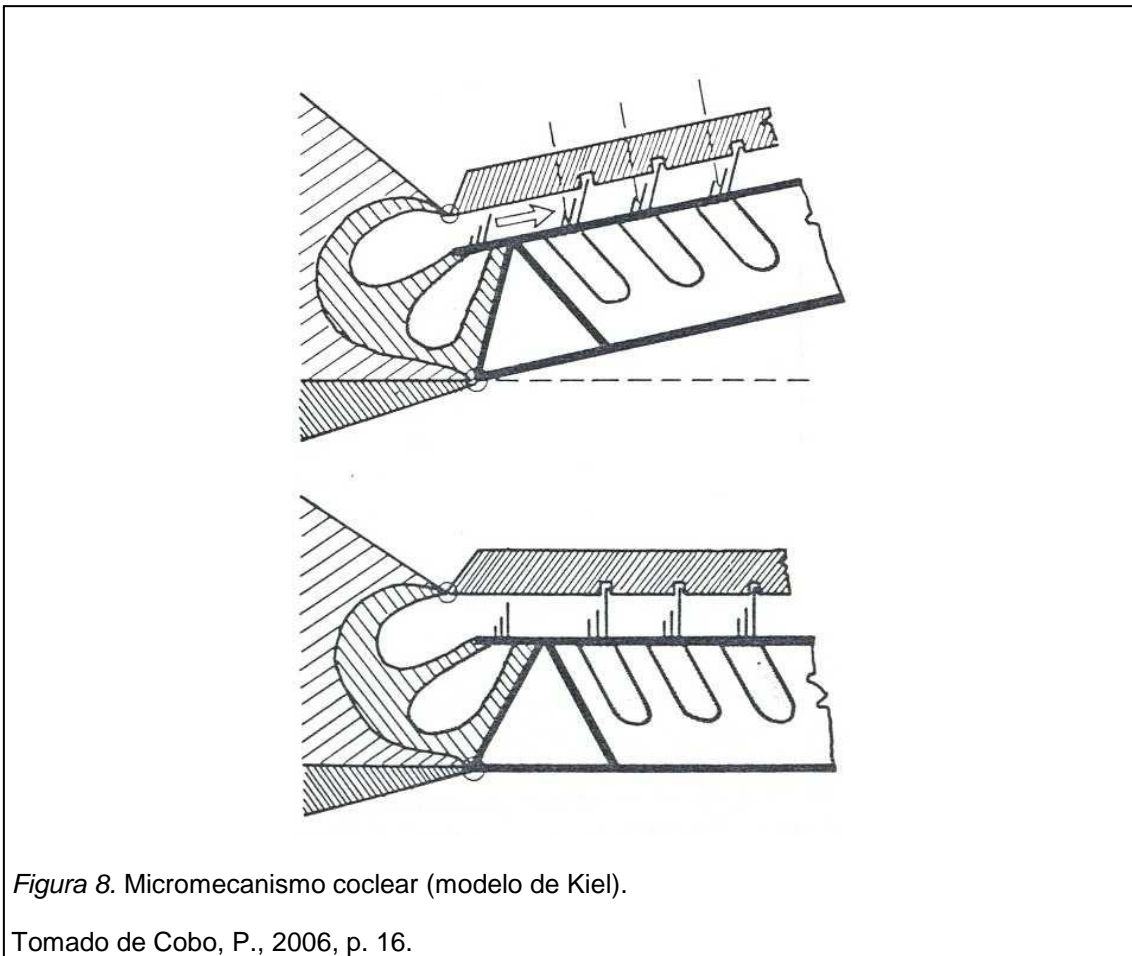
células ciliadas. En su base, a través de la sinapsis, las células ciliadas conectan con las neuronas. Un noventa y cinco por ciento inervan las células internas mientras que solamente un cinco por ciento de las neuronas conectan con las células externas.

El mecanismo para localizar y examinar las vibraciones es dado por la conexión de la membrana basilar, las células ciliadas y la membrana tectoria. La función del oído interno en el desarrollo de la audición se puede dividir en: Los macro mecanismos cocleares, micro mecanismos cocleares y transducción mecánico-neural. Los macro mecanismos cocleares abarcan el desplazamiento de la membrana basilar y de los líquidos perilinfático y endolinfático. Los micro mecanismos cocleares comprenden la dinámica del órgano de Corti, las células ciliadas, la membrana tectoria y del líquido interno del órgano de Corti, que se lo conoce como fluido cortilinfático. La reacción de las células ciliadas al movimiento de la membrana basilar es demostrada por la transducción mecánico-neural, la sinapsis de las células ciliadas con las neuronas también se incluye (Cobo et. al., 1994).

En el momento que la ventana oval entra en oscilación, como reacción al movimiento del estribo, la partición coclear se desplaza de arriba a abajo y la ventana redonda se mueve en dirección opuesta a la ventana oval. Se conoce como onda viajera a la onda que viaja dentro de la membrana basilar inducida por el desplazamiento de la ventana oval. En el instante en que un pulso es lanzado a través de la membrana basilar, este sitúa cerca de la base a las frecuencias altas, y cerca del ápice a las frecuencias bajas. La membrana basilar difunde los distintos elementos del estímulo en toda su distancia, es por eso que se la conoce como línea dispersiva. Se llama organización tonotópica a la ubicación espacial de las frecuencias a lo largo de la membrana provocada por un pulso, la gradiente de rigidez de la membrana basilar es el componente clave de esta organización tonotópica, y es causado por el ensanchamiento de la membrana basilar por su forma en espiral, variando de 100 a 1 de un extremo a otro.



La función mecánica del órgano de Corti es mencionada mediante los micromecanismos cocleares. Un análisis a nivel frecuencial del movimiento que emite el estribo es realizado mediante la membrana basilar, ubicando cada factor de la vibración en un sitio a través de su eje. Vienen a ser células ciliadas las células sensoriales del desplazamiento concerniente entre la membrana basilar y la membrana tectoria.



Los esterocilios son hilos sólidos y quebradizos inervados en la base de las células ciliadas. Los esterocilios son desviados en dirección a la derecha de manera radial si la membrana basilar se desplaza hacia arriba. El desarrollo que produce las descargas neurales, o sea la transducción, es iniciado por la deflexión radial de los esterocilios. Vale mencionar que el movimiento producido por los esterocilios puede ser inhibitorio o excitatorio. Al parecer, hay

una elemental actividad neural inferior, por lo tanto, se basa en un aumento de esta actividad un efecto excitatorio, y radicaría en una disminución de la actividad un efecto inhibitorio. El desplazamiento hacia arriba de la membrana basilar aparenta causar una sensación excitatoria en las células ciliadas en el órgano de Corti, y se ocasiona un efecto inhibitorio con un desplazamiento hacia abajo de la membrana tectoria.

Hay discusión, acerca de qué mecanismo comienza la transducción neural en las células ciliadas. Según investigaciones, consiste en una modificación en la resistencia eléctrica de los esterocilios. De acuerdo a otros estudios, las variaciones en la forma de sección transversal de los estero cilios provocada por el corte de las fibras de actina que los constituyen puede ser la articulación disparadora de la transducción mecánico-neural.

#### **2.1.1.4. La vía auditiva**

El sistema nervioso del hombre está conformado de unas células sensoriales las cuales perciben los estímulos exteriores, y también de células motoras que los trasladan hasta el cerebro. Existen células intermedias entre las dos. A estas células que conforman el sistema nervioso se las conoce con el nombre de neuronas. Hay aproximadamente un billón de neuronas motoras e intermedias en el sistema nervioso de una persona, de este total dos o tres millones son motoras. En su camino al cerebro las neuronas forman grupos creando haces neuronales.

Una neurona se encuentra constituida por un cuerpo celular o soma, por donde se desprenden las dendritas, entre estas ramificaciones se encuentra el axón, se le denomina segmento inicial al encontrarse más cercano al cuerpo celular, y botón sináptico a su parte final, el axón se encuentra cubierto de mielina que se compone de proteínas y lípidos, las cuales cumplen con una función importante en la conducción eléctrica, los espacios entre la mielina se denominan nodos de Ranvier. Las conexiones neuronales se realizan por la sinapsis. En los haces neuronales existen, células de soporte, las cuales dan

consistencia a la red, denominadas células gliales. Son denominados astrocitos debido a la forma estrellada que tienen.

Los botones sinápticos contienen a las vesículas sinápticas, que contienen a los neurotransmisores, estas son moléculas simples sintetizadas en pasos químicos por enzimas que trabajan en los sustratos que ya constan en la dieta, estas ayudan a invalidar a las células post-sinápticas de forma temporal. “La liberación de los neurotransmisores en las fisuras sinápticas altera el potencial electroquímico de reposo de la membrana sináptica disparando una descarga neural, también denominada potencial de acción, o potencial post-sináptico (PSP)” (Cobo, 2014). En el siguiente recuadro se muestra una explicación limitada de cómo se genera y propaga el potencial post-sináptico (PSP).

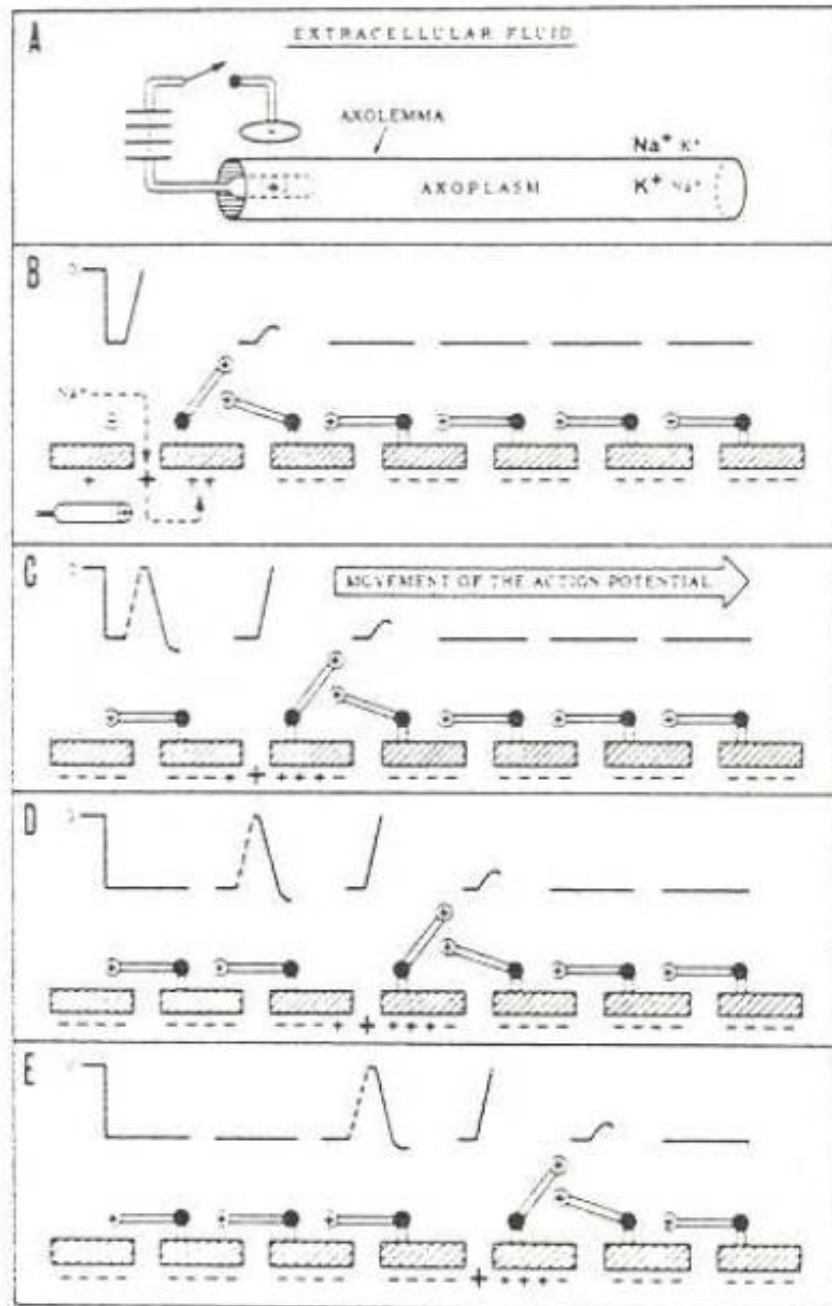


Figura 9. Generación y difusión del potencial de acción.

Tomado de Cobo, P., 2006, p. 20.

Las neuronas se encuentran cargadas electrónicamente, en ellas abundan cationes ( $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ) y aniones ( $\text{An}^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ) distribuidos por la parte interior y exterior de la neurona por lo que no se tiene la misma concentración de iones negativos e iones positivos. La actividad metabólica succiona iones iones  $\text{K}^+$

hacia adentro de la neurona mientras iones  $\text{Na}^+$  son bombeados hacia afuera, esto es conocido como transporte activo, por lo tanto se origina un potencial eléctrico en reposo debido al exceso de carga positiva fuera de la neurona y exceso de carga positiva dentro de la neurona. Los valores en el cual se encuentra este potencial son de  $-70$  a  $-100$  milivoltios (Durrant y Lovrinic, 1977).

La irritabilidad y conductibilidad son dos características fundamentales de la membrana neuronal. Algún cambio particular en la permeabilidad de la membrana puede ser causado por cualquier estímulo, a los diferentes iones, de esta manera se forman corrientes de iones que circulan en ambos sentidos a lo largo de la membrana. La aglomeración de iones ubicados en cada lado de la membrana cambia, modificando de esa forma la diferencia de potencial en ella.

Tabla 1. Concentraciones de iones dentro y fuera de las neuronas.

	$\text{K}^+$	$\text{Na}^+$	$\text{Cl}^-$	$\text{An}^-$
Fuera	<	>	>	No existe
Dentro	>	<	<	>
Neto	Exceso de carga negativa dentro y de carga positiva fuera: Potencial en reposo negativo de unos $-70$ a $-100$ mV			

La despolarización causa el libramiento de los neurotransmisores pertenecientes a las vesículas sinápticas por medio de las fisuras pos sinápticas de la próxima neurona cuando el potencial de acción alcanza el botón terminal, dando inicio a un nuevo PSP que se sigue propagando. Del diámetro de los axones y de la cantidad de estaciones sinápticas, depende la velocidad de propagación del potencial de acción y esta será siempre inferior a los  $120$  m/s (Cobo, 2014). Cuando un potencial aumenta la acción espontanea es conocido como excitatorio y cuando reduce inhibitorio.

La vía auditiva se encuentra formada por el haz neuronal que conecta la corteza cerebral con las células ciliadas. Está formada por cuatro tramos de neuronas: las neuronas de primer orden, segundo orden, tercer orden y cuarto

orden. Las de primer orden conformado por el nervio acústico, conocido también como par VII, penetra en el cerebro, en el cruce entre el puente y la médula espinal y el cuerpo de estas neuronas se encuentra alojado en el ganglio espiral.

Las de orden secundario se concentran en el núcleo coclear ventral y núcleo coclear dorsal, especializadas en el procesamiento de señales auditivas. El lemnisco lateral conecta la neurona con el nervio acústico en su extremo inferior, y en su extremo superior conecta con el colículo inferior. Las de tercer orden poseen en el colículo inferior su núcleo y se acoplan con el cuerpo geniculado medial (ya en el tálamo) en su extremo superior. Y por último, las neuronas de cuarto orden, que en el cuerpo geniculado medial tienen su núcleo y enlazan de forma directa con el córtex auditivo primario. A continuación una representación de la vía auditiva.

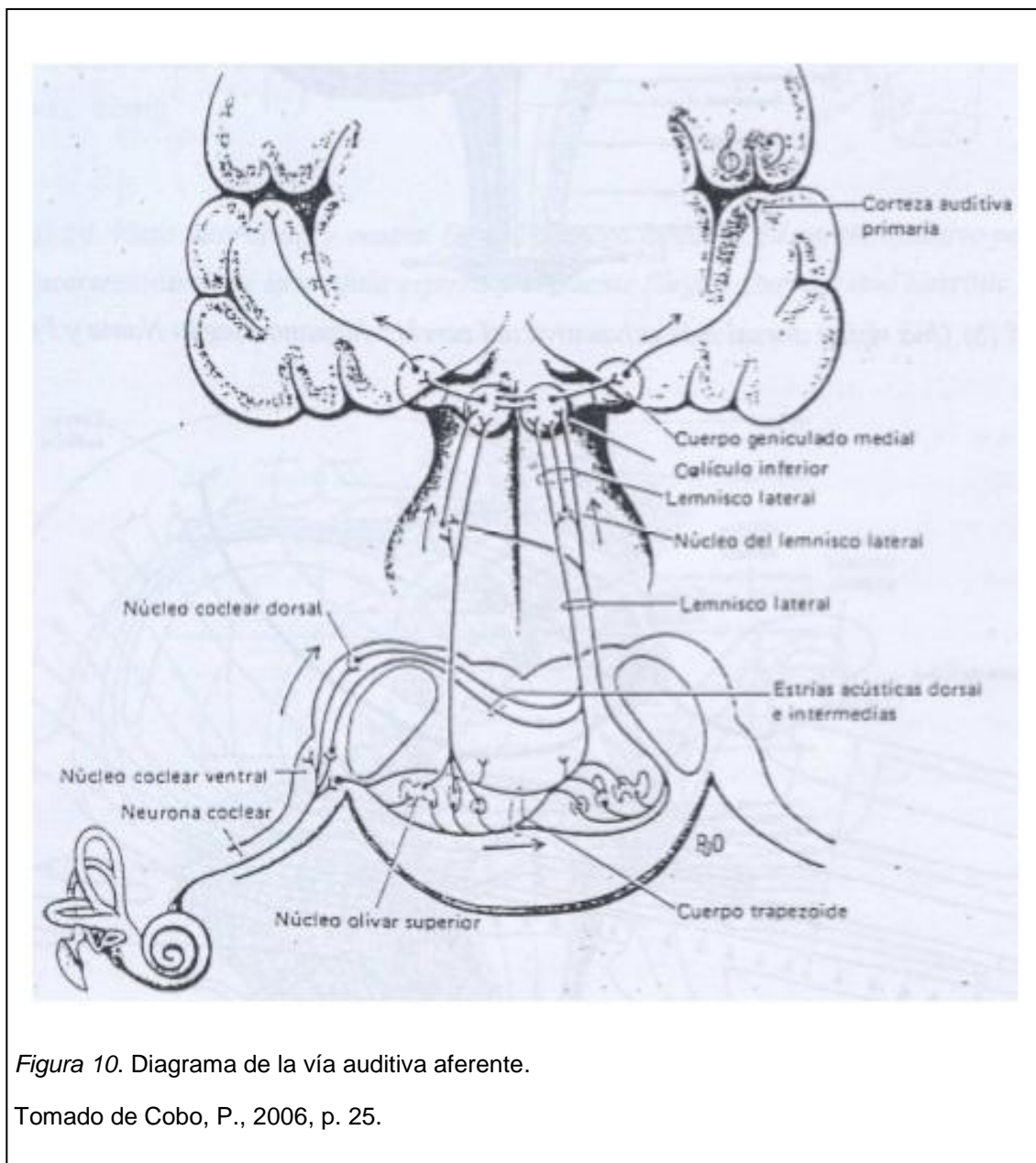


Figura 10. Diagrama de la vía auditiva aferente.

Tomado de Cobo, P., 2006, p. 25.

Se denominan neuronas aferentes a las que trasladan desde la periferia hasta el cerebro a los estímulos, y neuronas eferentes a las que conectan el sistema auditivo central con la periferia. También, hay las conexiones entre un oído y el hemisferio cerebral contrario que son denominadas contralaterales y también las conexiones entre un oído y el hemisferio del mismo lado que se denominan ipsilaterales.

La vía eferente se encuentra conectada a una ruta de suministración de los estímulos aferentes, contribuyendo en la inhibición y eliminación del ruido. Los

estímulos inhibitorios son trasladados por la vía descendente hasta las células pilares del órgano de Corti, esto compone una muestra de control y ordenación del sistema nervioso central hacia el sistema periférico. (Noback y Demarest, 1980)

### 2.1.2. El sistema auditivo central

Al finalizar el recorrido de la vía auditiva, este tiene encuentro con el córtex auditivo primario, se ha encontrado áreas en el córtex y el cerebelo las cuales se encuentran asociadas por neuronas de la vía auditiva, además de sistemas sensoriales los cuales también se hallan vinculados con la vía auditiva por lo que se discute en que procesos auditivos está involucrado

Una serie de experimentos, demostraron los procesos asociados al córtex auditivo.

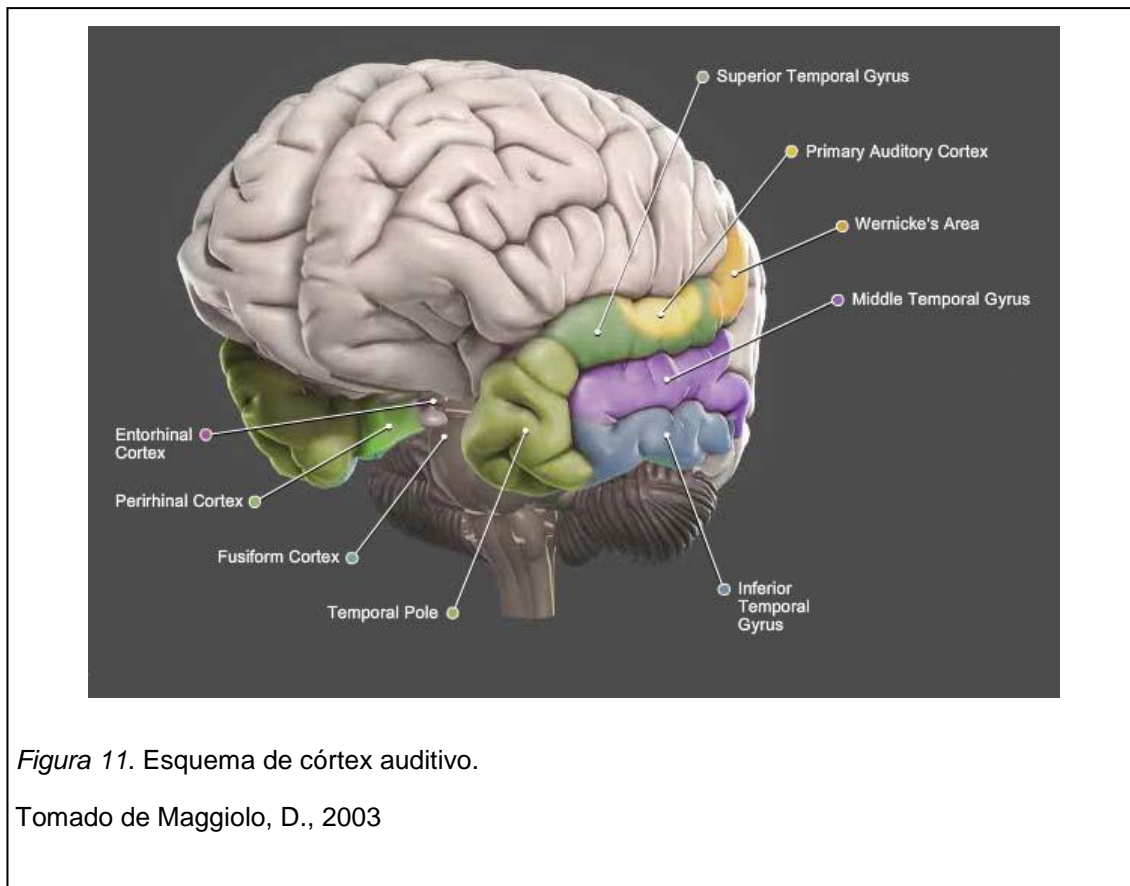
Tabla 2. Resultados de experimentos de sin intervención y con intervención del córtex.

Sin intervención del córtex	Con intervención del córtex
Reacción al período de iniciación de un sonido	Distinción de un patrón tonal.
Reacción a variaciones en la intensidad de un sonido.	Distinción de la duración de un pulso.
Reacción a variaciones en la frecuencia de un sonido.	Localización espacial de los sonidos.

Por lo que se afirma que el córtex auditivo efectúa su función en la etapa integradora e interpretativa del procesamiento de señales, es decir mientras



haya una mayor cantidad de información en el sonido escuchado como timbre volumen, distancia, más involucrado se verá el córtex auditivo.



Vale recalcar que el córtex auditivo también esté organizado como la organización tonotópica de la membrana basilar, es decir, que se mantiene en menor o mayor grado, a través de la vía auditiva.

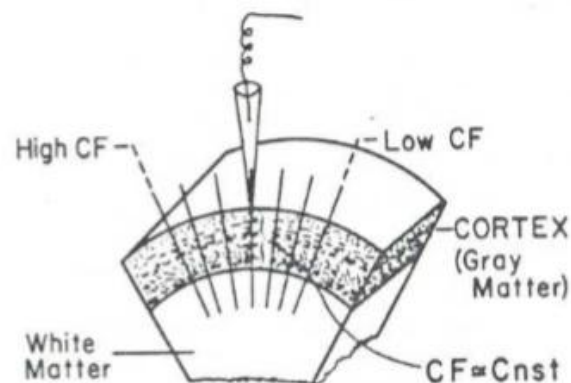


Figura 12. Diagrama de la distribución columnar en el cerebro.

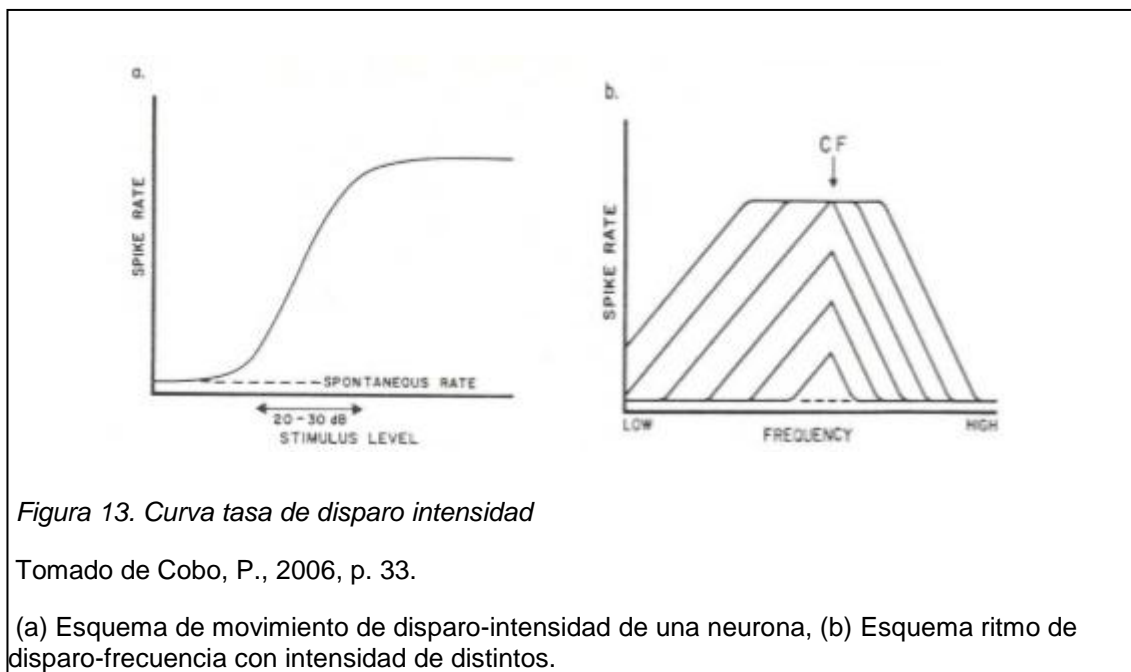
Tomado de Cobo, P., 2006, p.31.

Cuando las neuronas toman camino ascendente en la vía auditiva se puede observar una mayor selectividad en su respuesta a características de los estímulos. La organización neuronal en su recorrido a la vía auditiva realiza procesos en etapas intermedias, como lo es la codificación de la intensidad, frecuencia y la información binaural. La codificación de la frecuencia se expone en dos hipótesis: una temporal y otra espacial. La espacial conserva la organización tonotópica de la vía de audición, pero solo en las neuronas de primer orden, encontrándose en el perímetro y manteniéndose a lo largo del trayecto. La teoría conocida como de oleadas, basada en la teoría de Rutherford, muestra que la codificación temporal codifica el ritmo de disparos neuronales, producido por varias agrupaciones de neuronas formando abultamiento, o sea que si una agrupación de neuronas se encuentra en el periodo refractario, otra agrupación inicia una descarga nueva. Dicho esto, con una decena de grupos de neuronas teniendo un límite de 2.000 Hz, se cubriría el margen auditivo llegando hasta los 20.000 Hz. Esta propuesta indica también que la descarga neuronal parece que no se encuentra ligada a un momento transitorio en el transcurso de un período entregada la onda del impulso, más bien es un reparto de descargas que depende del periodo del tipo de onda en

espacios pertenecientes a la mitad de un ciclo, los ciclos positivos serán excitatorios y los ciclos negativos inhibitorios.

Wever (Durrant y Lovrinic, 1977) combinó la teoría espacial y temporal concluyendo en que la codificación es temporal para frecuencias menores a 400 Hz, basándose en que el reconocimiento en el gráfico de respuesta de la membrana basilar es considerablemente menor que la respuesta neuronal unitaria, manteniendo que si las frecuencias son mayores a 5.000 Hz, su codificación se realizará de manera tonotópica dejando a las frecuencias intermedias afectadas por ambas teorías.

La tasa de disparo de las cargas neuronales se codifica a intensidad de un estímulo, conservando un rango efectivo de 20-30 dB en la curva tasa de disparo vs la intensidad. Cuando se tiene una intensidad baja se estimulan neuronas cercanas a la frecuencia característica, al hallarse un incremento en la intensidad, neuronas cercanas a la frecuencia característica reaccionan entrando en incremento la densidad de descargas y por consiguiente la mejora en la audición de la persona.



Un segmento de la codificación de la intensidad es causado por la repartición entre las células ciliadas externas y las células ciliadas internas, ayudando para la codificación de la intensidad en la periferia, estableciendo diferencias en frecuencia e intensidad de los distintos estímulos, además nos señala la relación existente entre la sonoridad percibida y nivel de intensidad sonora.

La sistematización binaural tiene que ver con el procesado neuronal de la información originada en los dos oídos, siendo en el complejo olivar superior el primer lugar en el que se entrelazan las trayectorias contralaterales, que son las trayectorias donde se produce el cruce de los axones descendentes al lado opuesto; y las trayectorias ipsilaterales, las cuales se encuentran en el núcleo cerebral del mismo lado, encontrándose ahí la mayoría del proceso perteneciente a la información binaural. La ubicación binaural hace uso de las diferencias de intensidad y cambios temporales de los disparos de las señales receptados por los oídos. Existen distintos elementos que aportan a la codificación como son las neuronas mencionadas respondiendo a estas diferencias temporales e intensidad en los estímulos contralaterales, ipsilaterales y bilaterales, unas neuronas son excitadas por los estímulos y otras son inhibidas, siendo la excitación e inhibición procesos respectivos de la codificación binaural.

#### **2.1.2.1. Enlaces con el sistema límbico y sistema autónomo.**

El sistema límbico se compone del hipocampo, la amígdala, el hipotálamo, el fornix, la fimbria, el córtex cingulado y los cuerpos mamilarios, todos estos componentes son las disposiciones del cerebro. Este sistema interviene en los cambios emocionales de humor, en el recuerdo y en el almacenamiento de la memoria, este se encarga de igual manera del sistema autónomo, participando en el control del funcionamiento de las glándulas, funciones del sistema digestivo, sistema respiratorio, sistema urogenital y sistema circulatorio. El sistema nervioso autónomo se constituye de dos componentes: la simpática y la parasimpática. La siguiente tabla muestra las diferentes funciones que cumplen los componentes.

Tabla 3. Componentes de sistema nervioso autónomo.

Simpática	Parasimpática
Impulsa el corazón	Organismo preparado para la alimentación, digestión y descanso
Bronquios dilatados	
Sistema digestivo inhibido	
Contrae las arterias	
Prepara al organismo para la actividad física	

Extrañezas causadas en ambos sistemas ocasiona estrés, ansiedad, insomnio entre otras, estos síntomas suelen padecer personas con problemas auditivos sea hipoacusia o de acúfenos.

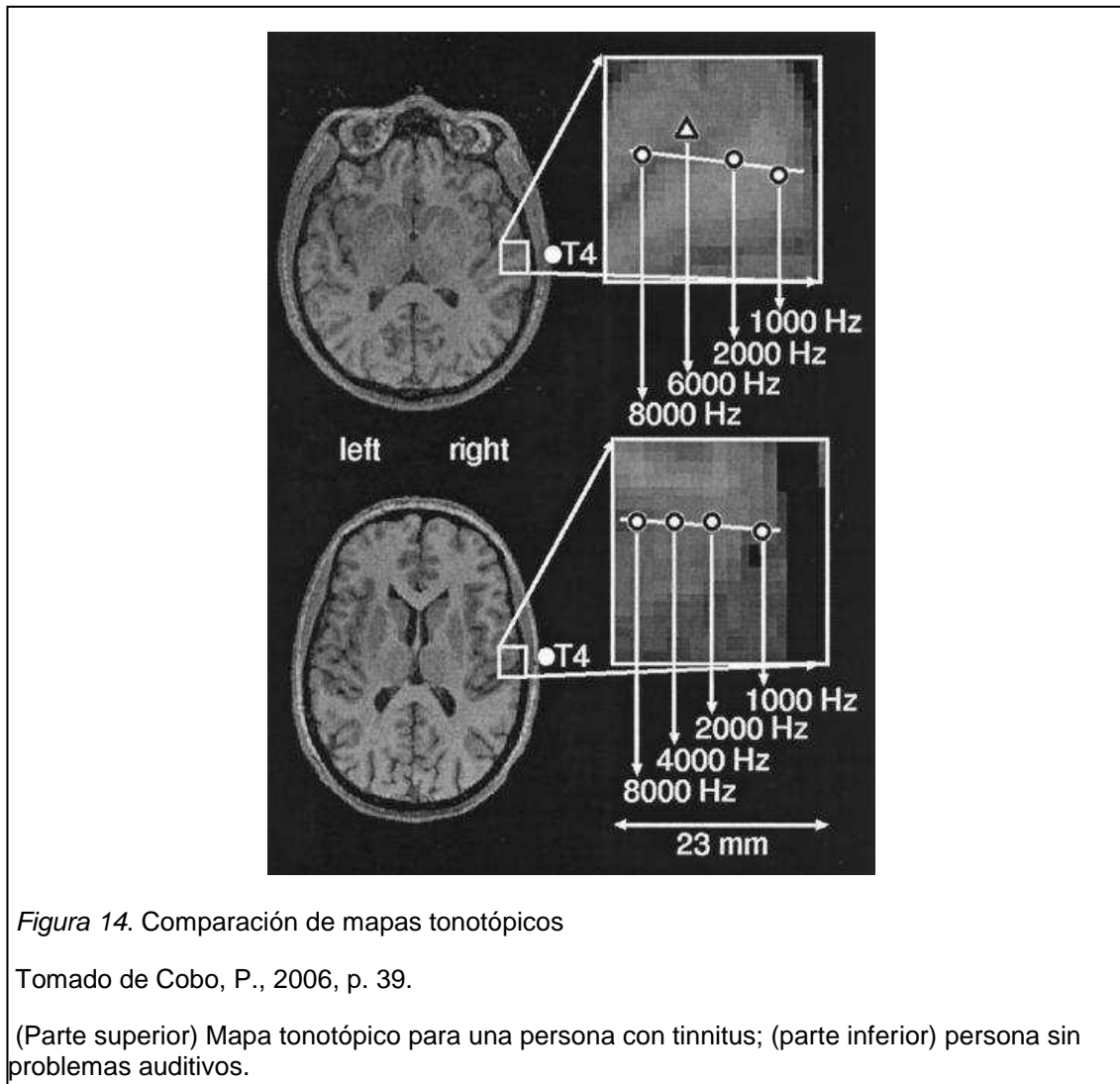
La percepción auditiva se organiza por medio del cerebro a través de un espectro continuo, variando desde una apreciación en plano primario, de precedencia superior, hasta una apreciación en plano secundario, de precedencia inferior (Kaltenbach, 2006). Un calor ejemplo es el tinnitus, ya que unas veces predomina y la atención se desvía hacia el zumbido u otras veces se encuentra a la periferia de nuestra atención.

## 2.2. Plasticidad y tinnitus

Existe una certidumbre anatómica de las alteraciones de las funciones que suceden en la corteza cerebral y dentro de las vías de audición centrales tanto de personas como de animales debido a una consecuencia de afecciones en el sistema de audición periférico (Neuman, 2005). El gráfico 14 indica un mapa de frecuencias (tonotópico) de una persona que tiene tinnitus comparada con la de un ser humano sin este padecimiento. Como se observa, existe un perceptible alejamiento de la función cortical del rango de frecuencias del tinnitus en el sitio lindante con la ubicación tonotópica supuesta (Mühlnickel et al., 1998). Se conoce como plasticidad a la suficiencia de modificación del sistema sensorial.

Kaltenbach et al., (2005) mencionan algunas clases de plasticidad vinculados al tinnitus.

- Plasticidad provocada debida a un daño: Son las modificaciones causadas por daños traumáticos de la entrada normal al sistema de audición.
- Plasticidad temporal: Trata de cambios cuando se escucha el tinnitus sin causa externa alguna. Las alteraciones rápidas y lentas en la sonoridad del tinnitus, y los desplazamientos de la ubicación del acúfeno o del timbre son algunos de los ejemplos. Estas alteraciones parecen suceder naturalmente, no obstante es probable que sean disparadas por modificaciones en el cerebro (estado interno), o también por intervención de otros tipos de plasticidades.
- Plasticidad que depende de algún estímulo: Modificaciones en el tinnitus las cuales acompañan a un estímulo acústico, y que son claras cuando el acúfeno desaparece. Un ejemplo de esta clase de plasticidad es la habituación.
- Plasticidad moduladora: Se refiere las transformaciones cuando se siente el tinnitus que deriva de la acción de diferentes medios que no corresponden a la audición.



Las afecciones, como por ejemplo, las provocadas debido a un trauma sonoro, infecciones en el sistema auditivo, ototoxicidad, mal de Meniere, o algún daño severo de la cabeza, producen tinnitus. Estas afecciones provocan una incapacidad del sistema de audición central. Es decir que una entrada sin problemas al cerebro se ha reducido o ha sido modificada de manera elemental. La reducción simboliza un potencial disparador de modificaciones plásticas en la irritabilidad neural en el sistema, más precisamente en los niveles centrales. Esta de-aferenciación neural es capaz de ser completamente práctica, implicando exclusivamente disminuciones de la actividad causada debido al impulso, en casos también se presenta de forma anatómica, implicando pérdidas de cilios o disminuciones en la cantidad de fibras sobrevivientes del nervio estatoacústico.

Comúnmente se vincula el tinnitus a la pérdida de audición. Aquí, la gravedad del tinnitus aumenta usualmente con el grado de pérdidas de audición (Kaltenbach et al., 2005). El sistema central auditivo queda privado de una entrada normal debido a las pérdidas auditivas, esto representa un disparador potencial de reajustes plásticos en la excitabilidad neural produciendo el tinnitus. No todas las personas con hipoacusia padecen de tinnitus. El porcentaje de presencia en personas con hipoacusia neurosensorial (desde 10 % hasta 79 %) supera a pacientes con pérdida auditiva de carácter conductivo (<50 %). También se aprecia que en el primer caso el nivel del tinnitus (> 3 kHz) supera al segundo caso (< 1 kHz). Entonces, la función de la pérdida auditiva sensorineural como incitador de un tinnitus es compleja y puede necesitar una aportación de diferentes componentes, entre ellas las afecciones que sufren las células ciliadas. El gráfico 15 indica un reajuste que soporta el mapa tonotópico perteneciente a un felino posterior a una pérdida de audición causada por un daño auditivo. Posterior al daño auditivo, la organización tonotópica del cortex se modifica, así las neuronas corticales con la frecuencia característica dentro de la zona de frecuencias de las pérdidas auditivas no actúan acorde a su sitio dentro del mapa tonotópico, ahora muestran la conexión de frecuencias de todas las células cercanas sin afección (Eggermont y Roberts, 2004).

Se cree que el tinnitus ligado al desgaste en el funcionamiento de las células ciliadas externas sea causado por el aumento en el trabajo de las neuronas auditivas centrales, originado por la disminución y pérdida de la entrada aferente principal del tipo II. Una distinta posibilidad vincula un aumento en la actividad correspondiente a las neuronas centrales de la audición con el efecto que las células ciliadas externas afectadas pueden atribuirse la sensibilidad de las células ciliadas internas. Esta disminución de sensibilidad de las células ciliadas internas causa un decaimiento de la capacidad de excitación de las aferentes del tipo I, esto establece la de-aferenciación del funcionamiento en el sistema de audición central; la de-aferenciación funcional sería un componente que puede incitar modificaciones en el equilibrio entre la entrada inhibitoria y la entrada excitatoria a las neuronas cerebrales (Kaltenbach et al., 2005).



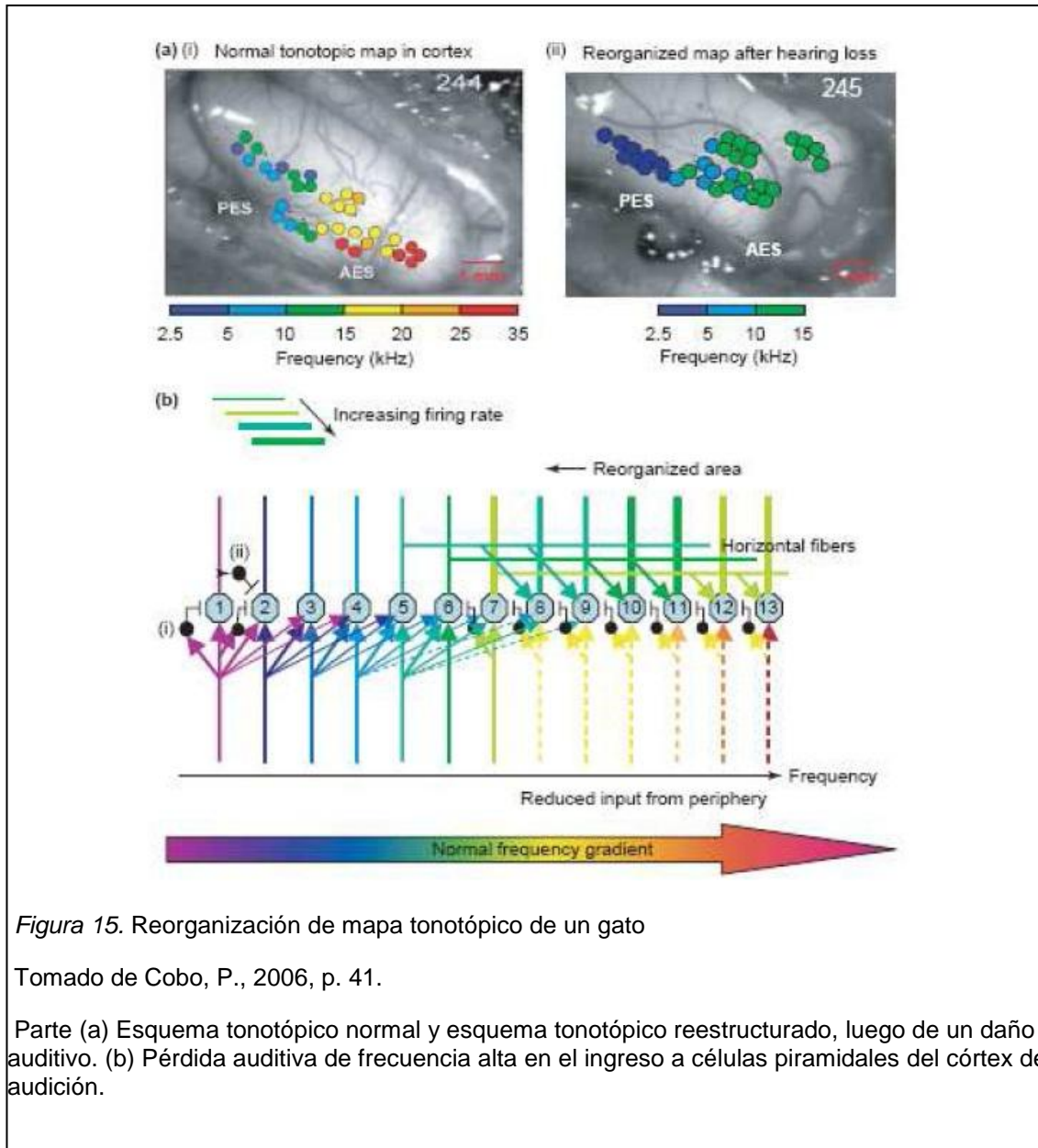


Figura 15. Reorganización de mapa tonotópico de un gato

Tomado de Cobo, P., 2006, p. 41.

Parte (a) Esquema tonotópico normal y esquema tonotópico reestructurado, luego de un daño auditivo. (b) Pérdida auditiva de frecuencia alta en el ingreso a células piramidales del córtex de audición.

El tinnitus que se asocia con la compresión microvascular propone el vínculo en medio de las afecciones del nervio auditivo y los acúfenos. Un 40% de las personas con tinnitus a las cuales se les sosegó el octavo nervio obtuvieron un alivio (Cobo, 2006). Esta proporción fue superior en personas que padecen de tinnitus con un tiempo menor que tres años que en los que tenían acúfenos con un tiempo superior a cinco años. Las personas con neuromas acústicos que han tenido problemas en el sector del nervio auditivo padecen de tinnitus (Kaltenbach et al., 2005).

La reactivación del nervio acústico debido a mucha excitación acústica lleva a mucha descarga de glutamato, lo que deriva en una reacción excitotóxica perteneciente a las neuronas de audición. Si la sobre estimulación no se presenta de forma severa, la afección excitotóxica se puede revertir, implicando solamente decadencias pasajeras o contracciones que pertenecen a las dendritas circundantes aferentes principales; por lo general, las fibras se reenlazan con los cilios. No obstante, en el momento que la sobre estimulación se esparce más, provoca daños más severos. Estos cambios conllevan a la de-aferenciación periférica, descargando variaciones en el sistema central de audición.

Según Kaltenbach et al., (2005), los cuatro mecanismos descritos, que se muestran en la figura, provocan modificaciones plásticas a largo plazo que provocan una sobreactividad del núcleo coclear dorsal, produciendo acúfenos.

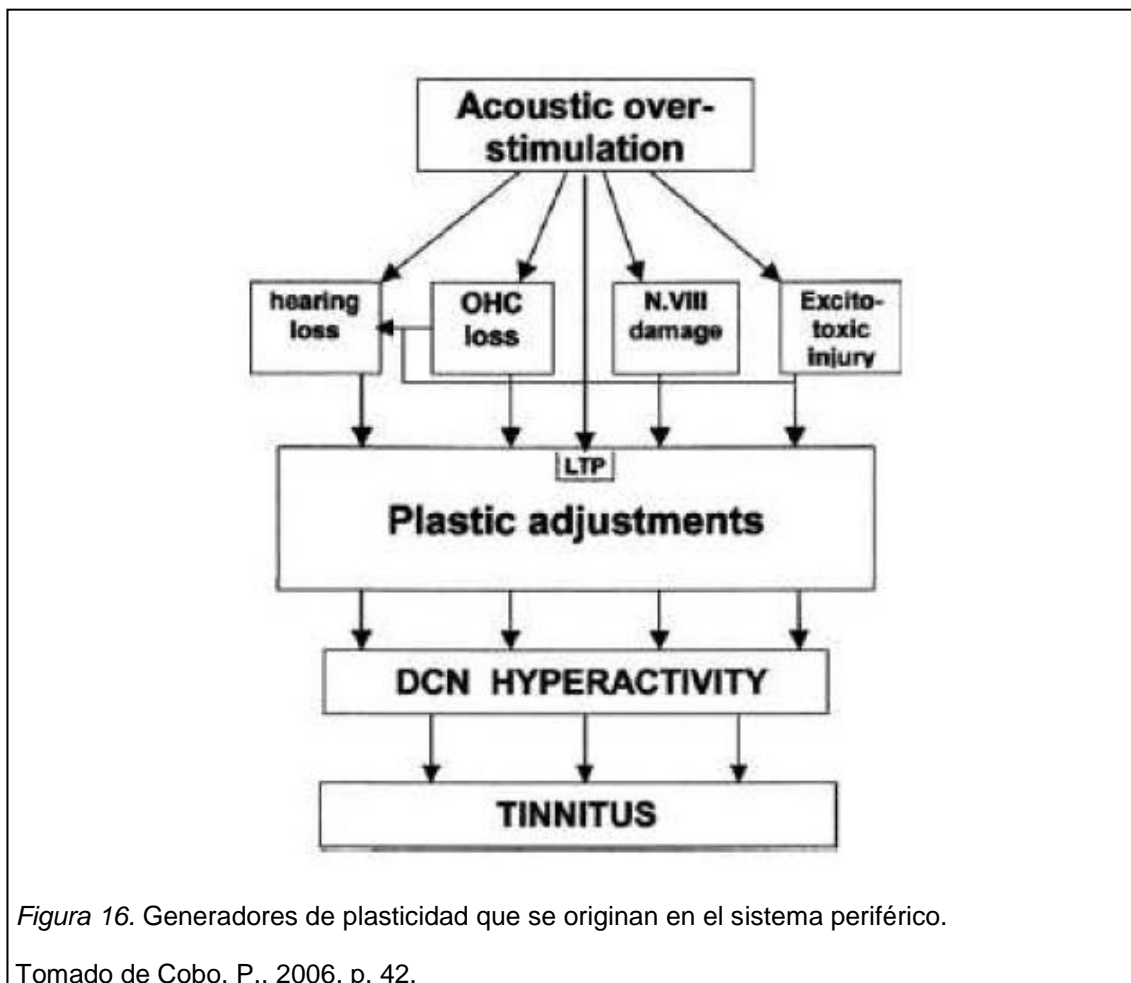


Figura 16. Generadores de plasticidad que se originan en el sistema periférico.

Tomado de Cobo, P., 2006, p. 42.

La reorganización cortical provocada por el tinnitus puede ser revertida por medio de estimulación acústica adecuada. Este es el fundamento de las terapias sonoras del tinnitus. La reorganización cortical provocada por la estimulación sonora fue retribuida por Recanzone et al, (1993). El siguiente gráfico presenta las funciones corticales del rango frecuencial propias al córtex de audición principal perteneciente a cuatro simios: el primero en normalidad, los demás estimulados con prototipos acústicos oddball (estímulos acústicos que se componen de pulsos desviantes y estándar mostrados de forma aleatoria) de 2500 Hz y 5000 Hz. Como se puede apreciar, la representación cortical del rango de frecuencias utilizadas en los trabajos de ensayo (punto B y punto D) se acrecentaban comparándolos con las agrupaciones de dominio (punto A y punto C).

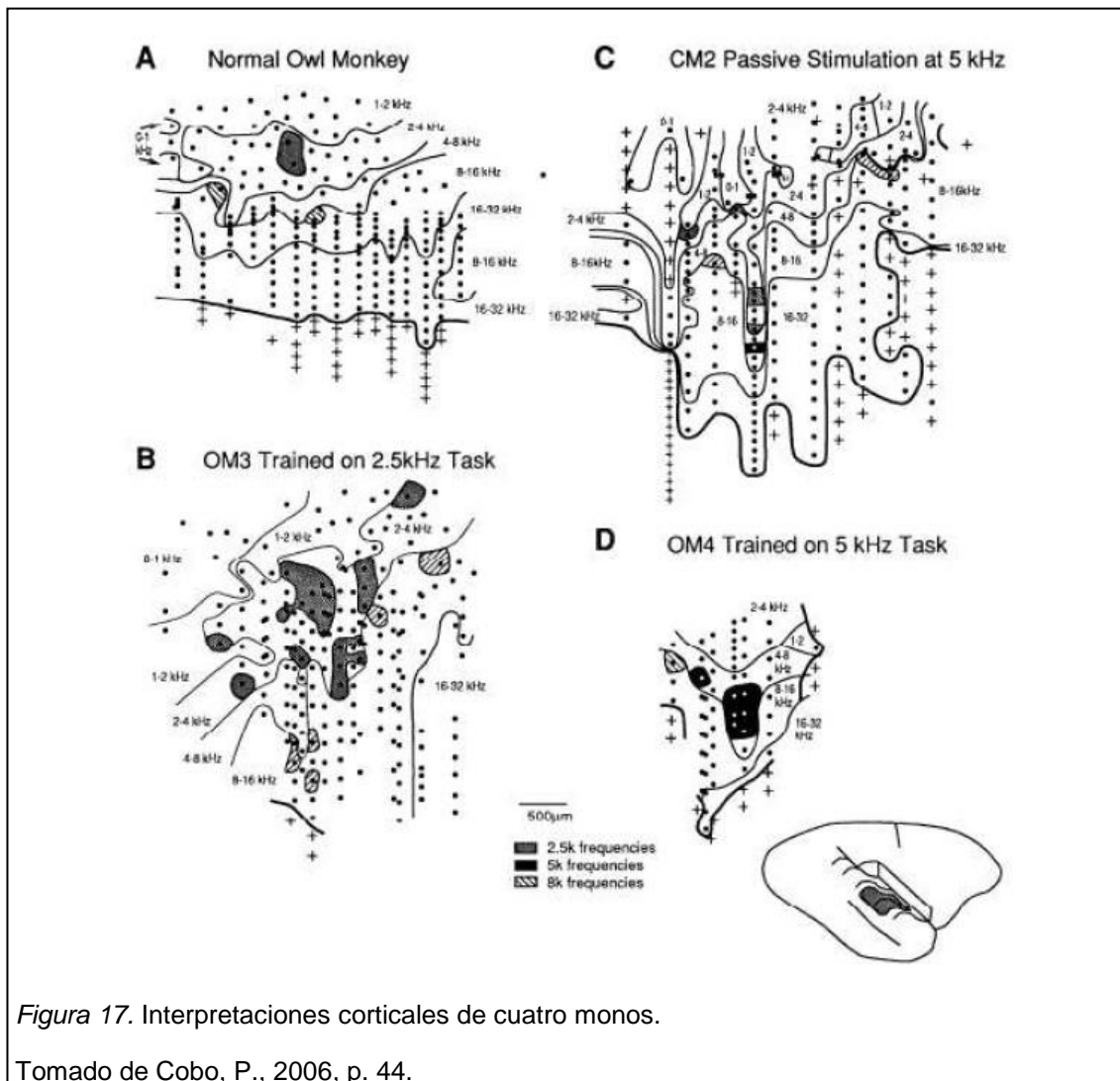


Figura 17. Interpretaciones corticales de cuatro monos.

Tomado de Cobo, P., 2006, p. 44.

Las siguientes figuras exponen pruebas del reordenamiento cortical posterior a una excitación acústica en roedores y felinos, correspondientemente.

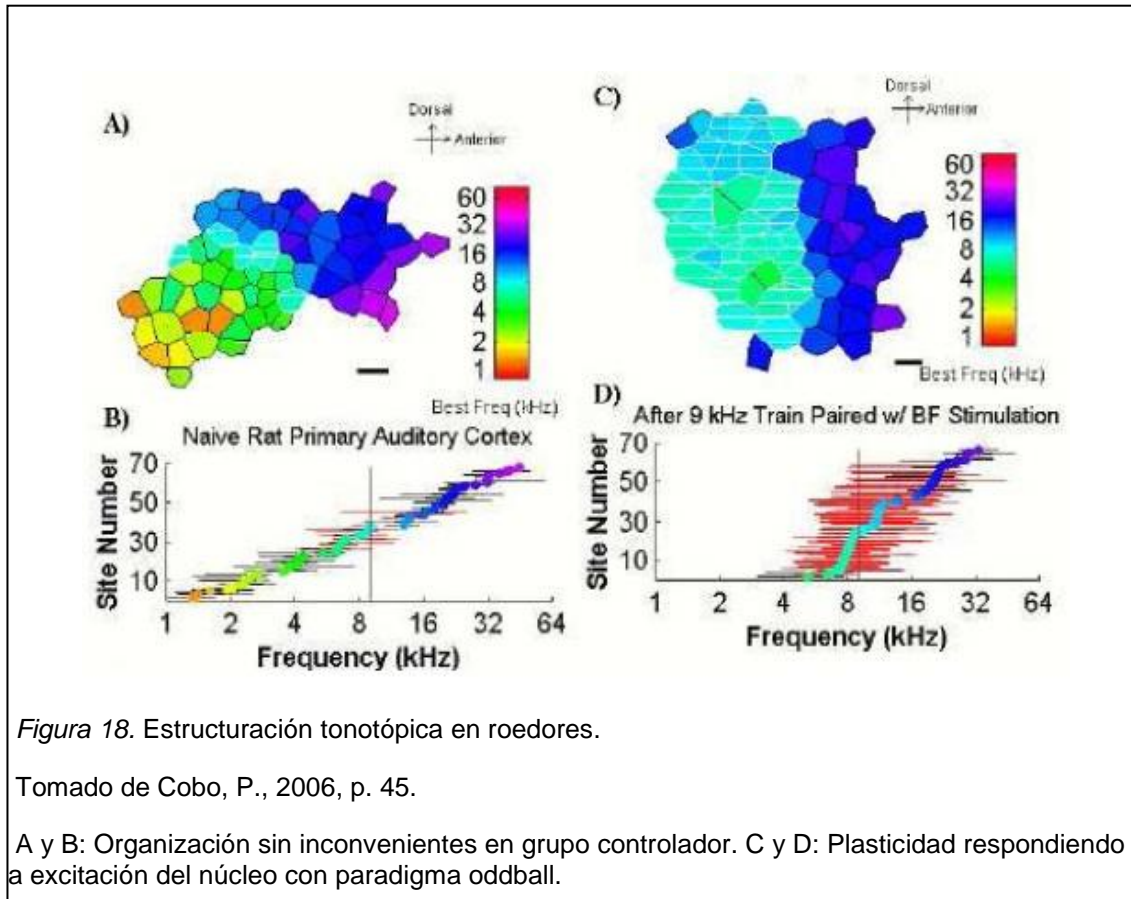


Figura 18. Estructuración tonotópica en roedores.

Tomado de Cobo, P., 2006, p. 45.

A y B: Organización sin inconvenientes en grupo controlador. C y D: Plasticidad respondiendo a excitación del núcleo con paradigma oddball.

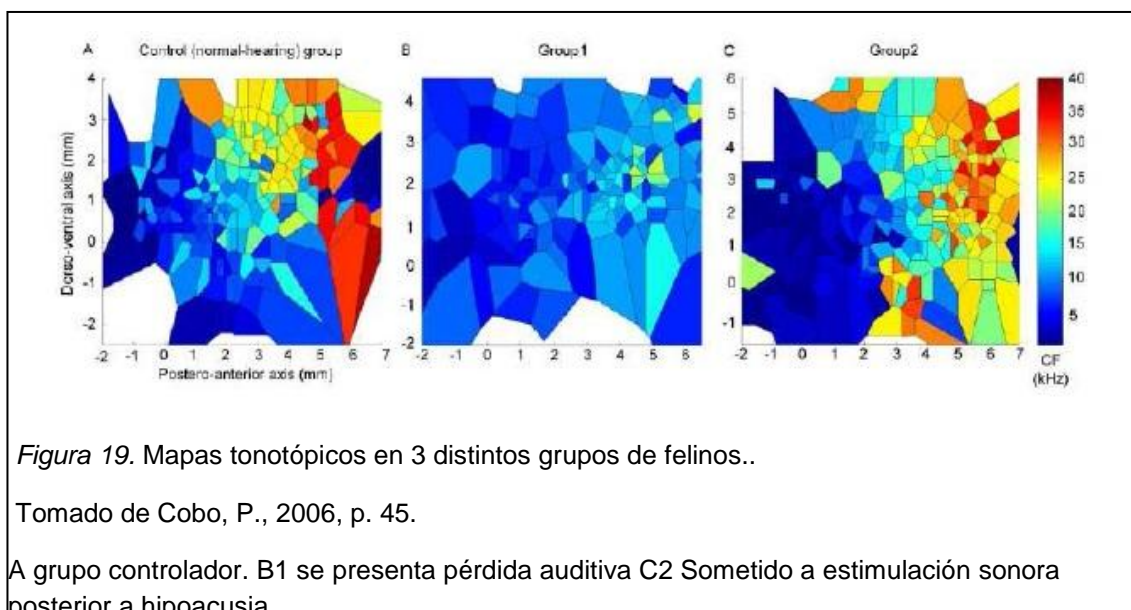


Figura 19. Mapas tonotópicos en 3 distintos grupos de felinos..

Tomado de Cobo, P., 2006, p. 45.

A grupo controlador. B1 se presenta pérdida auditiva C2 Sometido a estimulación sonora posterior a hipoacusia

### **2.3. Terapias sonoras de acúfenos**

El propósito de los tratamientos acústicos es crear en las personas tratadas modificaciones plásticas para causar inhibición residual o habituación. La habituación interviene más en el sistema límbico y el sistema autónomo, de tal manera que, pese a que el paciente siente el tinnitus, puede coexistir con este, suprimiendo los vínculos que incurren perjudicialmente en la condición de vivir. Se conoce como inhibición residual a la reducción, o eliminación, del efecto del tinnitus apenas decae el estímulo. Esta inhibición puede durar desde pocos segundos hasta varias horas. No se comprende adecuadamente la vinculación de esta inhibición con los factores del impulso, como duración, intensidad y espectro. Es por esta razón que hoy en día existen varias terapias sonoras que se detallan a continuación.

#### **2.3.1. Enmascaramiento acústico.**

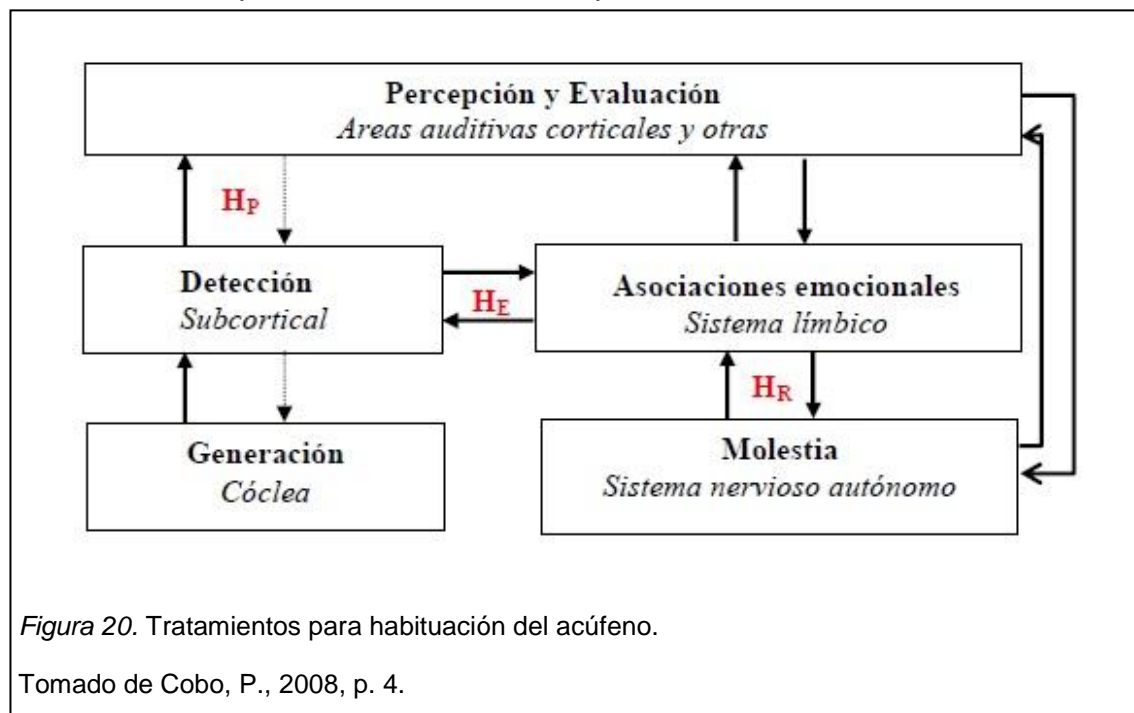
El empleo de esta terapia para calmar esta afección viene desde la década de los 70 en la Universidad de Oregon (Lenhardt, 2004). La idea de Vernon fue incorporar circuitos que generen ruido de banda ancha en audífonos, esto resultó en un enmascarador para comercializar. Luego aparecieron dispositivos compuestos en los que se puede ajustar el rango de frecuencias perteneciente al tinnitus de la persona, y también el cambio de fase.

El propósito es que trata de eliminar la percepción del acúfeno con la ayuda de otro estímulo acústico. Específicamente, el enmascarador debe tener una capacidad frecuencial semejante al del tinnitus para conservar su intensidad baja. El oído interno se fracciona en filtros específicos. Si el estímulo sonoro que enmascara y el sonido a ser tratado se encuentran en el mismo sector de la banda frecuencial, el nivel del sonido que enmascara se mantiene limitadamente bajo. La suficiencia para filtrar de la membrana basilar puede ampliarse si un sonido suministrado desde el exterior se ubica en el mismo sector crítico en donde se encuentra el tinnitus. Para obtener la curva de sintonización del tinnitus se hace un barrido en la frecuencia del sonido que enmascara.

Desafortunadamente, se presenta una diferencia entre la curva de sintonización y la aplicación para enmascarar al tinnitus. Se ha comprobado que el acúfeno no puede ser enmascarado al igual que otros sonidos; realmente, se debe utilizar un rango de frecuencias completo (Cobo, 2008). Las curvas de rango ancho indican que el tinnitus se procesa de manera especial y no como un tono puro. Como se ha mencionado, el tinnitus y el sonido que enmascara actúan sobre el sistema de audición central.

### 2.3.2. Terapia de reentrenamiento (TRT)

Esta terapia se basa en el modelo neurofisiológico de Jastreboff, (2000). Debido a que el tinnitus comprende enlaces en el sistema de audición junto al sistema límbico y el sistema autónomo, el siguiente gráfico indica un diagrama de donde vale aplicar estos tratamientos para su habituación.



Los objetivos primordiales de la habituación son: habituarse a la percepción y acostumbrarse con estímulos de los sistemas autónomo y límbico.

Se puede lograr la habituación con varios tratamientos: como el tratamiento médico y psicológico, prescripciones médicas y hasta hipnosis. No obstante, la terapia de habituación más sencilla trata de combinar la terapia con estímulos sonoros y el consejo médico, este último interviene reduciendo la cantidad de

activación de las partes corticales de la zona cerebral al sistema autónomo y al sistema límbico. Esto solicita aceptar las siguientes condiciones por parte del paciente:

- Cuando hay una retribución del sistema de audición se produce una apreciación del acúfeno
- El acúfeno es un inconveniente que se debe a la estimulación del sistema autónomo y sistema límbico.
- Se puede habituar a la percepción y reacción del tinnitus siempre y cuando se aplique la plasticidad del sistema nervioso (Jastreboff y Jastreboff, 2000).

Hay que tomar en cuenta que algunas reacciones que se producen por el tinnitus se rigen por el reflejo condicionado, requiriendo un largo tiempo para desaparecer gradualmente.

El tratamiento con estímulos sonoros da una asistencia importante en la habituación, reduciendo el nivel del movimiento neuronal que se induce a causa del tinnitus en el sistema de audición, y la que vincula a los sistemas autónomo y límbico. Particularmente el tratamiento con estímulos sonoros da al sistema de audición un estímulo de baja intensidad para:

- Hacer una mejor compatibilidad entre las actividades: neural del tinnitus y la neural de fondo.
- Tratar de impedir la señal del tinnitus.
- Minimizar el daño provocado por el tinnitus en la vía auditiva. (Jastreboff y Jastreboff, 2000).

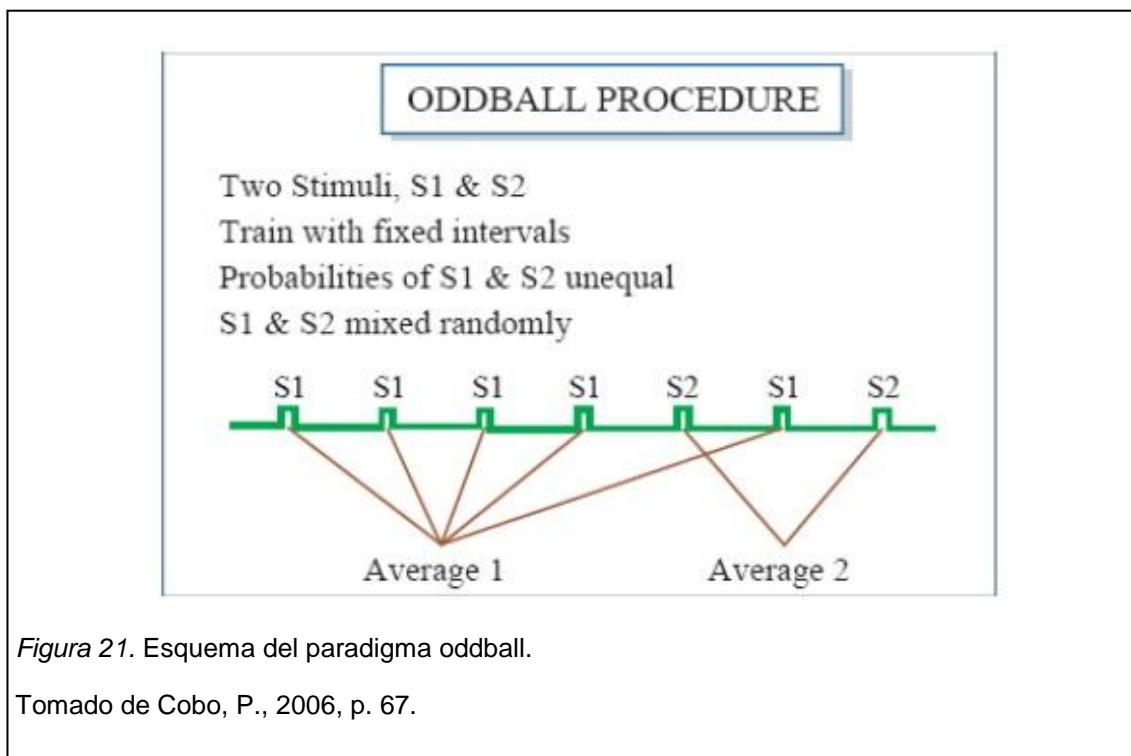
Los sentidos del ser humano trabajan con la diferencia entre la señal y su fondo es decir, por el principio de gradiente. La misma sensación sonora se percibe con más presencia con la inexistencia de otras fuentes sonoras, como por ejemplo en la noche. Por lo tanto, como no hay como minimizar la actividad neural del tinnitus, se opta por aumentar la actividad neural del ruido de fondo,

poniendo a la persona en tratamiento a estímulos de baja intensidad, para así facilitar la habituación.

Para incrementar el ruido de fondo se pueden utilizar fuentes generadoras de sonidos o audífonos con diseños especiales. Así el enmascaramiento resulta contradictorio porque para que la persona se acostumbre al tinnitus, debe escucharlo. Es por esto que este tratamiento no causa residual ni habituación. Cuando el sonido enmascarador deja de sonar, la persona vuelve a escuchar su tinnitus.

### 2.3.3. Terapia de discriminación auditiva (ADT)

Esta terapia necesita que el paciente se mantenga pendiente del estímulo, y la exclusión de alguna de sus características. Casi todas las publicaciones sobre la terapia de discriminación auditiva utilizan paradigmas oddball como estímulos (Muhlnickel et al., 1998) y (Flor et al., 2004). Como se muestra en la figura 21, los paradigmas oddball se basan en estímulos acústicos que tienen pulsos estándar y desviantes mostrados aleatoriamente. La persona tratada debe anotar de qué tipo de pulso se aplica: desviante o estándar.





Según Muhlnickel et al., (1998) utilizaban progresiones de doscientas pulsaciones y una duración de quinientos milisegundos con 70 dB de NPS con transcurso de interlatencia de 2s, mostrados aleatoriamente a los oídos de la persona tratada. Los valores frecuenciales de las pulsaciones eran de 1000, 2000, 4000 y 8000 Hz. Ese tono desviante se adaptaba a la frecuencia media del tinnitus (4500 Hz).

Se puede encontrar más detalladamente una aplicación de paradigma oddball en los trabajos de Weisz et al., (2004). Los estímulos duraban 70 milisegundos, de estos un 85% eran estándar y, con un 5% de probabilidad se presentaban estímulos desviantes.

#### **2.3.4. Terapia de alta frecuencia (UltraQuiet)**

En casi todos los pacientes las pérdidas auditivas se encuentran en las altas frecuencias. Por eso Schaette y Kempster, (2006) dicen que un tratamiento óptimo en contra del acúfeno consiste en estimular el sistema de audición usando estímulos ajustados a los resultados de una audiometría de un paciente, es decir, a la curva de pérdidas. La producción de estos sonidos con equipos comunes presenta dos problemas:

- Se emplean altavoces diminutos, y estos no responden adecuadamente en alta frecuencia.
- El mismo sistema de audición periférico hace un filtro para las altas frecuencias.

El sistema UltraQuiet es un transductor que puede solucionar estos dos problemas, es un sistema propuesto por Lenhardt, (2004). Su respuesta en frecuencia es de 6 a 20 kHz. Se basa en un bimorfo de cerámicas PZT.



Figura 22. Foto de equipo UltraQuiet.

Tomado de Cobo, P., 2006, p. 91.

Además, el sistema auditivo externo no es estimulado por el equipo, más bien se fija en el mastoide como los dispositivos utilizados en audiometrías óseas. Los archivos sonoros reproducidos por este equipo son audios registrados en un disco compacto que estimulan el sector cortical auditivo.

### 2.3.5. Tinnitus Tester

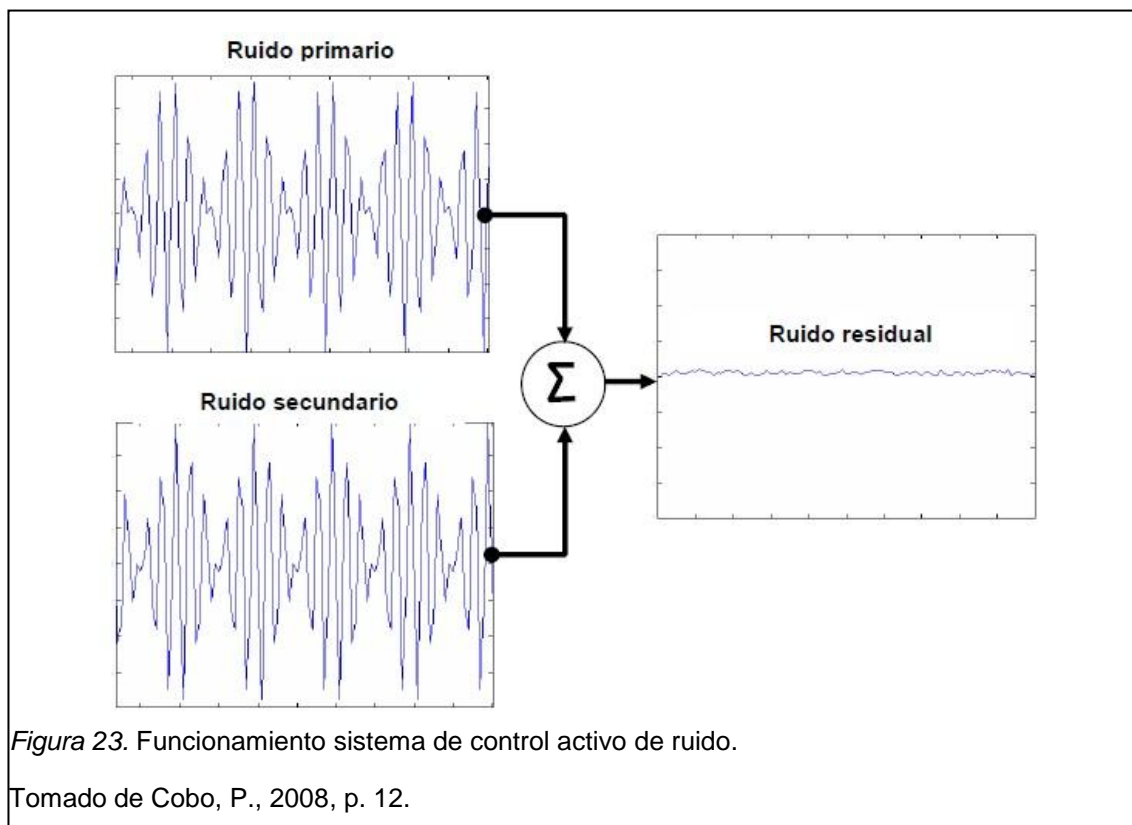
Es un instrumento virtual creado por Roberts et al., (2005) que posibilita determinar el espectro del tinnitus utilizando estímulos de banda corta con frecuencias centrales hasta 20000 Hz. Mediante la estimulación acústica del sistema auditivo se puede lograr también la inhibición residual que es el fenómeno de anulación temporal del acúfeno que se presenta inmediatamente luego de aplicar el estímulo sonoro que fue aplicado previamente para enmascararlo. Esta inhibición residual sucede si los estímulos acústicos que se presentan a niveles sobre el umbral auditivo, producen rápidamente la actividad que subyace en el efecto del tinnitus.

Este instrumento virtual tiene los siguientes componentes:

- Tinnitus Tester.
- Software de familiarización.
- Ensayador de inhibición residual.

### 2.3.6. Terapia por cambio de fase

Es una idea patentada por Choy (2004, 2007); se basa en la teoría del control activo del ruido. Se provoca el cruce destructivo entre un ruido principal y otro complementario en contrafase (Cobo, 1997). Si una señal es sumada (ruido principal) a su igual forma pero con signo contrario (anti ruido), la señal sobrante estará muy disminuida. Esta teoría ha sido usada en sistemas convencionales, como protectores activos de audición. La siguiente figura muestra el modo de funcionamiento del sistema de control activo de ruido.



### 2.3.7. Terapia sonora secuencial

Como el re-entrenamiento auditivo la terapia sonora secuencial hace uso del enmascaramiento de sonido con ruido blanco, manteniendo tanto el modelo neurofisiológico de Jastreboff y el consejo terapéutico. La aplicación se realiza de forma secuencial, en primer lugar se empieza intensificando el ruido blanco para que haya un enmascaramiento del acúfeno, consecuentemente se realiza un enmascaramiento al mismo nivel del acúfeno, y por último se emite el ruido

blanco con un nivel inferior al acúfeno percibido por el paciente. La terapia tiene una duración de seis horas diarias aplicando en lapso de dos horas durante la mañana, tarde y noche.

#### **2.4. Comparativa de las terapias auditivas**

Haciendo una comparativa entre las terapias más aplicadas actualmente siendo la terapia de re-entrenamiento auditivo y la terapia sonora secuencial las más comunes podemos hacer un análisis de sus similitudes y diferencia en comparación a las terapias EAE.

Tabla 4. Comparativa entre terapias para el tratamiento de acúfenos.

	<b>TRT</b>	<b>TSS</b>	<b>EAE</b>
<b>Objetivo</b>	Habitación y disminución del acúfeno.	Habitación y disminución del acúfeno tratando la eliminación	Habitación e inhibición del acúfeno.
<b>Consejo terapéutico</b>	Realizado por otorrinolaringólogo	Realizado por otorrinolaringólogo o audio protesista.	Realizado por médico especialista
<b>Tipo de Escucha Monoaural y Binaural</b>	Binaural	Monoaural y binaural	Binaural
<b>Duración</b>	No especifica un tiempo de enmascaramiento ya que su enfoque es en la habitación del acúfeno en un lapso estimado de 2 años. Con sesiones de 6 horas diarias.	6 horas diarias y se mantiene según la aparición de la misma en el paciente	Media hora diaria durante tres meses y se mantiene si el paciente lo desea
<b>Evaluación</b>	Cuestionario THI	Cuestionario THI	Cuestionario THI y TRQ

### **3. TERAPIA DE AMBIENTE ACÚSTICAMENTE ENRIQUECIDO (EAE)**

#### **3.1. Estado del arte**

Esta terapia (EAE: Enriched Acoustic Environment) conocida también como series de pulsos pip o burst, impulsan la vía de audición de forma personalizada y selectiva:

- La estimulación es personalizada, porque es diseñada basándose en la curva de pérdidas auditivas de cada persona en tratamiento.
- La estimulación es también selectiva, debido a que los tonos de la serie tienen una curva de respuesta frecuencial bastante semejante a las curvas de captación de las neuronas de la vía de audición.

Se ha probado que el EAE, es el que posee las propiedades más adecuadas para tratar el tinnitus, porque, como se mencionó previamente, la estimulación es personalizada y selectiva (Cobo, 2010). El EAE se basa en aplicar en la persona con acúfeno una serie de pulsos con frecuencia aleatoria, y con amplitud directamente proporcional a la pérdida auditiva perteneciente a las frecuencias correspondientes.

Noreña y Chery-Croze (2007) utilizaban series de tonos burst, para tratamiento acústico en la hiperacusia. Esta serie de tonos burst (EAE), es muy semejante a la de tonos pip usados en varios usos audiológicos por Eggermont (2006). Además, Korn (1969-1970) probó que los tonos pip son la transformada de Fourier inversa de las curvas de enmascaramiento.

Consiguientemente, Cobo et al. (2010) plantearon la utilización de los EAE como el estímulo acústico mejor aplicado para tratar el tinnitus. Herráiz et al., (2011) mostraron resultados médicos previos los cuales probaron que el tratamiento aplicando EAE curaba notablemente el tinnitus de varias personas.

#### **3.2. Tipos de Estímulos**

Estos estímulos se caracterizan porque su nivel de espectro se encuentra ecualizado por la curva de pérdidas de la persona en tratamiento. Por lo tanto, la terapia es personalizada. Se estudian tres clases de estímulos:

- Ruido Random, es un impulso estacionario y está adaptado a la curva de pérdidas
- Secuencia de pulsos burst.
- Secuencia de pulsos pip.

El ruido aleatorio con ecualización debido a la curva de pérdidas es un impulso estacionario.

### 3.2.1. Secuencia de tonos Burst:

Estos estímulos se basan en una serie de tonos puros de distinta frecuencia (intervalo de frecuencias de 1/64 de octava), con una amplitud ponderada en función del audiograma, de tal manera que todos los pulsos tonales tengan el mismo nivel sensorial (SL). La definición de los pulsos es según Noreña y Chery-Croze, (2007).

$$eae(f, t) = A(f) \cdot \sin(2\pi ft) \cdot env(t) \quad (\text{Ecuación 1})$$

donde  $A(f)$  es el factor de ponderación utilizado para la ecualización del nivel del pulso,  $env(t)$  es la envolvente (rampas de subida y caída lineales de 5ms),  $f$  es la frecuencia a la que está centrada el tono burst y  $t$  el tiempo al que está centrado el tono.

El factor de ponderación  $A(f)$  se obtiene como:

$$A(f) = 10^{\{[(AT(f) - Level\ min) - (Level\ max - Level\ min)]/20\}} \quad (\text{Ecuación 2})$$

donde  $AT(f)$  es el umbral absoluto (en dB NPS) como una función de la frecuencia,  $Level\ max$  pertenece a la máxima pérdida auditiva (menor que 75 dB SPL) y  $Level\ min$  es el umbral absoluto (en dB SPL) perteneciente a la baja frecuencia de corte de la pérdida auditiva en un paciente. Vale recalcar que cuando  $AT(f) = Level\ max$ ,  $A(f) = 1$ .

El ambiente acústicamente enriquecido se constituye de una secuencia de este tipo de tonos de 100ms de duración, con un intervalo entre estímulos de 100ms (+/- 10ms). Una secuencia completa contiene este tipo de pulsos tonales, de frecuencia aleatoria variable entre la frecuencia más baja de la curva de pérdidas y la frecuencia correspondiente al *Level max* en la Ecuación 2, con intervalos de 1/64 de octava, y amplitud ponderada según la curva de pérdidas. La tabla 4 indica la curva de pérdidas típica de un paciente. En este caso, en lugar de escoger de forma aleatoria la frecuencia entre las de un vector de valores de 1/16 de octava, como hace Noreña, se hará de entre un valor continuo entre las frecuencias inferior y superior de la curva de pérdidas. Para esto, se utiliza la función *spline* de Matlab para convertir los valores discretos en valores continuos. La figura 24 muestra la curva ajustada con los valores discretos superpuestos. La figura 25 indica la secuencia de tonos burst obtenida para este caso.

Tabla 5. Curva de pérdidas utilizada en el diseño de la secuencia de tonos burst.

Frecuencia (Hz)	HL (dB)
125	5
250	7
500	10
1000	15
2000	20
3000	35
4000	45
8000	50
10000	15



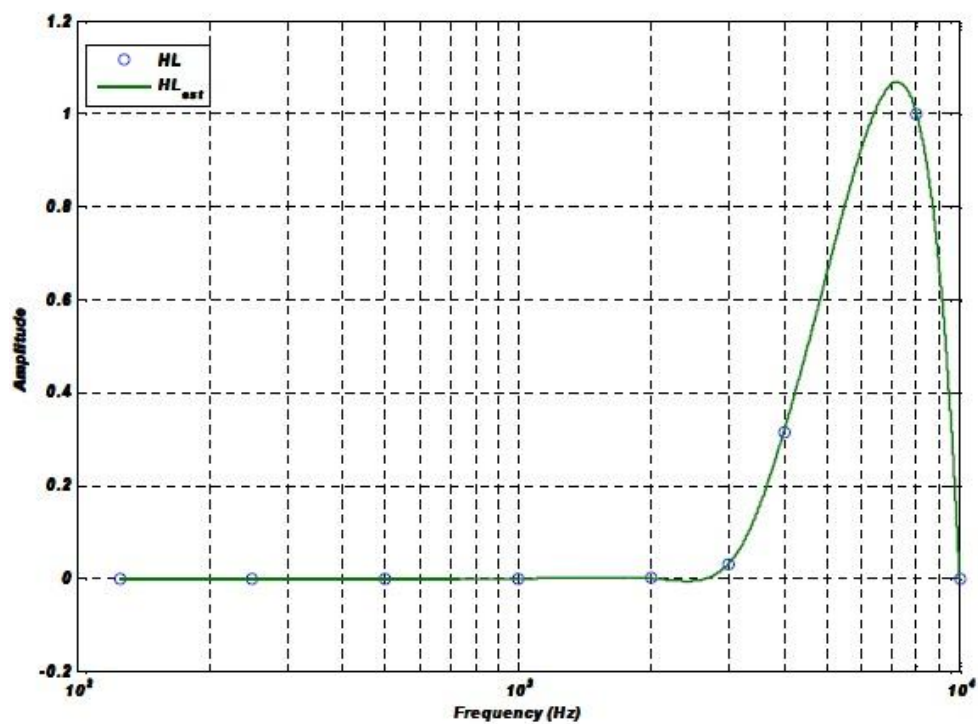


Figura 24. Curvas HL.

Tomado de Cobo, P., 2010, p. 5.

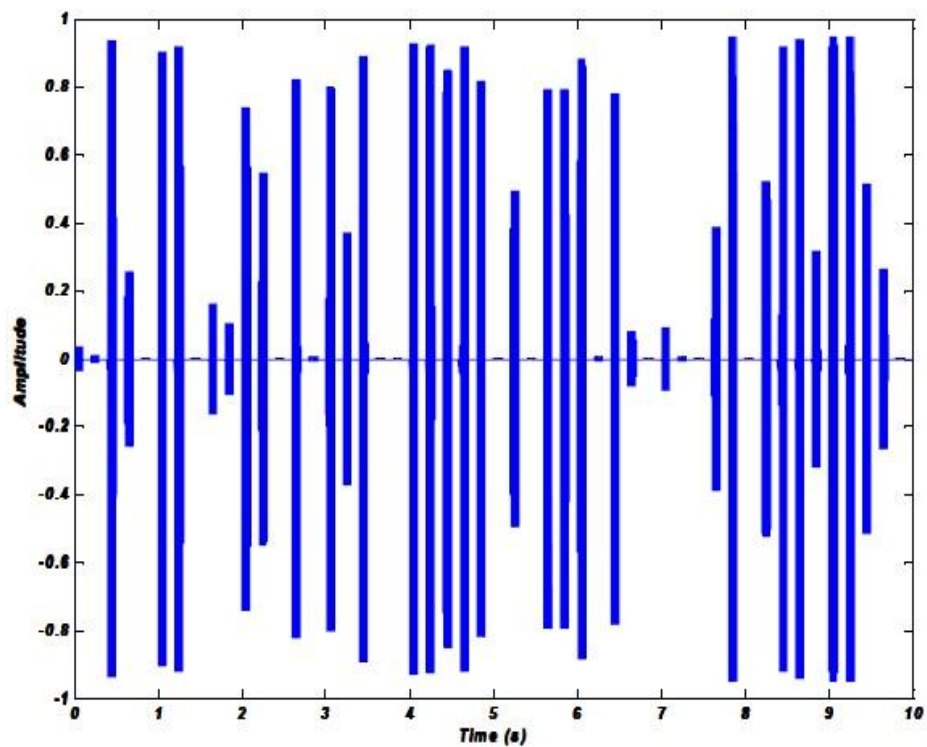


Figura 25. 10ms de una secuencia de tonos burst de 100ms, fq sampleo=44100 Hz.

Tomado de Cobo, P., 2010, p. 6.

Como se puede apreciar, se trata de impulsos cortos, de frecuencia aleatoria entre las frecuencias límite de la curva de pérdidas, que llenan todo el espacio  $(t,f)$ . Cada uno de estos pulsos es conocido como tono burst (el resultado de pasar una señal senoidal a través de una compuerta temporal).

### 3.2.2. Secuencia de tonos PIP

Los tonos PIP serán los que se utilicen en las terapias, por lo que se profundizará más en este tema para conocer más acerca de estos tonos.

Un tono pip tiene la siguiente forma de onda:

$$Stp(t) = t^{\gamma-1} e^{-\alpha t} \cos(2\pi f_0 t) \quad (\text{Ecuación 3})$$

donde  $\alpha$  y  $\gamma$  son dos constantes, y  $f_0$  es la frecuencia del tono. Korn (1969) demostró que la transformada de Fourier de un tono pip coincide con la curva de enmascaramiento del oído a la frecuencia  $f_0$ . La figura 26 muestra la forma de onda de un tono pip de 500 Hz para  $(\alpha, \gamma) = (230,5)$ . Las rampas de subida y bajada de su envolvente están determinadas por los parámetros  $\alpha$  y  $\gamma$ . Como se puede notar en la figura 27, cuanto mayor es  $\gamma$  para un  $\alpha$  fijo, más suave es la subida de la envolvente, figura 27 (a). Por otro lado, cuanto mayor es  $\alpha$ , para un  $\gamma$  fijo, más suave es la caída de la envolvente, figura 27 (b).

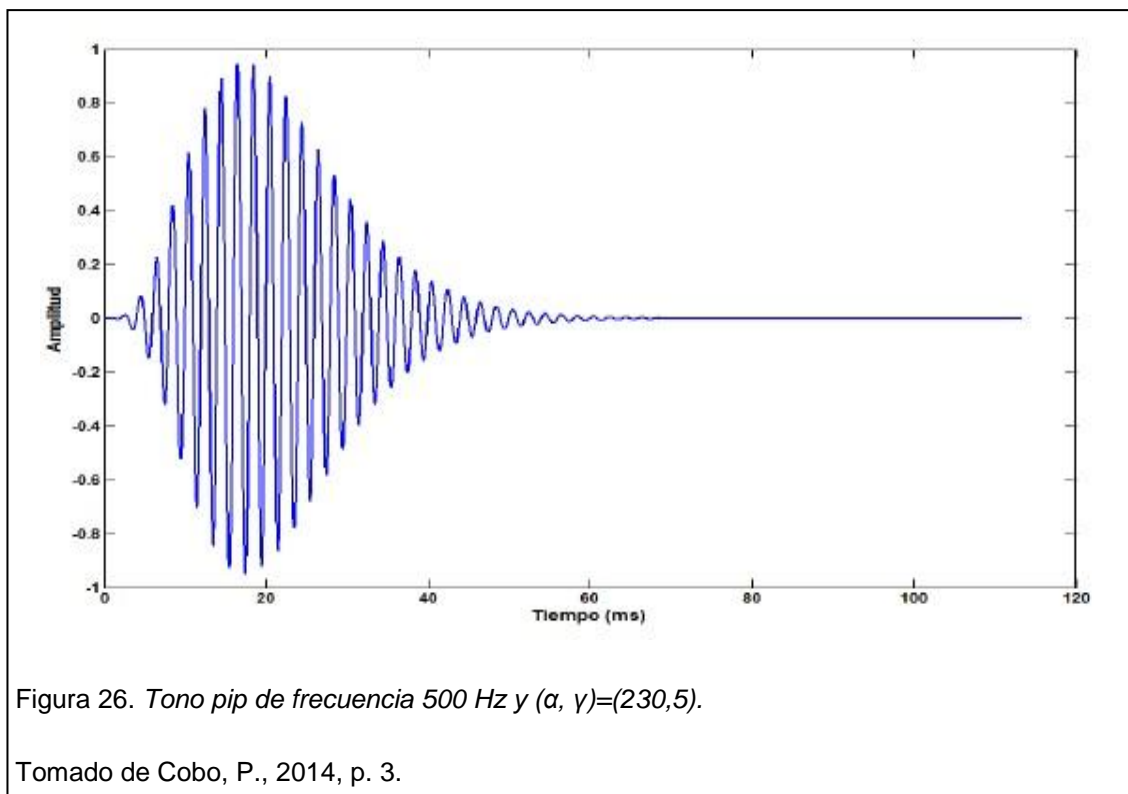


Figura 26. Tono pip de frecuencia 500 Hz y  $(\alpha, \gamma)=(230,5)$ .

Tomado de Cobo, P., 2014, p. 3.

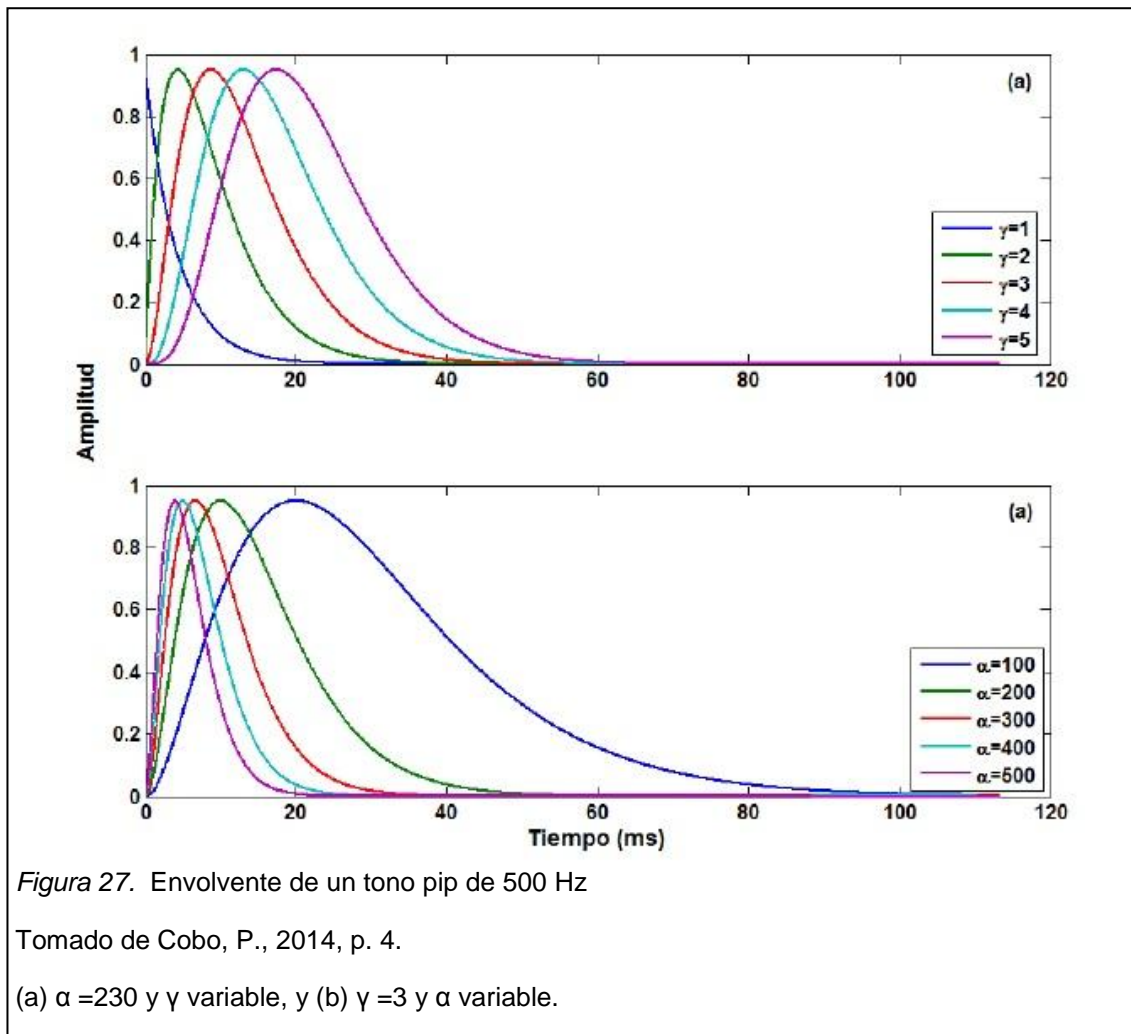


Figura 27. Envolvente de un tono pip de 500 Hz

Tomado de Cobo, P., 2014, p. 4.

(a)  $\alpha = 230$  y  $\gamma$  variable, y (b)  $\gamma = 3$  y  $\alpha$  variable.

La secuencia de tonos *pip* (STP) tiene la forma:

$$STP(t) = \sum m t^{\gamma-1} e^{-\alpha(t-\tau m)} \cos[2\pi f m(t - \tau m)] \quad (\text{Ecuación 4})$$

donde  $fm$  es la frecuencia perteneciente al tono *pip*, escogida de forma aleatoria dentro de la banda que pertenece a la audición, y  $\tau m$  son los retardos de cada uno de los tonos. Así pues, la *STP* está determinada por los parámetros ( $\alpha$ ,  $\gamma$ ) y por la tasa de los tonos (número de tonos por segundo =  $1/\tau$ ). En la mayor parte de los trabajos publicados por el grupo de Eggermont se usa  $\gamma = 3$ , de acuerdo con el valor usado también por Korn. Para la tasa de disparo, se suelen usar una tasa rápida (20 por segundo) y una lenta (1 por segundo).

Eggermont ha usado profusamente estos tonos, descritos por Hermes et al. (1983) por la siguiente ecuación:

$$\text{tonepip}(t) = a(t) \cdot \sin(2\pi ft) \quad (\text{Ecuación 5})$$

donde

$$a(t) = A \left(\frac{t}{\beta}\right)^{\gamma-1} \exp\left(-\frac{t}{\beta}\right), \quad t \geq 0 \quad (\text{Ecuación 6})$$

siendo  $A$  una constante que determina el pico máximo equivalente, o NPS del tono pip, y  $(\beta, \gamma)$  dos constantes que determinan la duración y forma del tono. La amplitud  $A$  podía mantenerse constante, o también se la podía variar de forma aleatoria. La figura 28 indica la forma de onda, la envolvente y el espectrograma de un ejemplo de tonos pip, en este ejemplo  $(\beta, \gamma) = (1.45, 3)$ . Como se puede notar, los EAE, consisten en una secuencia de pulsos cuya amplitud y frecuencia varían aleatoriamente.

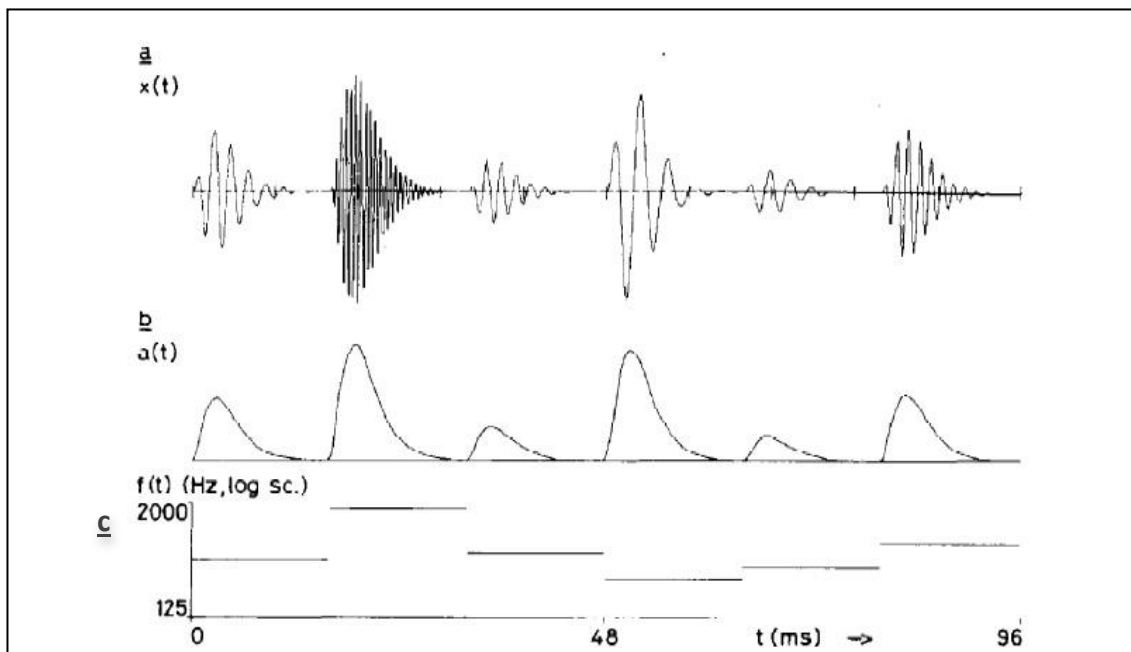


Figura 28. Parámetros de tonos PIP

Tomado de Cobo, P., 2010, p. 9.

(a) Forma de onda, (b) envolvente y (c) espectrograma de los tonos pip (última figura en la parte de abajo). (Según Hermes et al., 1983).

El parámetro  $\beta$  tiene dimensiones de tiempo, y por lo tanto se relaciona con la duración de los estímulos. La figura 29 indica cuatro tonos pip con diferentes valores de ( $\beta$ ,  $\gamma$ ). El parámetro  $\beta$  define la duración del pulso, mientras que el parámetro  $\gamma$  actúa más en la forma de onda.

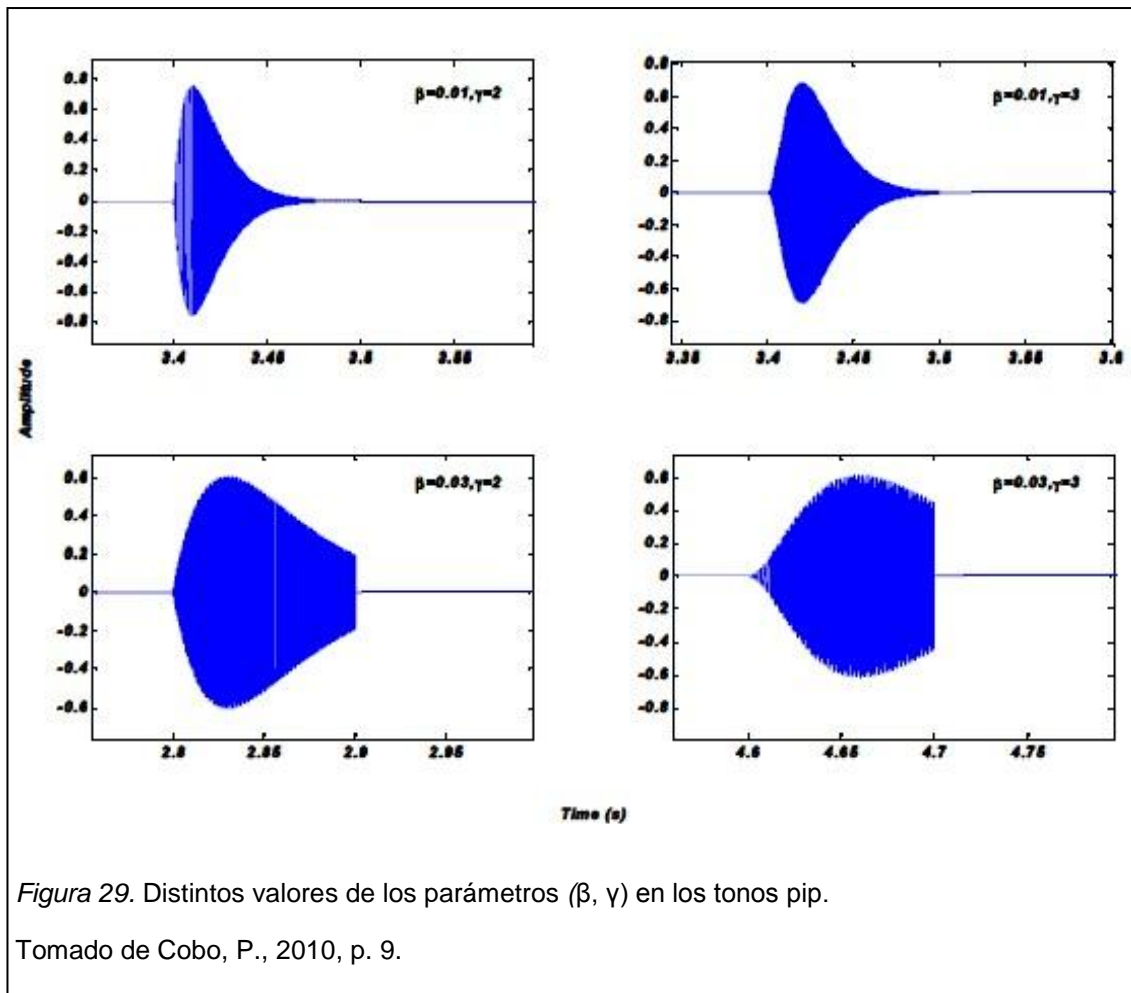


Figura 29. Distintos valores de los parámetros ( $\beta$ ,  $\gamma$ ) en los tonos pip.

Tomado de Cobo, P., 2010, p. 9.

Se puede diseñar secuencias de tonos pip para la terapia sonora del tinnitus ecualizando la amplitud  $A$  de cada pulso, perteneciente cada uno de ellos a una frecuencia aleatoria en la banda de frecuencias de la curva de pérdidas, por la amplitud de la curva de pérdidas, de una forma parecida, como se hacía para la secuencia de tonos burst.

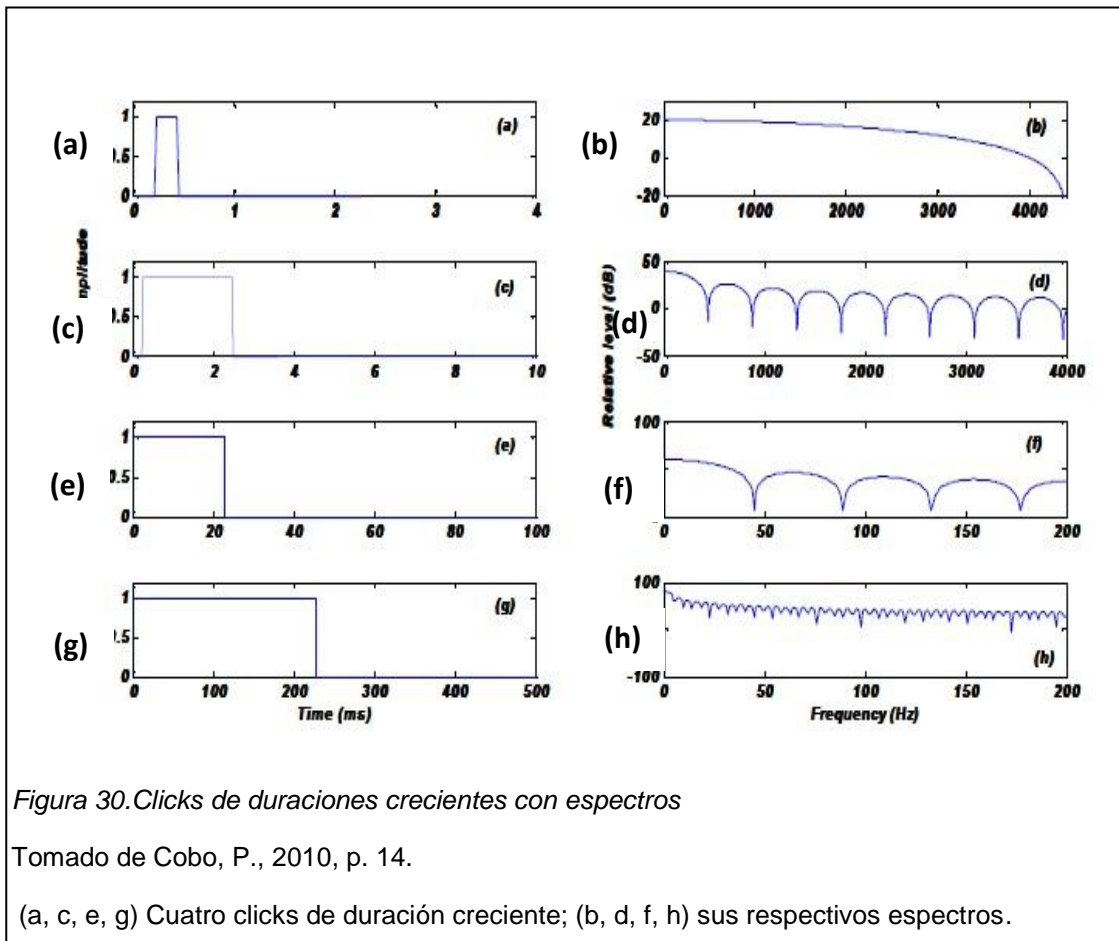
### 3.2.3. Fundamentos audiológicos de los tonos pip

Los tonos pip tienen un principio audiológico, que se basa en la teoría del enmascaramiento y muy vinculado con éste, con la forma de onda de duración finita que contiene una función monocromática de longitud mínima. La forma de

onda también se relaciona mucho con las curvas de sintonización de varias partes a través del eje auditivo.

### **3.2.3.1. Enmascaramiento y pulsos EMDIF (Mensajes Elementales de Frecuencia Discreta)**

El concepto EMDIF se relaciona directamente con la incertidumbre, según el cual la medida en la frecuencia de una señal se afecta por la incertidumbre que es inversamente proporcional a la duración temporal de la misma. Muy vinculado con esto está el asunto de cómo procesa el sistema auditivo una señal temporal, como por ejemplo un click. La figura 30 indica cuatro clicks de duraciones crecientes, con sus respectivos espectros. Si se presentan estos estímulos a un oyente, él los percibirá de una forma muy diferente, aunque tienen una forma de onda similar. Percibirá los dos primeros clicks como dos cortos impulsos, de tonalidad decreciente. La persona será incapaz de diferenciar entre la duración de un estímulo y el otro, a pesar de que el primero es diez veces más corto que el segundo. Se puede decir que el sistema auditivo de una persona procesa los dos clicks en el dominio de la frecuencia. No obstante, cuando se le presenta el tercer click, la persona puede discriminar las fronteras de ataque y caída del pulso, y más aún en el caso del cuarto click. Por lo tanto, el sistema auditivo procesa los estímulos en el dominio del tiempo.



Se conoce que, en presencia de un tono, el oído deviene menos sensible en la entrada simultánea de otros tonos más débiles, que inclusive pueden ser totalmente inaudibles. Este efecto, conocido como enmascaramiento, actúa en un determinado rango de frecuencias, a ambos lados de la frecuencia del tono enmascarante, siendo mayor en el entorno de dicho tono y reduciendo progresivamente mientras hay un alejamiento hacia él.

Mediante el enmascaramiento se produce un aumento del umbral de audición de un tono en presencia de otro. Este efecto se cuantifica midiendo el desplazamiento del umbral auditivo como una función de la frecuencia.

La curva de enmascaramiento a cada frecuencia se puede considerar como la curva representativa de dicha frecuencia. O sea el efecto de enmascaramiento se puede considerar como un discretizador del sistema auditivo que acepta medir el valor discreto de la frecuencia de un estímulo de longitud finita. Por



consiguiente, el estímulo cuya transformada de Fourier es igual a la curva de enmascaramiento del oído se nombra como EMDIF.

### 3.2.3.2. Curvas de sintonización en el sistema auditivo

Se conoce la estructura tonotópica a través del eje auditivo. La membrana basilar examina la capacidad espectral de la señal que estimula la cóclea y ubica cada frecuencia en una zona diferente de la misma. Este reparto de las diferentes frecuencias en distintas zonas de la membrana basilar ocurre también en el eje auditivo hasta un área específica de la corteza cerebral. O sea, tanto las distintas zonas de la membrana basilar como las neuronas enlazadas a ellas se encuentran sintonizadas a una frecuencia específica. La respuesta de frecuencia de estas partes, y de las neuronas correspondientes, se conocen como curvas de sintonización (figuras 31 y 32) y su forma se asemeja a las curvas de enmascaramiento del oído.

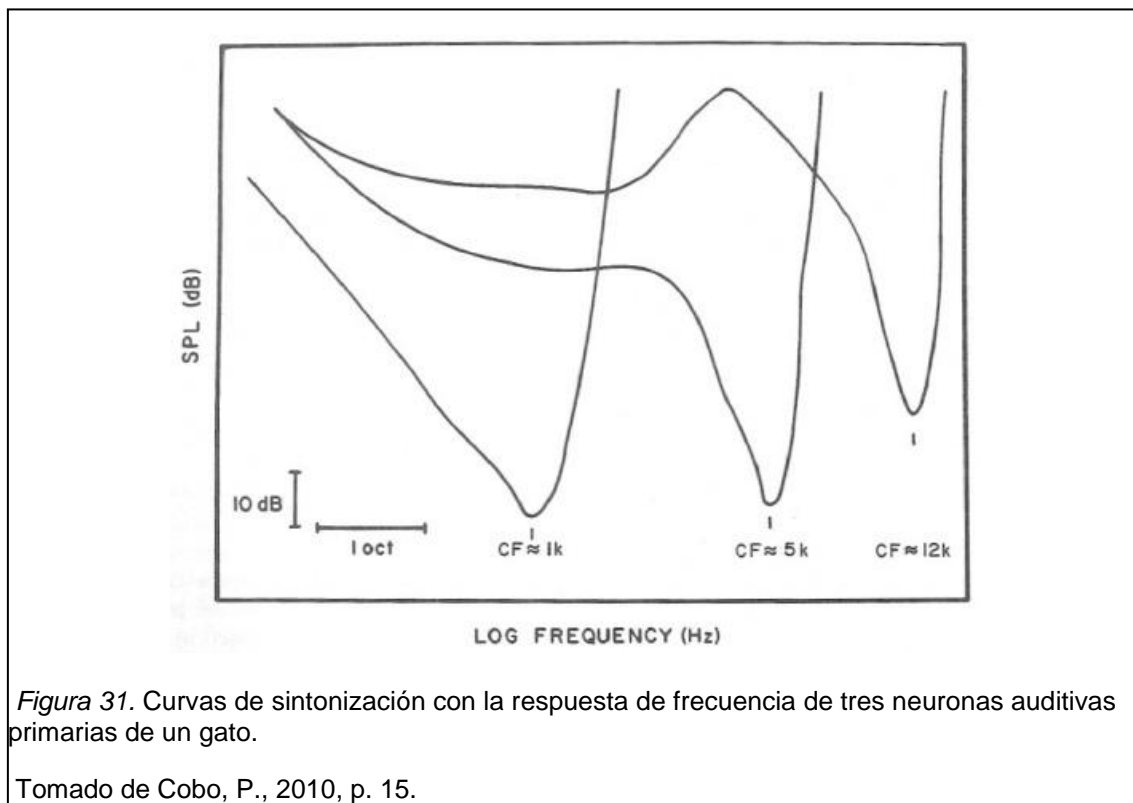


Figura 31. Curvas de sintonización con la respuesta de frecuencia de tres neuronas auditivas primarias de un gato.

Tomado de Cobo, P., 2010, p. 15.

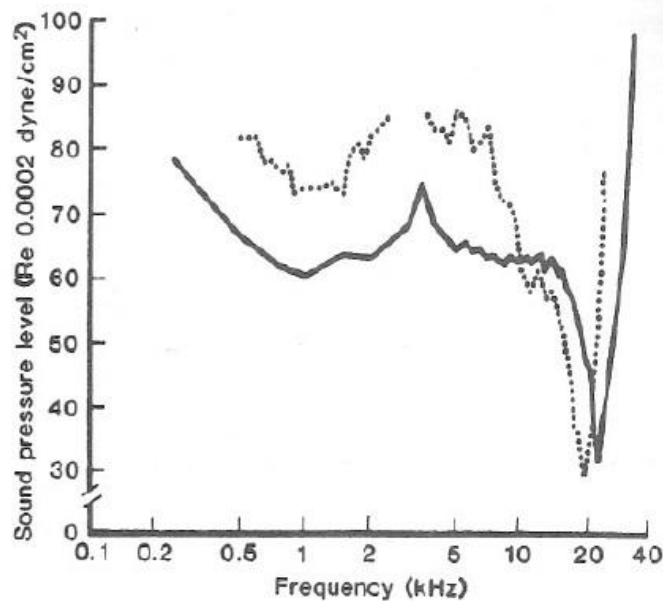


Figura 32. Comparación de curvas de sintonización para las respuestas de la membrana basilar

Tomado de Cobo, P., 2010, p. 18.

Línea gruesa: comparación de curvas de sintonización para respuestas de membrana basilar; línea punteada: de una neurona de primer orden de un gato.

La figura 31 indica las curvas de respuesta en frecuencia de tres neuronas en el nervio auditivo de un gato. Lógicamente, las tres neuronas se encuentran sintonizadas a diferentes frecuencias. Cuando se representan paralelamente las curvas de respuesta en frecuencia de una neurona y de la zona de la membrana basilar a la que está enlazada (figura 32) se encuentra una adecuada correspondencia.

#### 4. APLICACIÓN DE TERAPIA CON AMBIENTE ACÚSTICAMENTE ENRIQUECIDO

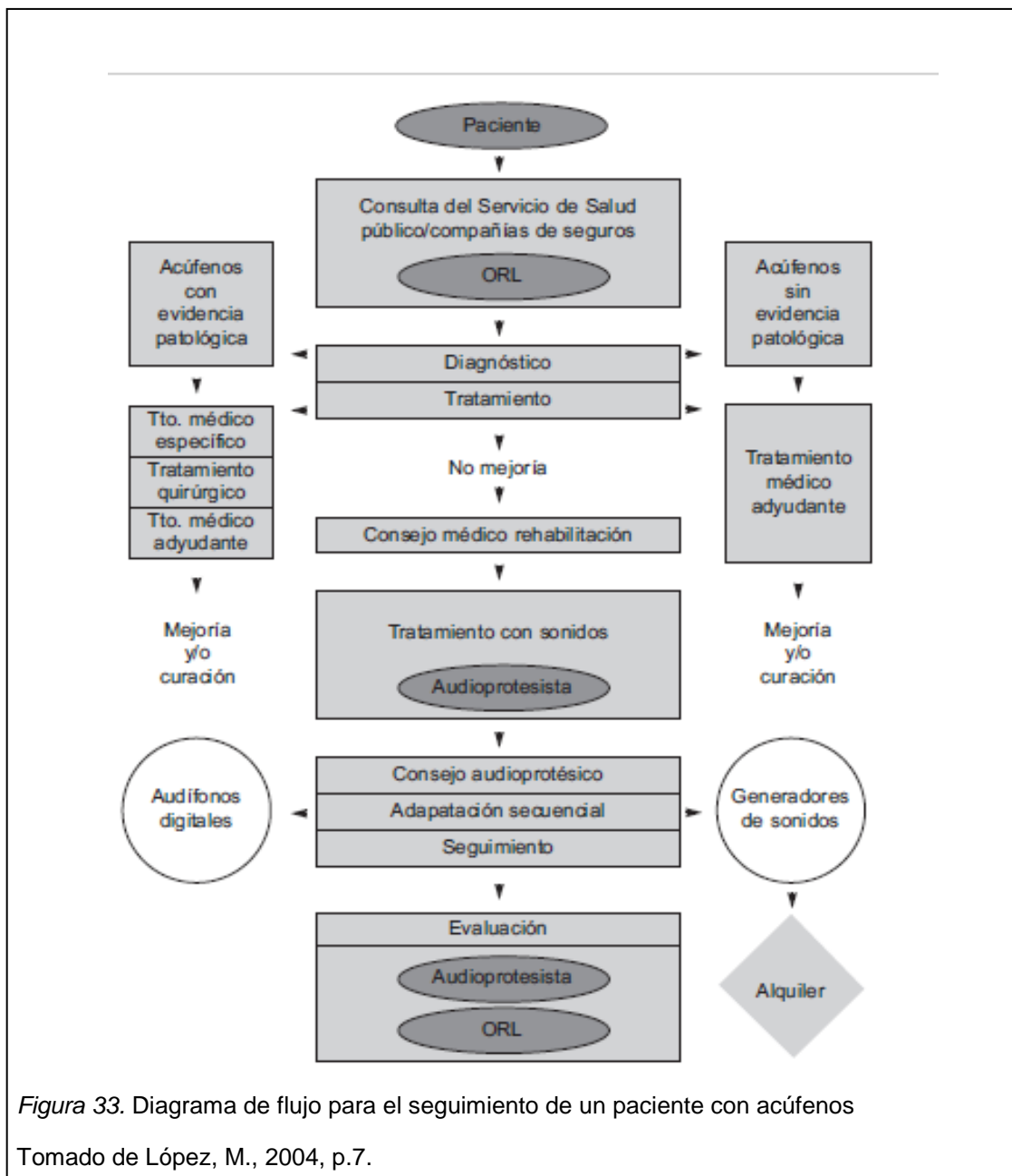
Para la aplicación de la terapia en base de tonos pip, es necesario conocer en detalle las frecuencias en las que el paciente padece su síntoma, como se lo había comentado en el capítulo anterior, se va a hacer uso de la curva de pérdida auditiva del paciente de cada oído, para así realizar la creación de los tonos. Debido a que algunos pacientes no contaban con audiometrías preliminares, se procedió a realizar las mismas.

#### **4.1. Planificación de la Terapia**

En esta sección, se menciona la organización necesaria para los tratamientos, involucrando equipamiento, personal y cada uno de sus detalles.

##### **4.1.1. Evaluación previa de los pacientes**

Para poder mantener un seguimiento del paciente el cual sea sometido a las terapias, se ha hecho uso del siguiente diagrama de flujo (figura 33) obtenido de la Acta Otorrinolaringológica de España, para establecer los pacientes los cuales tengan la afección, y hayan tratado o puedan ser tratados por distintos métodos sea de manera quirúrgica o mediante medicamentos y aun así, no hayan podido tener una mejoría en su síntoma.



Manteniendo el diagrama de flujo mostrado en la figura 33, el cual nos muestra la manera para proceder con una persona la cual padece de acúfenos, hemos acudido a hospitales públicos y privados para poder tener pacientes los cuales ya en su diagnóstico evidencien la presencia de tinnitus y así poder brindar esta terapia, como una nueva alternativa.

Una vez en contacto con los pacientes hemos realizado diversos informativos (Véase el ANEXO 6) para poner en conocimiento las terapias, además de una

guía para la aplicación de las mismas. Siguiendo el diagrama de la parte superior, realizaremos el tratamiento ya con la evaluación médica dada.

#### **4.1.1.1. Número de personas**

Se determinó, según los recursos económicos y tiempo disponible, que la cantidad necesaria para este trabajo de validación sea de catorce personas, Debido a que esta es la prueba piloto de las terapias, es necesario un número significativo de personas para que estas terapias sean validadas, por lo que se seguirán realizando las terapias en el futuro.

#### **4.1.1.2. Reclutamiento de pacientes**

Para el reclutamiento de personas que sean aptas para el tratamiento, se realizó una campaña publicitaria mediante redes sociales, en los respectivos grupos de personas que padecen de acúfenos. Ver ANEXO 1.

Además, se hicieron visitas a Otorrinolaringólogos de los siguientes centros médicos de la ciudad de Quito:

- Centro Médico AXXIS
- Hospital de Especialidades Eugenio Espejo
- Centro de Otorrinolaringología
- Hospital de Especialidades de las FF.AA. N°1.
- IESS Centro de Atención Ambulatoria (Chimbacalle).

Los especialistas de los centros médicos enlistados previamente, contribuyeron con la selección de algunos pacientes aptos para la Terapia de Ambiente Acústicamente Enriquecido.

#### **4.1.1.3. Análisis de pacientes seleccionados**

Los pacientes fueron evaluados mediante tres cuestionarios; el primero de ellos es un cuestionario que cuenta con información básica del paciente, tanto de datos personales, como datos elementales acerca de su acúfeno. Ver ANEXO 2.

Los otros dos, son cuestionarios especializados que evalúan incapacidades, discapacidades, otras dimensiones como las tácticas para afrontar ante el

inconveniente. Como en todo mecanismo de medición, en estos cuestionarios, se toman en cuenta las siguientes propiedades:

#### **4.1.1.4. Fiabilidad**

Es decir, la certeza en la medición, también de los parámetros de la medida como la consistencia o estabilidad. Cuando se desea medir aspectos emocionales del tinnitus, los distintos ítems acerca de esta medida darán como resultado una respuesta uniforme. Esto es conocido como consistencia interna del test y se mide de forma estadística por el coeficiente alfa-cronbach, que es el modo más usual de evaluar la fiabilidad de pruebas; o sea, es un procedimiento que sirve para calcular la confiabilidad y validez de los instrumentos (cuestionarios). El grado en que el instrumento mide lo que se necesita medir se refiere a la validez. En cambio, la confianza que se confiere los datos es la confiabilidad.

La estabilidad es otro parámetro de la fiabilidad, cuando se evalúa con el test al mismo sujeto pero luego de un tiempo definido y si no han variado la situación, las respuestas serán las mismas. Los lapsos de tiempo pueden ser en etapas cortas o largas. La estabilidad es fundamental cuando se quiere valorar resultados terapéuticos.

#### **4.1.1.5. Validez del test**

Se refiere a la capacidad de un test para ser certero en lo que realmente va a medir. En un comienzo era una propiedad inmutable e intrínseca, ahora depende del contexto en el que se use el cuestionario.

### **4.1.2. Cuestionarios utilizados**

#### **4.1.2.1. THI (Tinnitus Handicap Inventory)**

Se publicó en 1996 por Newman et al. y es uno de los que más se usa para valorar al acúfeno. Tiene 25 ítems que se dividen en la subescala funcional, subescala emocional y subescala catastrófica.

La escala funcional se compone de doce preguntas y valora las afecciones del tinnitus en la vida diaria (inconvenientes para escuchar, trastornos del sueño,

dificultades en la concentración, interferencia en la vida laboral, socialización, etc.)

La escala emocional se compone de ocho preguntas y se refiere a respuestas afectivas como inseguridad, frustración, depresión ansiedad, etc.

Finalmente, y compuesta de cinco preguntas se halla la escala catastrófica, indica cuánta incapacidad percibe una persona para lidiar con el problema y las consecuencias externas como desesperación.

El paciente debe seleccionar las opciones: “sí”, “a veces” o “no”; siendo la puntuación respectiva: si se afirma tendrá un valor de 4, si es eventual tendrá un valor de 2 y si es negativa el valor será cero.

Las respuestas se categorizan desde cero cuando el tinnitus no afecta a la vida de la persona, hasta cien que corresponde a una incapacidad grave.

El rango de respuestas va desde 0 (el acúfeno no interfiere en la vida de la persona) hasta 100 (incapacidad grave). En la siguiente tabla se muestra la clasificación de incapacidad:

Tabla 6. Clasificación de incapacidad de cuestionario THI.

<b>Rango</b>	<b>Nivel de Incapacidad</b>
1-16	No existe
17-36	Leve
37-56	Moderada
57-100	Grave

Este cuestionario se ha ratificado para su uso en el análisis de los resultados de la terapia, una diferencia de mayor a veinte puntos entre los resultados de la

evaluación inicial y de la evaluación después del tratamiento se considera relevante (Newman et al., 1998).

El cuestionario completo THI, se encuentra en el ANEXO 3.

#### **4.1.2.2. TRQ (Tinnitus Reaction Questionnaire)**

Este cuestionario se desarrolló en 1991 por Wilson et al. y se compone de 16 ítems que se basan en categorías de síntomas característicos del acúfeno. La persona debe contestar como corresponda a cada pregunta, son cinco opciones en las que indican desde la no existencia hasta la constante ocurrencia, de acuerdo a esta escala: “para nada”, “una pequeña parte del tiempo”, “una parte del tiempo”, “una considerable parte del tiempo”, “casi todo el tiempo”. Cada respuesta puede tener una puntuación de 0 a 4, con este valor se podría lograr 104 puntos en total. Mientras exista más puntuación, el grado de molestia producido por el tinnitus será mayor. La principal función de esta escala es permitir alcanzar brevemente una medida general del nivel de molestia producida por el tinnitus.

El cuestionario completo TRQ, se encuentra en el ANEXO 4.

#### **4.2. Instrumentación y equipamiento**

A continuación se muestra los diferentes instrumentos y equipos utilizados para evaluación de los pacientes:

- Sonómetro CESVA SC310 Tipo 1.
- Micrófono CESVA C-130.
- Calibrador acústico CESVA CB006.
- Audífonos Senheisser HD280.
- Interfaz MBox mini.
- Dos computadoras, una para realizar la calibración y la otra para realizar las audiometrías y acufenometrías de los pacientes, en la misma sesión.

Se encuentra adjunto al ANEXO 9, en el cual se encuentran las especificaciones técnicas de los equipos utilizados.



### 4.2.1 Plataforma de medición

Para la calibración de los audífonos, se hizo un diseño de una plataforma la cual nos permite simular el funcionamiento óptimo de los auriculares de los pacientes en uso (Bejarano, 2015). A continuación se muestra un gráfico representativo de la plataforma.



*Figura 34.* Aplicación de plataforma de medición.

## 4.3. Recurso Informático

### 4.3.1. Recurso Informático Audiómetro TFC Monoaural

Programa desarrollado en Matlab por Marcelo Larrea Álvarez, basado en el programa del CSIC (Madrid), utilizado para evaluar a los pacientes por medio de audiometrías y obtener su curva de pérdidas monoaural para el posterior diseño de los tonos Pip. El programa realiza una evaluación a los pacientes, haciendo uso de distintos datos digitados por los mismos, el cual indica el nivel de escucha del paciente por amplitud y frecuencia de cada oído.



Figura 35. Interfaz inicial de programa TFC\_Monoaural.

#### 4.3.1.1. Datos básicos para registro

El paciente deberá llenar obligatoriamente cada espacio con la información requerida acerca de sus datos básicos.

The screenshot shows a window titled "TFC\_Monoaural" with a blue background. The text reads: "AUDIÓMETRO CON MÉTODO DE SELECCIÓN FORZADA (3 Alternativas) (MODO MONOAURAL)". Below this, there is a section labeled "DATOS:" containing four input fields: "NOMBRE:", "EDAD:", "FECHA:", and "NOMBRE REGISTRO:". A "SIGUIENTE" button is located at the bottom of the form area.

Figura 36. Datos a ingresar por parte del paciente.

#### 4.3.1.2. Indicaciones de funcionamiento del programa

Indicaciones en las que se explica brevemente cómo funciona el audiómetro

The screenshot shows the same window titled "TFC\_Monoaural". At the top left, there is a "SIGUIENTE" button. Below it, the text reads: "INDICACIONES:", "ELEGIR OÍDO PARA ENSAYO", "SELECCIONAR INTERVALO EN EL QUE SE IDENTIFICA EL TONO (A,B ó C)", and "EN EL CASO DE YA NO PERCIBIR LA FRECUENCIA, ES NECESARIO, SIN EMBARGO, ELEGIR UNO DE LOS TRES INTERVALOS".

Figura 37. Indicaciones de funcionamiento del programa.

Además, antes de iniciar, el paciente deberá elegir el oído al que se le aplicará primero la audiometría

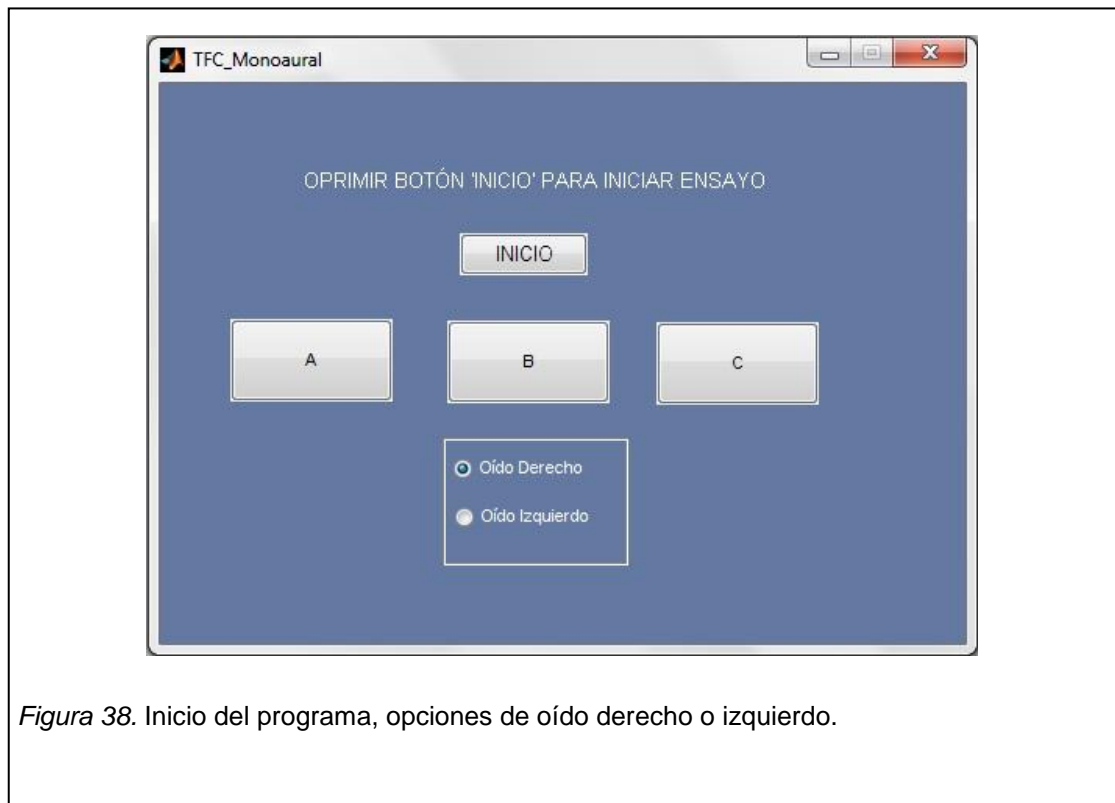


Figura 38. Inicio del programa, opciones de oído derecho o izquierdo.

#### 4.3.1.3. Progreso del programa

Una vez dado inicio, el programa emitirá los tonos de las respectivas frecuencias (125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 y 8000 Hz aleatoriamente); se tiene las opciones A, B o C, en donde el paciente deberá elegir la opción en la que escuche el sonido.

#### 4.3.1.4. Finalización del programa

Al finalizar la audiometría monoaural, el audiómetro, con los datos recopilados durante el proceso, automáticamente muestra un gráfico perteneciente al audiograma de cada paciente. Vale recalcar que algunos de los pacientes padecían de pérdida auditiva. En este, la línea verde continua refiere al oído izquierdo, la línea roja continua al oído derecho y la línea entrecortada es la de referencia de valores adecuados.

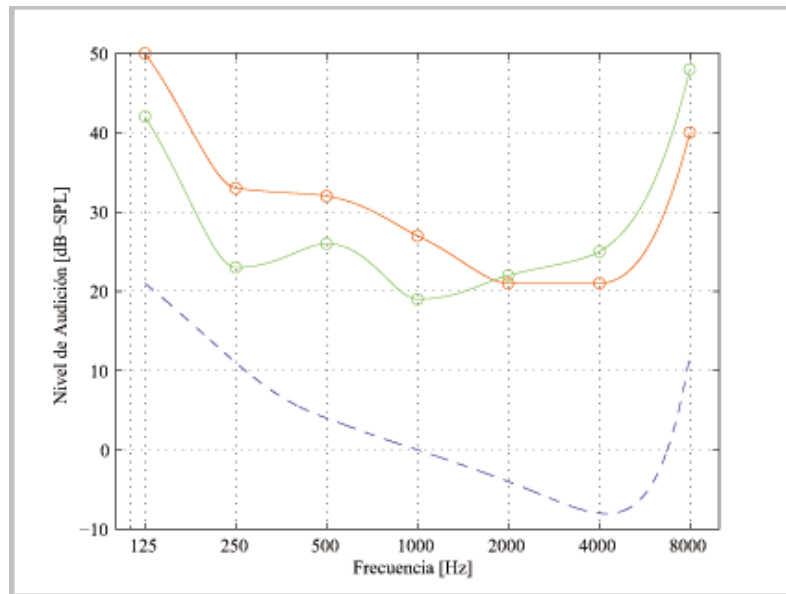


Figura 39. Ejemplo de audiograma de un paciente, generado por el programa TFC\_Monoaural.

#### 4.3.2. Recurso Informático Programa para generación de tonos PIP y Burst (EAE1)

Programa informático desarrollado por medio del software Matlab, para aplicar en los pacientes que padecen de acúfenos.

##### 4.3.2.1. Interfaz gráfica principal

La interfaz gráfica del programa consta de paneles funcionales, aquí se producirán los tonos específicos para cada paciente. También se puede apreciar gráficamente las señales sonoras elaboradas para cada oído.

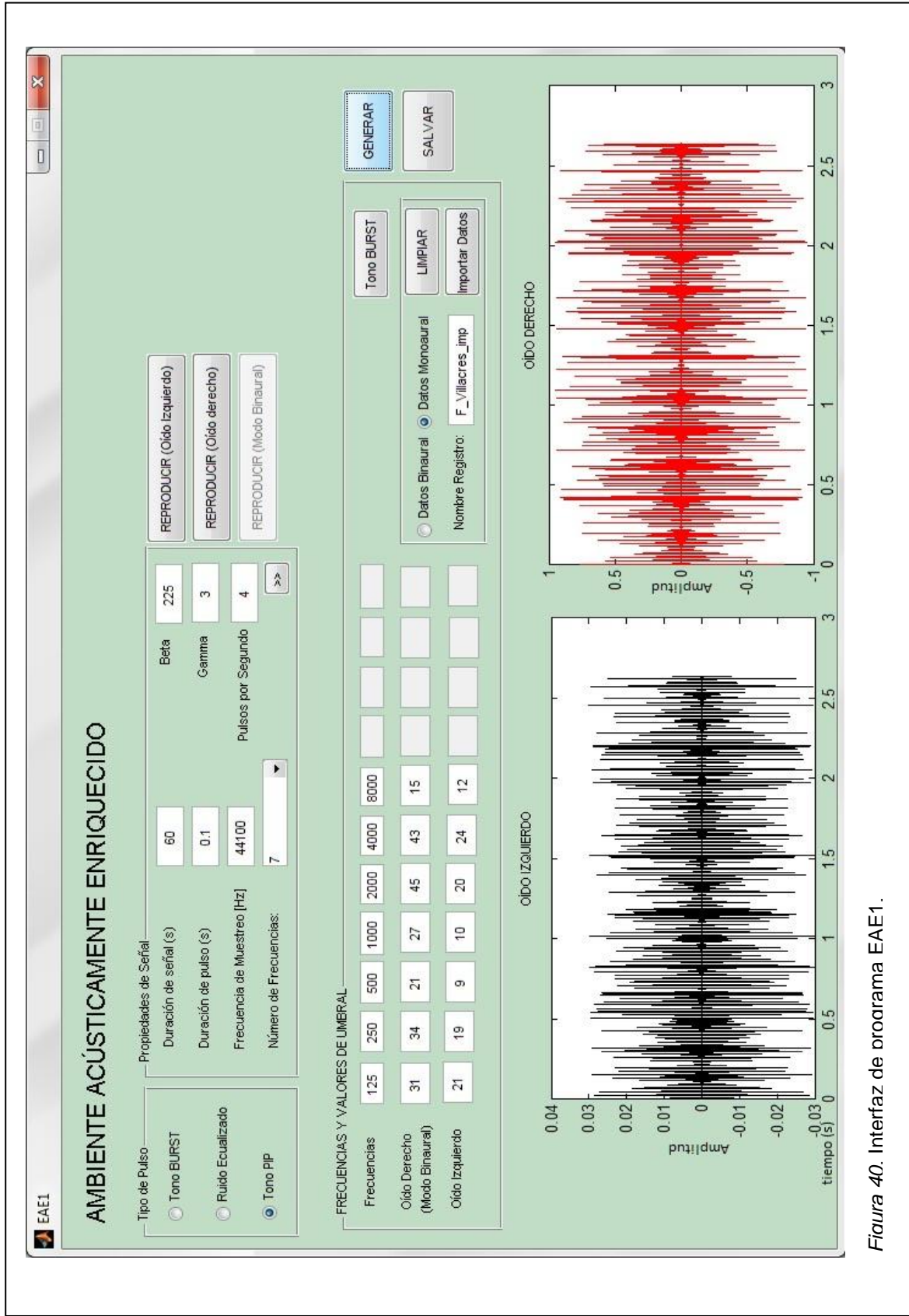


Figura 40. Interfaz de programa EAE1.

#### 4.3.2.2. Tipo de Pulso

En esta sección se escoge el tipo de señal para generar los tonos (Pip, Burst o Ruido Ecuilizado).

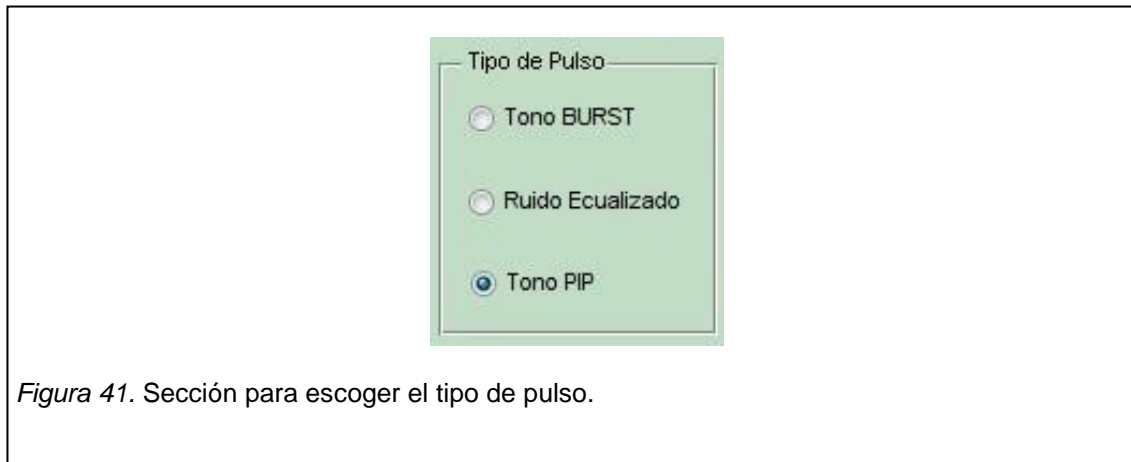


Figura 41. Sección para escoger el tipo de pulso.

- **Tono Burst:** La señal de salida producida en la que todos sus pulsos se encuentran referenciados por la envolvente de una ventana simétrica.

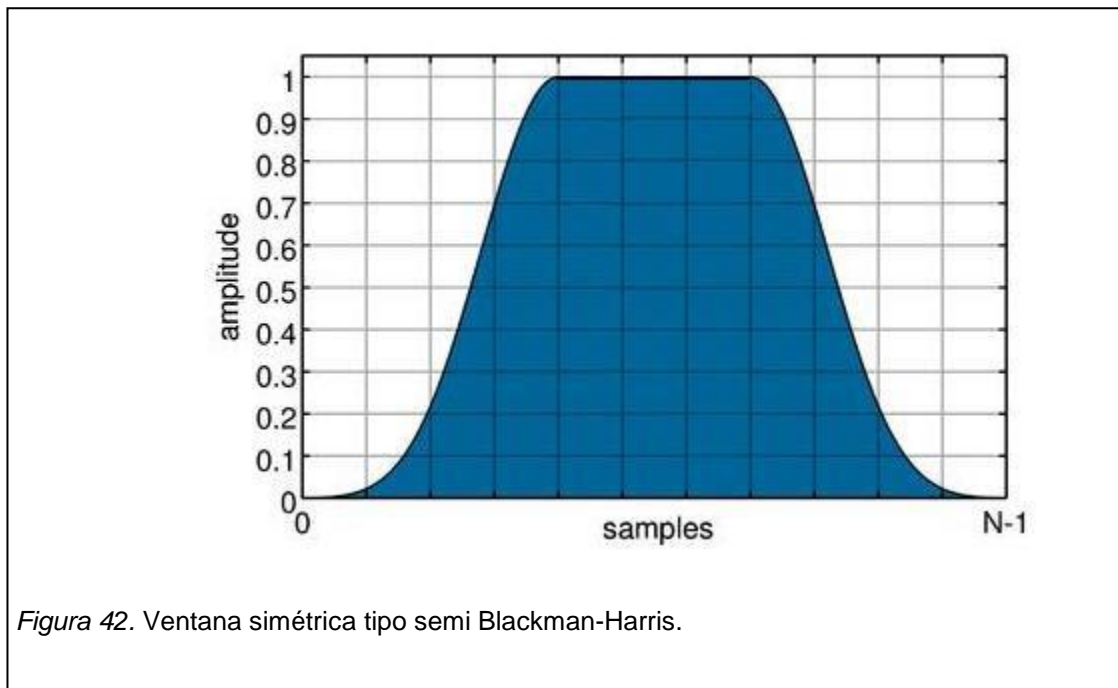


Figura 42. Ventana simétrica tipo semi Blackman-Harris.

- **Ruido Ecuilizado:** Es un impulso continuo, constituido de un ruido blanco proporcionado por el audiograma.

- **Tono Pip:** Es un diferente tipo de pulso secuencial, en la cual, una ventana asimétrica regida por los parámetros ( $\gamma$ ,  $\beta$ ) viene a ser su envolvente.

#### 4.3.2.3. Propiedades de señal

En esta sección se encuentran las principales variables para generar la señal para el respectivo tratamiento.

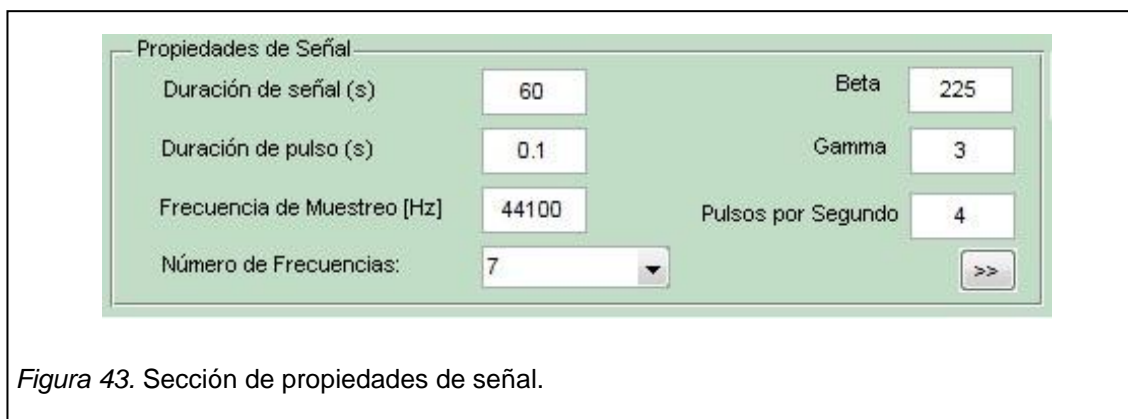


Figura 43. Sección de propiedades de señal.

- **Duración de señal:** Duración de la señal de salida, en segundos. Este parámetro es independiente del tipo de pulso escogido.
- **Duración de pulso:** Duración de cada pulso en segundos. Se puede escoger valores entre 0 y 1.
- **Frecuencia de muestreo:** Ya que los pulsos usados en este tratamiento son señales discretas, esta frecuencia (en hertzios) señala el número de muestras a utilizarse para definir el procedimiento. Mientras mayor sea la frecuencia de muestreo, tendrá mejor resolución y definición auditiva. En este caso con un valor de 44100 Hz o 48000 Hz, es suficiente para elaborar una señal de salida clara para emplear apropiadamente en el tratamiento.
- **Número de frecuencias:** Este ítem indica la cantidad de frecuencias (máximo 11) que se habilitarán en la sección Frecuencias y Valores de umbral, en donde se ingresa los valores de pérdida auditiva según la audiometría de cada paciente.
- **Beta ( $\beta$ ) y Gama ( $\gamma$ ):** Se activan cuando es escogida la opción Tono Pip (sección 4.1.4.2. Tipo de Pulso). Definen la envolvente (forma de onda) del estímulo.



En este trabajo de validación de terapias se utilizará el valor de  $\gamma=3$ , valor que fue utilizado por Eggermont, (2006) en la mayoría de las secuencias de tono Pip que usaba.

El parámetro  $\beta$  tendrá un valor comprendido de 134, este valor ha sido escogido como parte de la optimización del programa para este trabajo de titulación.

En investigaciones anteriores se logró comprobar que el mejor valor para  $\gamma$  en adaptar las curvas de sintonización del sistema de audición es el de  $\gamma=3$ . Se comprobó de igual forma que la longitud de los impulsos es tanto menor cuanto mayor sea  $\beta$ . Asimismo, los dos parámetros que entregan tonos pip de 15 ms de duración es  $(\gamma, \beta) = (3, 225)$ .

- **Pulsos por segundo:** Se activa solo cuando se selecciona tono Pip o tono Burst (estímulos secuenciales). Esta variable señala la cantidad de pulsos en un segundo que se elaborarán en el audio de salida.

#### 4.3.2.4. Frecuencias y valores de umbral

El audiograma efectuado al paciente se utiliza de forma elemental: se toma las frecuencias en las que se realizó la audiometría, con sus niveles correspondientes de audición expresados en dB.

FRECUENCIAS Y VALORES DE UMBRAL											
Frecuencias	125	250	500	1000	2000	4000	8000				
Oído Derecho (Modo Binaural)	31	34	21	27	45	43	15				
Oído Izquierdo	21	19	9	10	20	24	12				

*Figura 44. Frecuencias y valores de umbral de audiometría.*

- **Frecuencias (Hz):** En estas casillas (iguales en los dos oídos) se digitarán los valores característicos pertenecientes a las frecuencias que conciernen a la audición la persona.
- **Valores de umbral (oído derecho y oído izquierdo):** Expresado en dB, se compone de dos filas para el sistema auditivo derecho y para el

sistema auditivo izquierdo. En esta parte se ingresarán los resultados numéricos de la curva de pérdidas de cada paciente, correspondientes a las frecuencias indicadas anteriormente.

#### 4.3.2.5. Tipo e importación de datos

En esta parte se selecciona si el tipo de audio final será monoaural o binaural. Además se tiene la opción de importación de datos (monoaurales o binaurales) para los valores de umbral.



Figura 45. Tipo e importación de datos.

- **Datos binaural:** Emplea el mismo vector de frecuencias para los dos oídos y los estímulos sonoros se ubican en los mismos instantes de tiempo.
- **Datos monoaural:** Estos pulsos también se sitúan en los mismos tiempos, pero usan un vector frecuencial distinto en cada oído.
- **Importar Datos:** La sección Nombre Registro reconoce archivos `_imp`, que se generan automáticamente por el programa TFC Monoaural al finalizar la audiometría. Estos archivos `_imp` contienen la información perteneciente a los valores de umbral de los pacientes (monoaural o binaural) y se pueden importar fácilmente al programa EAE1 para facilitar el proceso y evitar errores al momento de transcribir los datos resultantes de la audiometría previamente realizada.

#### 4.3.2.6. Sección de escucha

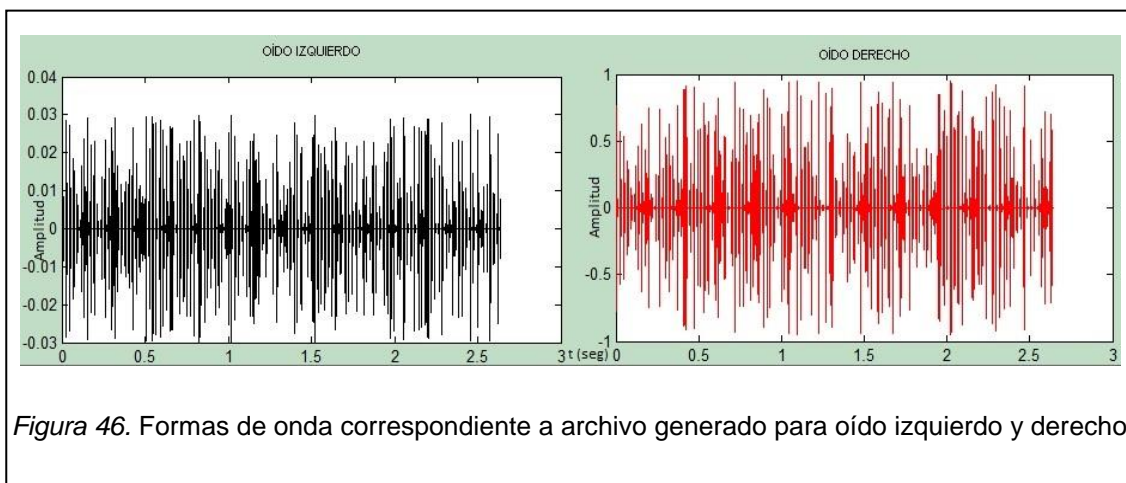
Para escuchar la señal producida se cuenta con tres botones de reproducción de audio.

- **Reproducir (oído izquierdo):** Si los pulsos fueron producidos desde datos monoaurales, se podrá escuchar el tratamiento para el oído izquierdo.
- **Reproducir (oído derecho):** Si los pulsos fueron producidos desde datos monoaurales, se podrá escuchar el tratamiento para el oído derecho.
- **Reproducir (Modo Binaural):** Si los pulsos fueron producidos desde datos binaurales, se podrá escuchar el mismo tratamiento para ambos oídos.

#### 4.3.2.7. Generar y salvar audio

Por último, se tiene también dos botones, tanto para generar el audio, con los todos los datos previamente ingresados, como para guardarlo.

- **Generar:** Mediante los datos antes ingresados, genera el audio correspondiente para que se utilizará para tratar el acúfeno del paciente. También, como se muestra en la siguiente figura, se representa visualmente mediante un gráfico en la parte inferior de la interfaz del programa.



- **Salvar:** Guarda las señales generadas. Si se trabajó con datos monoaurales, se guardarán dos señales; de lo contrario, si se trabajó con datos en binaural se guardará una sola señal. Todos los audios guardados tendrán un formato .wav.

### **4.3.3. Recurso informático para Compensación de respuesta de audífonos**

El objetivo de este programa es generar una señal que tenga una respuesta de frecuencia inversa a la de los audífonos de cada paciente. Esto se logra diseñando un filtro que pueda hacer una convolución en el tiempo y cuya respuesta en frecuencia sea la inversa de la respuesta de frecuencia de cada audífono.

#### **4.3.3.1. Proceso de medición**

La respuesta de frecuencia de los audífonos se estimó de la siguiente manera:

- Los audífonos se conectaron a la computadora Lenovo y se colocaron en la plataforma de medición.
- Al otro lado de la plataforma de medición se ubicó el sonómetro previamente calibrado y modo Slow para recibir un nivel estable durante algunos segundos para ser registrados.
- Desde la computadora Lenovo y mediante un reproductor de audio común, se enviaron los tonos desarrollados en Matlab con una amplitud digital promedio de 0.5 y una duración de 10 segundos por tono, desde los 125 Hz hasta 8000 Hz en 1/6 de octava, sin haber pasado por la interface MBox mini, ya que de esta forma se simula adecuadamente la forma en la que los pacientes escucharán el audio del tratamiento en sus hogares.
- Con la ayuda de la hoja de calibración se pudo registrar los datos de los auriculares de cada paciente, especificando ruido de fondo, tipo, marca, tiempo de respuesta, ponderación, etc. Después, se logró tener un nivel de referencia de 90dB en los 1000 Hz, tanto para el audífono izquierdo como para el audífono derecho.
- Los datos de Nivel de Presión Sonora para cada frecuencia fueron registrados en la hoja *Calibración Dispositivos de Pacientes*. Ver ANEXO 5.
- En resumen, el proceso fue que se reprodujo los tonos de 3 a 5 veces en los auriculares de los pacientes, hasta llegar a un valor estable registrado por el sonómetro. Este método se aplicó en toda la banda de

frecuencia para obtener datos fidedignos, de los equipos y obtener la curva de respuesta de los auriculares.



*Figura 47.* Proceso de medición de respuesta de audífonos

Dado que el filtro trabaja a 44100 Hz se definió la respuesta en frecuencia hasta la mitad de esta frecuencia, es decir, 22050 Hz y se extendieron los datos hasta los valores de esta frecuencia. Los valores mayores a 8000Hz (máximo de medición) tienen el mismo valor que el de 8000 Hz en NPS debido al diseño del filtro, y para evitar la variabilidad de los valores en frecuencias superiores a esta. También debido a que los tonos generados para el tratamiento tienen una frecuencia máxima de 8 kHz, al igual que las audiometrías solo consideran valores hasta esta frecuencia.

Posteriormente se normalizaron los niveles para tener 0 dB en 1000Hz, para obtener una referencia igual para todas las respuestas de frecuencias medidas.

#### **4.3.3.2. Interpolación**

Antes de aplicar la interpolación se multiplicó la respuesta en frecuencia por (-1), simulando una respuesta inversa, para cuando se diseñe el filtro se pueda cancelar la señal original, y tener una respuesta plana. La interpolación se aplicó sobre esta señal resultante.

Dado que la respuesta de frecuencia se midió en 1/6 octava, esta queda con poca resolución y su interpolación es lineal entre puntos, debido a esto se hace una interpolación cúbica para que adquiriera más resolución. La función utilizada es: `interp1` ocupando el método `spline` para interpolación cúbica.

Puesto que la interpolación en la frecuencia límite da valores que no se aproximan a la función original (más notorio en bajas frecuencias), los valores se ajustaron manualmente al valor de la frecuencia más baja, o sea 125 Hz.

Luego, los valores en dB se pasaron a amplitudes lineales para un óptimo trabajo del programa.

#### **4.3.3.3. Diseño del filtro**

Para el diseño del filtro se utilizó la función `FIR2` para diseñar el filtro FIR digital que simule la misma respuesta en frecuencia que se procesó anteriormente, y para diseñar el filtro en función del tiempo. El filtro es de orden 8000 y el algoritmo del filtro es *frequency sampling method*.

Se diseñó un filtro específico para cada frecuencia de cada audífono (L y R) de cada paciente; ese filtro se aplicó a la señal de los tonos diseñados con el programa EAE1.

Este filtro de señales se realizó con la función `filter` que hace una convolución de la señal de los tonos con el filtro diseñado.

#### **4.3.3.4. Normalización**

En la normalización, debido a que se trabajó en 24 bits, los valores deben comprender entre +1 y -1.

Para evitar el ruido de cuantización y utilizar óptimamente el rango dinámico que nos ofrecen los 24 bits, cada señal filtrada (resultante) se normalizó por la magnitud de su amplitud máxima, para que la amplitud máxima de las señales sea +/- 1.

Vale recalcar que cuando no se utilizó la normalización hubo un ruido notorio de cuantización.

Por último, ya con las señales normalizadas, se guardaron los archivos .wav (a 24bits) tanto para canal derecho y canal izquierdo para cada paciente.

#### **4.3.4. Recurso Informático Evaluador de Tinnitus.**

Este programa fue implementado por Roberts et al (2011) y adaptado por Marcelo Larrea Alvarez (Larrea, 2015) en el software de programación, su objetivo es dar a conocer las características principales del tinnitus de cada paciente, que son: localización, espectro, timbre característico, ancho de banda y funciones de inhibición residual. Este proceso se hace usando secuencias de instrucciones y muestras de audio de referencia. El programa tiene cinco fases:

- Etapa de pantalla inicial, registra la respuesta del paciente con respecto a la localización de su acufeno.
- La siguiente fase es la del ajuste de intensidad del sonido; la persona debe fijar el nivel sonoro de un sonido con frecuencia de 500Hz y con un nivel que considere cómodo.
- La tercera fase consta de tres botones que reproducen, cada uno, un audio con diferente carácter espectral; el paciente debe elegir cuál de las tres opciones se parece más a su sensación propia.
- En las dos últimas fases, el paciente empareja la sonoridad de ocho registros de audio con la sonoridad que percibe de su acufeno, en un rango de frecuencias específico. También califica cuánto se parece el timbre de estos registros de audio con el timbre de su acufeno.

Además, se utilizó el programa complementario de *Evaluador de inhibición residual* propuesto por Roberts et al (2005).

#### **4.4. Desarrollo de la Terapia**

##### **4.4.1. Lugar para las sesiones presenciales.**

El aula escogida para la sesión presencial del tratamiento, que incluyen la entrevista, la audiometría y la acufenometría, fue el estudio de grabación de la UDLA.

El tiempo reservado para tratar con cada paciente fue de dos horas, considerando entrevista, audiometría, acufenometría, medición de audífonos para compensación de respuesta en frecuencia e imprevistos.

Hubo diversos inconvenientes en la realización de las terapias como por ejemplo el ruido de fondo, provocado principalmente por ductos de agua y ventilación, este produjo un alargamiento en las sesiones además de causar una fatiga en todo el personal involucrado.

#### **4.4.1.1. Ruido de fondo de la sala**

El ruido de fondo promedio de la sala fue de 64,7 dB, nivel relativamente alto debido a la presencia de ductos aledaños de extracción y ventilación de aire para salas ubicadas en los pisos superiores del establecimiento. El tiempo de medición de ruido de fondo fue de un minuto.

#### **4.4.2. Entrevista con pacientes**

Antes de aplicar la audiometría, se realizó una conversación previa con los pacientes para conocer datos básicos e información acerca de su afección con respecto al acúfeno, como el tiempo que tiene su acúfeno, causa o causas que lo provocaron, tratamiento recibido, etc. Además se dio una explicación más profundizada acerca de la Terapia de Ambiente Acústicamente Enriquecido para que los pacientes se familiaricen con esta.

Se le informó también que el tiempo mínimo de la terapia es de dos meses, según Schaette et al., (2010).

Además, se le entregó una carpeta con documentos relacionados con la terapia:

- Carta de compromiso. Ver ANEXO 6.
- Guía del paciente. Ver ANEXO 7.
- Hoja de seguimiento. Ver ANEXO 8.

Esta parte del proceso tuvo un tiempo aproximado de veinte minutos por cada paciente.



#### 4.4.3. Audiometría

Se procedió a aplicar la audiometría a los pacientes para obtener su curva de pérdidas. Previo a la audiometría los pacientes recibieron una explicación acerca del funcionamiento del programa TFC Monoaural, y además probaron este programa para no tener inconvenientes en la audiometría final.



Figura 48. Paciente iniciando el proceso de audiometría con el programa TFC Monoaural.

El proceso de audiometría tuvo una duración de aproximadamente veinte y cinco minutos por cada oído, es decir, una duración total aproximada de cincuenta minutos.

Paralelamente a este proceso, se realizó la medición de niveles (explicado en el punto 4.3.3.1. *Proceso de medición*) para la futura compensación de respuesta de audífonos.

Esta fase tuvo una duración total de 50 minutos, incluyendo la medición de ambos audífonos.



Figura 49. Ejemplo de proceso de medición de niveles de audífonos.

#### 4.4.4. Umbral de pérdida auditiva de los pacientes con acúfeno

En la tabla 8 se muestran los valores obtenidos de las audiometrías realizadas a los pacientes, para poder realizar la generación de tonos, los valores se encuentran en unidades dBA. Además, entre paréntesis se muestra la diferencia entre el umbral del paciente y el umbral MAP (Minimum Audible Pressure), resaltando las diferencias mayores o iguales a 20 dB, ya que desde ese valor se considera una pérdida auditiva notoria.

Tabla 7. Valores del umbral mínimo auditivo

U	MAP ( minimum audible pressure )						
Hz	125	250	500	1000	2000	4000	8000
dB	28	18	9,7	6,8	13	10,3	19,1

Tabla 8. Valores del umbral auditivo de los pacientes y diferencias con umbral MAP (minimum audible pressure).

UMBRAL DE PERDIDA AUDITIVA								
Oído	Paciente/Umbral de fq	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
OI	1	37(9)	29(11)	40(30)	41(34,2)	35(22)	37(26,7)	48(28,9)
OD	1	30(2)	14(-4)	21(11,3)	27(20,2)	18(5)	22(11,7)	35(15,9)
OI	2	43(15)	41(23)	12(2,3)	20(13,2)	52(39)	59(48,7)	60(40,9)
OD	2	63(35)	58(40)	17(7,3)	26(19,2)	17(4)	33(22,7)	38(18,9)
OI	3	21(-7)	19(1)	9(-0,7)	10(3,2)	20(7)	24(13,7)	12(-7,1)
OD	3	31(3)	34(16)	21(11,3)	27(20,2)	45(32)	43(32,7)	15(-4,1)
OI	4	26(-2)	17(-1)	24(-14,3)	19(12,2)	22(9)	41(30,7)	73(53,9)
OD	4	33(5)	19(1)	18(8,3)	20(13,2)	20(7)	21(10,7)	30(10,9)
OI	5	22(-6)	12(-6)	17(7,3)	15(8,2)	24(11)	12(1,7)	32(12,9)
OD	5	21(-7)	13(-5)	14(4,3)	13(6,2)	17(4)	16(5,7)	28(8,9)
OI	6	20(-8)	10(-8)	43(33,3)	43(36,2)	51(38)	48(37,7)	54(34,9)
OD	6	27(-1)	20(2)	40(30,3)	40(33,2)	42(29)	49(38,7)	50(30,9)
OI	7	35(7)	32(14)	13(3,3)	24(17,2)	20(7)	38(27,7)	46(26,9)
OD	7	42(14)	56(38)	60(50,3)	52(45,2)	50(37)	47(36,7)	73(53,9)
OI	8	27(-1)	24(6)	17(7,3)	33(26,2)	26(13)	32(21,7)	46(26,9)
OD	8	35(7)	30(12)	33(23,3)	47(40,2)	33(20)	38(27,7)	40(20,9)
OI	9	27(-1)	28(10)	9(-0,7)	14(7,2)	23(10)	44(33,7)	60(40,9)
OD	9	28(0)	29(11)	14(4,3)	10(3,2)	18(5)	46(35,7)	58(38,9)
OI	10	24(-4)	16(-2)	16(6,3)	15(8,2)	20(7)	66(55,7)	65(45,9)
OD	10	22(-6)	17(-1)	28(18,3)	14(7,2)	13(0)	19(8,7)	26(6,9)
OI	11	32(4)	13(-5)	26(16,3)	19(12,2)	22(9)	25(14,7)	48(28,9)
OD	11	40(12)	23(5)	32(22,3)	27(20,2)	21(8)	21(10,7)	40(20,9)
OI	12	34(6)	23(5)	48(38,3)	42(35,2)	36(23)	32(21,7)	51(31,9)
OD	12	36(8)	23(5)	30(20,3)	20(13,2)	20(7)	21(10,7)	42(22,9)
OI	13	32(4)	27(9)	49(39,3)	20(13,2)	22(9)	34(23,7)	43(23,9)
OD	13	37(9)	23(5)	33(23,3)	31(24,2)	35(22)	30(19,7)	38(18,9)
OI	14	24(-4)	19(1)	37(27,3)	32(25,2)	27(14)	50(39,7)	54(34,9)
OD	14	21(-7)	20(2)	33(23,3)	28(21,2)	25(12)	43(32,7)	50(30,9)

#### 4.4.5. Acufenometría

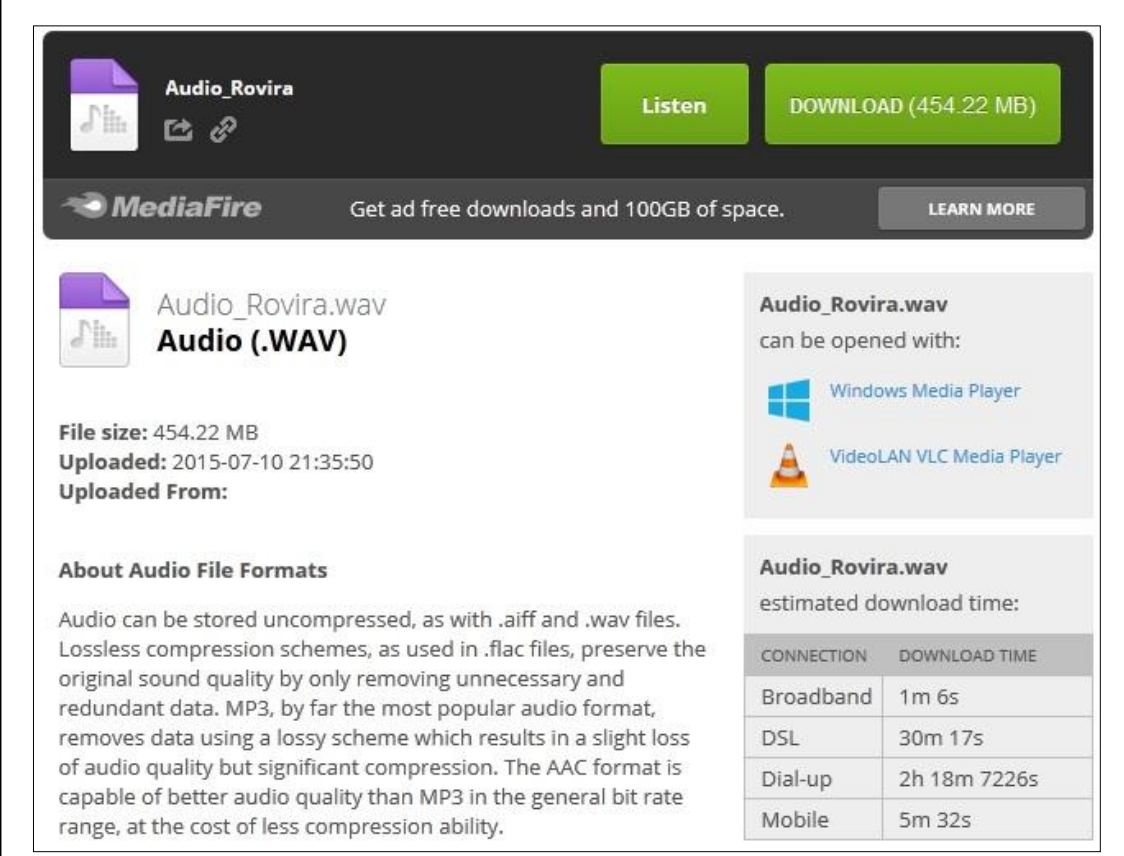
Para realizar la acufenometría se empleó el programa Evaluador de Tinnitus especificado en la sección 4.3.4, para obtener las principales características del acúfeno (localización, espectro, timbre característico, ancho de banda y funciones de inhibición residual) de cada paciente (Larrea, 2015).

#### 4.4.6. Evaluación de datos obtenidos

Una vez obtenidos los datos necesarios de cada paciente (curva de pérdidas y respuesta en frecuencia de audífonos) se procedió a la generación de las señales acústicas para su tratamiento mediante el programa **EAE1**.

El archivo fue generado en el software de Matlab, en formato.wav y editado en el software de edición Adobe Audition, para lograr así una señal de treinta minutos, que es el tiempo necesario de escucha para el tratamiento.

Los archivos de audio fueron cargados en la página MEDIAFIRE para que los pacientes puedan descargar el archivo para su terapia completo desde cualquier ordenador.



The screenshot shows the MediaFire interface for a file named 'Audio\_Rovira'. At the top, there is a file icon, the name 'Audio\_Rovira', and two buttons: 'Listen' and 'DOWNLOAD (454.22 MB)'. Below this is the MediaFire logo and a promotional message: 'Get ad free downloads and 100GB of space.' with a 'LEARN MORE' button.

The main content area displays the file 'Audio\_Rovira.wav' with a file icon and the text 'Audio (.WAV)'. Below this, it lists the file size as '454.22 MB', the upload date as '2015-07-10 21:35:50', and 'Uploaded From:'. There is also a section titled 'About Audio File Formats' with descriptive text.

On the right side, there is a section titled 'Audio\_Rovira.wav can be opened with:' with icons for 'Windows Media Player' and 'VideoLAN VLC Media Player'. Below that, another section titled 'Audio\_Rovira.wav estimated download time:' contains a table with the following data:

CONNECTION	DOWNLOAD TIME
Broadband	1m 6s
DSL	30m 17s
Dial-up	2h 18m 7226s
Mobile	5m 32s

Figura 50. Audio de paciente en página Mediafire para descargar

#### 4.4.7. Seguimiento a pacientes

La forma de realizar el control de la terapia de cada paciente fue con la hoja de seguimiento, y además mediante llamadas telefónicas por parte de las

personas encargadas de la validación cada 15 días, con preguntas específicas acerca del avance del tratamiento, además para evitar que las personas abandonen la terapia y conocer si tienen alguna dificultad con respecto a la misma.

#### **4.4.8. Segunda sesión presencial con pacientes**

Se programó una segunda sesión con los pacientes luego de las diez semanas concordadas, para conocer su grado de mejoría después del tiempo necesario de tratamiento. Las personas fueron evaluadas nuevamente con los cuestionarios THI y TRQ y se realizó una entrevista correspondiente para conocer su estado con respecto a la terapia de Ambiente Acústicamente Enriquecido. Algunas de las preguntas realizadas en las entrevistas fueron:

- ¿Ha sentido mejoría con el tratamiento de Ambiente Acústicamente Enriquecido?
- Si ha sentido mejoría, ¿cuál es el grado de mejoría?
- ¿Qué tan cómodo(a) se sintió al seguir este tratamiento?
- ¿Tuvo alguna molestia en el transcurso del tratamiento?

Además se les dio la opción de poder continuar con la terapia si el paciente lo requiere.

## **5. ANÁLISIS DE RESULTADOS**

Una vez finalizado los dos primeros meses de tratamiento, se realizó nuevamente una cita con los pacientes para realizar los cuestionarios y evaluar la terapia.

Teniendo en cuenta la muestra obtenida de 14 pacientes, los cuales fueron tratados con la terapia EAE, estos son los datos obtenidos:

### **5.1. Datos básicos de los pacientes**

A continuación se indican las tablas y gráficos de la información básica de los pacientes.

Tabla 9. Frecuencia y porcentaje por género.

	Género	
	Hombre	Mujer
Frecuencia	9	5
Porcentaje	64	36

Tabla 10. Valores por edad de los pacientes.

Edad	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
	45	11	30	65

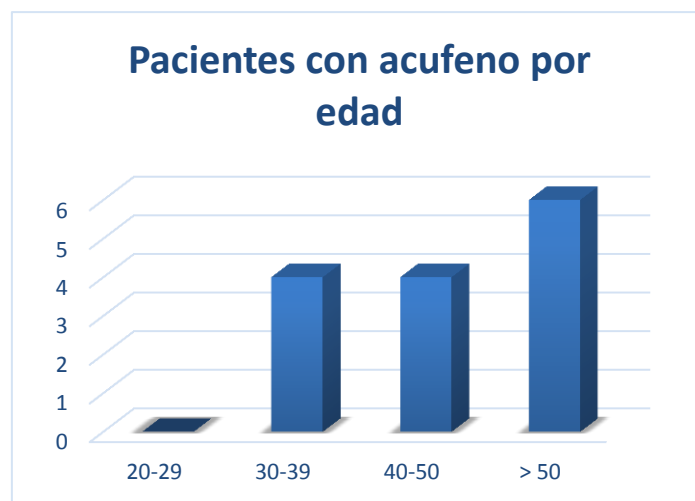


Figura 51. Pacientes con acufeno por edad

Tabla 11. Frecuencia y porcentaje por nivel de estudios.

	<b>Nivel de Estudios</b>			
	<b>Sin estudios</b>	<b>Estudios Primarios</b>	<b>Estudios Secundarios</b>	<b>Estudios Universitarios</b>
<b>Frecuencia</b>	0	0	8	6
<b>Porcentaje</b>	0	0	57	43

Tabla 12. Frecuencia y porcentaje por localización del acúfeno.

	<b>Localización</b>		
	<b>Oído Izquierdo</b>	<b>Oído Derecho</b>	<b>Bilateral</b>
<b>Frecuencia</b>	5	2	7
<b>Porcentaje</b>	36	14	50

Tabla 13. Frecuencia y porcentaje tipo de acúfeno.

	<b>Tipo</b>			
	<b>Pitido</b>	<b>Zumbido</b>	<b>Siseo</b>	<b>Otro</b>
<b>Frecuencia</b>	8	2	2	2
<b>Porcentaje</b>	57	15	14	14

Tabla 14. Frecuencia y porcentaje por tiempo de evolución del acúfeno.

	<b>Tiempo de evolución</b>				
	<b>3 – 6 meses</b>	<b>6 – 1 año</b>	<b>1 año – 3 años</b>	<b>3 – 6 años</b>	<b>&gt;6 años</b>
<b>Frecuencia</b>	2	2	3	4	3
<b>Porcentaje</b>	14	14	22	29	21

Tabla 15. Frecuencia y porcentaje por problemas auditivos asociados.

	<b>Problemas auditivos asociados</b>	
	<b>Si</b>	<b>No</b>
<b>Frecuencia</b>	7	7
<b>Porcentaje</b>	50	50

Tabla 16. Frecuencia y porcentaje por consumo de medicamentos.

	<b>Consumo de medicamentos</b>	
	<b>Si</b>	<b>No</b>
<b>Frecuencia</b>	7	7
<b>Porcentaje</b>	50	50

## 5.2. Resultados generales

A continuación se detallan los resultados obtenidos después de la terapia mediante los cuestionarios respectivos.



### 5.2.1. Resultados según el cuestionario THI

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos mediante el cuestionario THI (Tinnitus Handicap Inventory) detallado específicamente en la sección 4.1.2.1. La reducción del grado de tinnitus se aprecia en la columna Diferencia, y los valores son negativos ya que se hace una comparación de los valores post tratamiento con los valores pre tratamiento.

Tabla 17. Resultado de las terapias auditivas realizadas (THI).

<b>Paciente</b>	<b>THI Inicial</b>	<b>THI Final</b>	<b>Diferencia</b>
Paciente 1	30	14	-16
Paciente 2	94	42	-52
Paciente 3	54	4	-50
Paciente 4	40	24	-16
Paciente 5	12	4	-8
Paciente 6	38	38	0
Paciente 7	10	16	6
Paciente 8	32	8	-24
Paciente 9	44	38	-6
Paciente 10	54	14	-40
Paciente 11	24	4	-20
Paciente 12	32	8	-24
Paciente 13	16	14	-2
Paciente 14	42	18	-24
<b>Valor medio</b>	<b>37,3</b>	<b>17,5</b>	
<b>Desviación estándar</b>	<b>26,6</b>	<b>12,6</b>	

En la tabla 17 se muestra los valores de los cuestionarios antes y después del tratamiento, se observa la dispersión (desviación estándar) de los datos, mostrando un menor intervalo en los valores después de haber recibido tratamiento, según el cuestionario THI.

### **5.2.2. Resultados según el cuestionario TRQ**

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos mediante el cuestionario TRQ (Tinnitus Reaction Questionnaire) detallado específicamente en la sección 4.1.2.2. De la misma forma que en los resultados con THI, la reducción del grado de tinnitus se aprecia en la columna Diferencia, y los valores son negativos ya que se hace una comparación de los valores post tratamiento con los valores pre tratamiento.

Tabla 18. Resultado de las terapias auditivas realizadas (TRQ).

<b>Paciente</b>	<b>TRQ Inicial</b>	<b>TRQ Final</b>	<b>Diferencia</b>
Paciente 1	14	12	-2
Paciente 2	76	16	-60
Paciente 3	39	2	-37
Paciente 4	13	8	-5
Paciente 5	17	6	-11
Paciente 6	8	8	0
Paciente 7	4	4	0
Paciente 8	42	15	-27
Paciente 9	26	24	-2
Paciente 10	41	14	-27
Paciente 11	22	4	-18
Paciente 12	14	0	-14
Paciente 13	19	21	-3
Paciente 14	36	4	-32
<b>Valor medio</b>	<b>26,5</b>	<b>9,85</b>	
<b>Desviación estándar</b>	<b>18,2</b>	<b>7</b>	

Al igual que en la tabla 17, en la tabla 18, los valores de la desviación estándar de los cuestionarios después del tratamiento revela un menor intervalo de dispersión en los datos, según el cuestionario TRQ.

### **5.3. Análisis Estadístico**

#### **5.3.1. Tipo de prueba:**

Para realizar el respectivo análisis estadístico del experimento, se aplicará una prueba t de student para dos muestras relacionadas; es la que se aplica en estudios de tipo longitudinal, o sea, cuando se realizan medidas en dos momentos distintos de tiempo, a esta prueba se la conoce también con el nombre de “antes y después”. El objetivo de esta prueba es comparar dos medidas en un mismo grupo antes y después de un tratamiento, en este caso la terapia de Ambiente Acústicamente Enriquecido para tratar el tinnitus.

En la primera prueba se utilizarán los datos obtenidos por el cuestionario para acúfenos THI.

#### **5.3.1.1. Prueba de Hipótesis**

La prueba de hipótesis para el análisis estadístico es el *grado de tinnitus* que presentan los pacientes.

#### **Grado de tinnitus:**

Se está evaluando el efecto que tiene el tratamiento mediante estímulos EAE sobre el tinnitus de los pacientes. Esta comparación se realiza de los datos de los 14 pacientes que durante diez semanas probaron el tratamiento.

#### **5.3.1.2. Hipótesis de investigación**

Habrá una diferencia relevante entre el grado de tinnitus de los pacientes antes de someterse al tratamiento sonoro (pre-test) y el grado de tinnitus después de someterse al tratamiento (post-test).

#### **5.3.1.3. Hipótesis nula ( $H_0$ )**

No hay una diferencia importante entre las medias del grado del tinnitus antes y después del tratamiento.

#### **5.3.1.4. Hipótesis alterna ( $H_1$ )**

Hay una diferencia importante entre las medias del grado del tinnitus antes y después del tratamiento.

### 5.3.1.5. Alfa ( $\alpha$ )

Porcentaje de error que se puede presentar al realizar la prueba, en este tipo de pruebas se aplica un porcentaje de 5%, es decir 0,05.

### 5.3.1.6. Valor t (t-test)

Es el cálculo entre las medias poblacionales de ambas muestras, el cual nos da una estimación de los valores poblacionales, tomados en un grupo reducida de personas, a partir de los datos muestrales.

### 5.3.2. Aplicación con datos de cuestionario THI

En las siguientes tablas se muestra la información obtenida según el procesamiento de datos del cuestionario THI, vale recalcar que la variable Tinnitus 0 corresponde a datos de los pacientes antes del tratamiento, y Tinnitus 1 a datos de los pacientes después del tratamiento.

Tabla 19. Resumen del procesamiento de los casos THI.

	Casos					
	Válidos		Perdidos		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
Tinnitus0	14	100,0%	0	,0%	14	100,0%
Tinnitus1	14	100,0%	0	,0%	14	100,0%

Como se puede apreciar en la tabla, el porcentaje de datos válidos es de 100%, es decir, no existen valores perdidos.

#### 5.3.2.1. Pruebas de muestras relacionadas

Las siguientes tablas nos indican la diferencia de valores de media antes y después del tratamiento. Y se analizará si la diferencia entre medias es o no significativa.

Tabla 20. Estadísticos de muestras relacionadas THI.

	Media	N	Desviación típ.	Error típ. De la media
Par1 Tinnitus0	37,29	14	21,435	5,729
Tinnitus1	17,57	14	13,154	3,516

Tabla 21. Prueba de muestras relacionadas THI.

	Diferencias relacionadas					t	gl	Sig. (bilateral)
	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia				
				Inferior	Superior			
Tinnitus0- Tinnitus1	19,714	17,852	4,771	9,407	30,022	4,132	13	0,001

Tabla 22. Conclusión estadística THI.

P-valor (0,001)	<	$\alpha = 0,05$
-----------------	---	-----------------

Como se puede ver en la tabla, el valor de la significancia es mucho más bajo que el valor de alfa, por lo tanto se escoge la siguiente condición:

Si la probabilidad obtenida  $P\text{-valor} \leq \alpha$ , se rechaza  $H_0$ , se acepta  $H_1$ .

Si la probabilidad obtenida  $P\text{-valor} > \alpha$ , se acepta  $H_0$ .

El valor t de la prueba se obtiene mediante una tabla gráfica t-student, con los grados de libertad de la prueba y el valor de probabilidad p, dándonos como resultado un  $t = 4,132$ .

Esto nos quiere decir que hay una diferencia representativa entre las medias del grado de tinnitus de los pacientes antes y después del tratamiento. Por lo que se concluye, que *la terapia de Ambiente Acústicamente Enriquecido si tiene efectos importantes en el grado de tinnitus de los pacientes según los valores de THI.*

### 5.3.3. Aplicación con datos de cuestionario TRQ

En las siguientes tablas se muestra la información obtenida según el procesamiento de datos del cuestionario TRQ, vale recalcar que la variable Tinnitus 0 corresponde a datos de los pacientes antes del tratamiento, y Tinnitus 1 a datos de los pacientes después del tratamiento.

Tabla 23. Resumen del procesamiento de los casos TRQ.

	Casos					
	Válidos		Perdidos		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
Tinnitus0	14	100,0%	0	,0%	14	100,0%
Tinnitus1	14	100,0%	0	,0%	14	100,0%

Como se puede apreciar en la tabla, el porcentaje de datos válidos es de 100%, es decir, no existen valores perdidos.

#### 5.3.3.1. Pruebas de muestras relacionadas

Las siguientes tablas nos indican la diferencia de valores de media antes y después del tratamiento. Y se analizará si la diferencia entre medias es o no significativa.

Tabla 24. Estadísticos de muestras relacionadas TRQ.

	Media	N	Desviación típ.	Error típ. De la media
Par1 Tinnitus0	26,50	14	18,928	5,059
Tinnitus1	9,86	14	7,305	1,952

Tabla 25. Prueba de muestras relacionadas TRQ.

	Diferencias relacionadas					t	gl	Sig. (bilateral)
	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia				
				Inferior	Superior			
Tinnitus0- Tinnitus1	16,643	18,084	4,833	6,202	27,084	3,444	13	0,004

Tabla 26. Conclusión estadística TRQ.

P-valor (0,004)	<	$\alpha = 0,05$
-----------------	---	-----------------

Como se puede ver en la tabla, el valor de la significancia es más bajo que el valor de alfa, por lo tanto se escoge la siguiente condición:

Si la probabilidad obtenida  $P\text{-valor} \leq \alpha$ , se rechaza  $H_0$ , se acepta  $H_1$ .

Si la probabilidad obtenida  $P\text{-valor} > \alpha$ , se acepta  $H_0$ .

Para obtener el valor t de la prueba se hace uso de los grados de libertad de la función y el valor p, dándonos como resultado un  $t = 3,44$

Esto nos quiere decir que hay una diferencia representativa entre las medias del grado de tinnitus de los pacientes antes y después del tratamiento. Por lo que se concluye, que *la terapia de Ambiente Acústicamente Enriquecido si tiene efectos importantes en el grado de tinnitus de los pacientes según los valores de TRQ.*

## 6. ANÁLISIS ECONÓMICO

En este capítulo se explica los costos del proyecto que muestran cuánto se dinero se invirtió para realizar este trabajo y además, dos propuestas económicas que se recomiendan en el caso que el proyecto de tratamiento con Ambiente Acústicamente Enriquecido para acúfenos sea aplicado en el país.



## 6.1. Costos del proyecto

Tabla 27. Costos del proyecto.

Descripción	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
Diseño gráfico de publicidad	3	\$4,00	\$12,00
Impresiones	293	\$0,10	\$53,30
Transporte	26	\$0,25	\$6,50
Materiales	1	\$5,00	\$5,00
Remuneración a pacientes	14	\$25,00	\$350,00
Imprevistos	1	\$25,00	\$25,00
<b>TOTAL</b>			<b>\$451,80</b>

## 6.2. Propuesta económica.

Para poder comercializar las terapias EAE se ha sugerido dos opciones:

### 6.2.1 Venta de tonos sin incluir equipos

Consiste en la adquisición de los tonos por parte de los pacientes con acúfeno, realizando la venta solamente de los archivos de audio y la calibración de los equipos propios del paciente mediante las instituciones de salud pública y privada,

Ya que las terapias tienen una duración mínima de dos meses por lapsos de media hora al día, podemos estimar un costo el cual pueda ser asequible para los pacientes y teniendo referencia el tiempo utilizado para la calibración de equipos, se proponen los siguientes precios:

Tabla 28. Primera propuesta económica.

Creación de Tonos para terapia	\$300,00
Calibración de equipos del paciente (teniendo en cuenta las mediciones realizadas por frecuencia de 1/6 de octava tanto en audífono derecho, como izquierdo).	\$150,00
<b>TOTAL</b>	<b>\$450,00</b>

En conclusión, la propuesta personal sería cobrar por este servicio el valor total de **\$450,00**. Ya que no incluye la entrega de los equipos por parte del personal especializado.

### 6.2.2 Venta de tonos con reproductor

Venta de los tonos en un formato físico, incluyendo la venta de audífonos y equipo reproductor de tonos ya calibrados. Para esta propuesta se sugieren los siguientes precios:

Tabla 29. Segunda propuesta económica.

Audífonos + Reproductor calibrados	\$400,00
Creación de Tonos para terapia	\$300,00
<b>TOTAL</b>	<b>\$700,00</b>

Ya que el personal especializado entregaría todo el equipamiento y los tonos para la terapia el precio total sería de \$700,00.

Mantenemos estos precios, haciendo referencia a equipos utilizados para el tratamiento de acúfenos.

## 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### CONCLUSIONES:

Se concluye que hubo una gran diferencia entre el grado de tinnitus de los participantes antes del tratamiento y después del tratamiento, ya que, según los valores medios del cuestionario THI se redujo el tinnitus de los pacientes en un 52,8% y según el cuestionario TRQ se redujo en un 62,8%.

Se logró cumplir con toda la planificación respectiva de la terapia, que incluyó reclutamiento y selección de pacientes y elección de equipos necesarios como interfaces y audífonos.

Se pudo tratar a los pacientes seleccionados aplicando los recursos informáticos para audiometría y acufenometría, y además, se hizo el seguimiento del proceso para comprobar que los pacientes continúen con el tratamiento.

Se consiguió evaluar a los pacientes en las dos entrevistas presenciales con los respectivos cuestionarios, apreciando, en la mayoría de los casos, una diferencia considerable de los valores pre tratamiento y post tratamiento.

Mediante los resultados obtenidos se comprueba, una vez más, que el tratamiento para acúfenos de Ambiente Acústicamente Enriquecido es el tratamiento de estímulos sonoros más recomendable para contrarrestar el tinnitus, porque estimula el sistema auditivo de cada paciente de forma selectiva y personalizada.

Según la segunda entrevista con cada paciente, ellos mostraron un gran cambio en su entorno pudiendo realizar sus actividades diarias, las cuales habitualmente con el padecimiento del acúfeno no podían realizarlas, otro aspecto favorable es que algunos pacientes pudieron reconciliar el sueño en las noches.

Se pudo concluir, al ver la apertura de las personas que aceptaron esta nueva alternativa para su enfermedad, que tanto especialistas y pacientes dentro de

la ciudad desconocen de prácticas alternativas de tratamiento auditivos, ateniéndose al uso de medicamentos y tratamiento comunes.

Se concluye que, la terapia de Ambiente Acústicamente Enriquecido y otras terapias sonoras, son aún desconocidas en el medio local; y aún se aplican tratamientos comunes con medicamentos

### **RECOMENDACIONES:**

Es recomendable, contar con un sitio destinado solamente para aplicar los procesos necesarios de este tratamiento: Audiometría, calibración de audífonos de pacientes y acufenometría. Este sitio deberá tener un grado alto de aislamiento y acondicionamiento acústico, y con el equipamiento adecuado de manera permanente.

Es necesario aplicar el tratamiento de manera presencial, utilizando los tres programas mostrados en este trabajo de titulación, ya que según la experiencia adquirida en el proceso, si no se lo hace de esta forma, se podrían presentar resultados audiométricos no fiables y además habrían varios inconvenientes para realizar la calibración de audífonos de cada paciente.

Sería interesante, tanto para médicos especialistas, personas que padezcan de la afección del tinnitus y para personas que contribuyan con esta investigación, que este tratamiento sea probado y aplicado en centros médicos de otorrinolaringología del país; cooperando de esta manera con la sociedad y sobre todo con los pacientes con acúfenos.

Se recomienda el mantenerse un seguimiento a los pacientes los cuales han sido sometido a las terapias para ver la evolución de su acúfeno con relación al tiempo del tratamiento y poder obtener datos con mayor relevancia en un futuro.

Es recomendable el realizar una guía práctica con estándares respectivos para los tratamientos, ya que el procedimiento puede ser reiterado, y sería más sencillo tanto para pacientes y médicos la aplicación de la terapia, con el fin de que pueda llegar a ser empleada en cualquier centro médico.

## REFERENCIAS

- Alegría, F., Navarrete, M., Papic, Y. y Salazar, A. (2005). *Comparación de metodologías ascendente y descendente para la búsqueda de umbral en audiometría tonal*. Santiago, Chile: Facultad de medicina Universidad de Chile.
- Bejarano, W. (2015). *Análisis comparativo de umbrales auditivos en niños y adultos*. Quito, Ecuador: Universidad de las Américas.
- Choy, D. (2004). *Method and apparatus for treatment of monofrequency tinnitus utilizing sound wave cancellation techniques*. Patente US 10/979,452.
- Choy, D. (2007). *Method and apparatus for treatment of predominant-tone y tinnitus*. Patente US 2007/0093733 A1.
- Cobo, P., Bañuls, V., Delgado, C., Pons, J. (1994). *Potenciales evocados. Ventanas al sistema auditivo*. Madrid, España: CSIC.
- Cobo, P. (1997). *Control Activo del Ruido. Principios y Aplicaciones*. Madrid, España: Editorial CSIC, Colección Textos Universitarios.
- Cobo, P. (2006). *Acúfenos. Revisión del estado del arte*. Madrid, España: CSIC.
- Cobo, P. (2008). *Revisión de las terapias sonoras del acúfeno*. Madrid, España: CSIC.
- Cobo, P. (2010). *Estímulos acústicamente enriquecidos para la terapia sonora del acúfeno*. Madrid, España: CSIC.
- Cobo, P. (2010). *Estímulos para la terapia sonora del acufeno basados en la curva de pérdidas*, España: CSIC.
- Cobo, P. (2010). *Propiedades de los estímulos tonos PIP*. Madrid, España: CSIC.

- Cobo, P., Ruiz, H., Diges, I., Herraiz, C., & Siguero, M. (2010). In *Proceedings of the 2do Congreso Internacional de Acústica. Terapias sonoras del acúfeno*.
- Cobo, P. (2014). *Ambiente acústicamente enriquecido para la terapia sonora del acúfeno con secuencias de tonos Gamma*. Madrid, España: CSIC.
- Durrant, J.D. y Lovrinic, J.H. (1977). *Bases of Hearing Science.*, Baltimore, Estados Unidos de América: Willians&Wilkin.
- Eggermont J.J., Roberts, L.E. (2004). *The neuroscience of tinnitus. Trends in neurosciences*. Alberta, Canadá: Department of Psychology, University of Calgary.
- Eggermont, J. J. (2006). *Properties of correlated neural activity clusters in cat auditory cortex resemble those of neural assemblies. Journal of neurophysiology*, 96(2), 746-764
- Eggermont, J. (2012). *The Neuroscience of tinnitus*. Oxford, Reino Unido: Universidad de Oxford.
- Eggermont, J. (2014). *Three decades of tinnitus*. New York, Estados Unidos de América: Springer.
- Flor, H., Hoffmann, D., Struve, M., & Diesch, E. (2004). *Auditory discrimination training for the treatment of tinnitus. Applied psychophysiology and biofeedback*, 29(2), 113-120.
- Gálvez, F., Pegalajar, J. y Espinosa, J. (2006). *La evaluación del malestar psicológico asociado al acúfeno mediante el Tinnitus Reaction Questionnaire: Adaptación a la población española*. Linares, España: Centro Educativo ciudad de Linares.
- Goldstein, B., Shulman, A., & Avitable, M. J. (2007). *Clear Tinnitus®, Middle-Ear Pressure, and Tinnitus Relief: A Prospective Trial. International Tinnitus Journal*, 13(1), 29.

- Hermes, D. J., Eggermont, J. J., Aertsen, A. M. H. J., & Johannesma, P. I. M. (1982). *Spectro-temporal characteristics of single units in the auditory midbrain of the lightly anaesthetised grass frog (Rana temporaria L.) investigated with tonal stimuli. Hearing research, 6(1), 103-126.*
- Herráiz, C., Plaza, G., & Toledano, A. (2003). *Estudio de la hiperacusia en una unidad de acúfenos. Acta Otorrinolaringológica Española, 54(9), 617-622.* Madrid, España: Ars Medica.
- Herraiz, C. (2004): *Tratamiento del acúfeno mediante técnicas de reentrenamiento.* Madrid, España: Universidad Autónoma de Madrid.
- Herráiz, C., Diges, I., Cobo, P., Noreña, A., Hernández, J. y Aparicio, J.M. (2011). *Enriched acoustic environment with spectrum matched to the patient hearing loss curve for tinnitus sound therapy.* Florianópolis, Brasil.
- Henry, J. A., Dennis, K. C., & Schechter, M. A. (2005). *General Review of Tinnitus Prevalence, Mechanisms, Effects, and Management. Journal of speech, language, and hearing research, 48(5), 1204-1235.*
- Hazell, J. W., & Jastreboff, P. J. (1990). *Tinnitus. I: Auditory mechanisms: a model for tinnitus and hearing impairment. The Journal of otolaryngology, 19(1), 1-5.*
- Jastreboff P. J. y Jastreboff M.M. (2000). *Tinnitus Retraining Therapy (TRT) as a method for treatment of tinnitus and hyperacusis patients.* Londres, Inglaterra: J. Am. Acad. Audiol, 11: 162-177.
- Kaltenbach, J. A., Zhang, J., & Finlayson, P. (2005). *Tinnitus as a plastic phenomenon and its possible neural underpinnings in the dorsal cochlear nucleus. Hearing research, 206(1), 200-226.* Detroit, Estados Unidos de América: Department of Otolaryngology, Wayne State University.
- Kaltenbach, J. A. (2006). *The dorsal cochlear nucleus as a participant in the auditory, attentional and emotional components of tinnitus. Hearing*

*research*, 216, 224-234. Detroit, Estados Unidos de América: Department of Otolaryngology, Wayne State University.

Korn, T. S. (1969). *Theory of audio information. Acta Acústica united with Acústica*, 22(6), 336-344.

Larrea, M. (2015). *Optimización de estímulos burst y pip para terapias de Ambiente acústicamente enriquecido y desarrollo de Herramientas computacionales para evaluaciones Psicoacústicas*. Quito, Ecuador: Universidad de las Américas.

Lenhardt M. L. (2004). *Tinnitus devices*. Virginia, Estados Unidos de América: Colegio médico de Virginia.

González, M. L., & Fernández, R. L. (2004). *Terapia sonora secuencial en acúfenos. Acta Otorrinolaringológica Española*, 55(1), 2-8.

López, M. y Ortega, F. (2010). *Acúfeno como señal de malestar*. Granada, España. Sociedad Andaluza de Otorrinolaringología.

Maggiolo, D. (2003). *Apuntes para acústica musical*. Recuperado el 2 de Junio de 2016 de <http://www.eumus.edu.uy/docentes/maggiolo/acuapu/>.

MathWorks. (2015): *MATLAB R2015a*. Natick, Massachusetts, United States.

Mühlnickel W., Elbert T., Taub E. y Flor H. (1998). *Reorganization of auditory cortex in tinnitus*. Proc. Washington, Estados Unidos de América: National Academy of Sciences of the USA.

Neuman, A. C. (2005). *Central auditory system plasticity and aural rehabilitation of adults. Journal of rehabilitation research and development*, 42(4), 169.

Newman, C. W., Jacobson, G. P., & Spitzer, J. B. (1996). *Development of the tinnitus handicap inventory. Archives of Otolaryngology–Head & Neck Surgery*, 122 (2), 143-148



- Newman, C. W., Sandridge, S. A., & Jacobson, G. P. (1998). *Psychometric adequacy of the Tinnitus Handicap Inventory (THI) for evaluating treatment outcome. JOURNAL-AMERICAN ACADEMY OF AUDIOLOGY, 9, 153-160.*
- Noback, C. y Demarest, R. (1980). *Sistema nervioso humano. Fundamentos de neurobiología.* México DF, México: McGraw Hill.
- Noreña, A.J. y Chery-Croze, S. (2007). *Enriched acoustic environment rescales auditory sensitivity.* NeuroReport 18(12): 1251-1255.
- Recanzone, G. A., Schreiner, C. E., & Merzenich, M. M. (1993). *Plasticity in the frequency representation of primary auditory cortex following discrimination training in adult owl monkeys.* The Journal of Neuroscience, 13(1), 87-103.
- Roberts, L. E., Moffat, G., & Bosnyak, D. J. (2006). *Residual inhibition functions in relation to tinnitus spectra and auditory threshold shift.* Acta Oto-Laryngologica, 126(sup556), 27-33. Ontario, Canadá: Universidad de McMaster.
- Rodríguez, A. (2013). *Terapias auditivas para acúfenos (tinnitus).* Madrid, España: Universidad Politécnica de Madrid.
- Schaette, R., & Kempster, R. (2006). *Development of tinnitus-related neuronal hyperactivity through homeostatic plasticity after hearing loss: a computational model.* European Journal of Neuroscience, 23(11), 3124-3138.
- Schaette, R., & Kempster, R. (2008). *Development of hyperactivity after hearing loss in a computational model of the dorsal cochlear nucleus depends on neuron response type.* Hearing research, 240(1), 57-72.
- Schaette, R., König, O., Hornig, D., Gross, M., & Kempster, R. (2010). *Acoustic stimulation treatments against tinnitus could be most effective when*

*tinnitus pitch is within the stimulated frequency range. Hearing research, 269(1), 95-101. Berlín, Alemania: Elsevier.*

Weisz, N., Voss, S., Berg, P., & Elbert, T. (2004). *Abnormal auditory mismatch response in tinnitus sufferers with high-frequency hearing loss is associated with subjective distress level. BMC neuroscience, 5(1), 1.*

Welch, D. y Dawes, P. (2010). *Personality and perception of tinnitus. Wellington, Nueva Zelanda: The New Zealand Medical Journal.*

Wilson, P. H., Henry, J., Bowen, M., & Haralambous, G. (1991). *Tinnitus Reaction Questionnaire Psychometric Properties of a Measure of Distress Associated With Tinnitus. Journal of Speech, Language, and Hearing Research, 34(1), 197-201. Australia: Universidad de Sydney.*

Zeman, F., Koller, M., Langguth, B., & Landgrebe, M. (2014). *Which tinnitus-related aspects are relevant for quality of life and depression: results from a large international multicentre sample. Health and quality of life outcomes, 12 (1), 1. Ratisbona, Alemania.*

## **ANEXOS**

## ANEXO 1. Publicidad utilizada para reclutamiento de pacientes

### Volante para publicidad de terapia

# TERAPIA AUDITIVA PARA TRATAMIENTO DE ACÚFENOS.

El acúfeno conocido también como "Tinnitus", es la apreciación de un sonido que se produce debido a la actividad en el sistema nervioso.

## Terapia mediante Ambiente Acústicamente Enriquecido (EAE)

### ¿Quiénes lo aplican?

Estudiantes egresados de Ingeniería Acústica, además...

**PhD Carlos Jurado Orellana MSc.**  
Especializado en psicoacústica y supervisor de la tesis.

**Ing. Christiam Garzón, MSc** Director Académico de la carrera de Ingeniería en Acústica y Sonido y estudiante de Doctorado en Acústica de la Universidad Politécnica de Madrid.

Además se cuenta con la asesoría del **Profesor Pedro Cobo Parra**, director de tesis doctoral e Investigador Científico del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) de Madrid.

### El tratamiento NO TIENE NINGÚN COSTO

Paúl Aulestia	0998861736	paulestia@udlanet.ec
Daniel Naranjo Alvarado	0984101623	danaranjo@udlanet.ec
Ing. Christiam Garzón, MSc	0983296627	christiam.garzon@udla.edu.ec
PhD Carlos Jurado Orellana MSc.	0988780591	cjurado.orellana@gmail.com

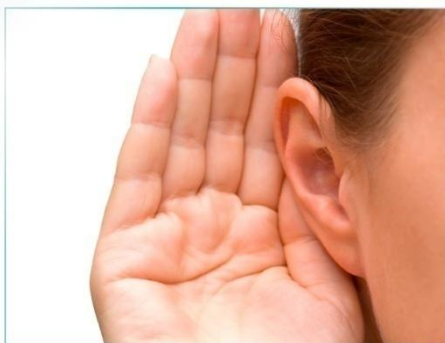
 FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

INGENIERÍA EN SONIDO Y ACÚSTICA 

 CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS



Imagen para publicidad vía web



# Terapia auditiva

## Para tratamiento de acúfenos

Terapia por ambiente acústicamente enriquecido  
El tratamiento **NO TIENE NINGÚN COSTO**

**Paúl Aulestia Coronel**  
paulestia@udlanet.ec  
0998861736

**Daniel Naranjo Alvarado**  
danaranjo@udlanet.ec  
0984101623



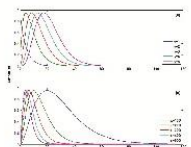
**Ing. Christiam Garzón, MSc**  
christiam.garzon@udla.edu.ec  
0983296627  
3981 000 ext. 121

**PhD Carlos Jurado Orellana MSc**  
c.jurado.orellana@gmail.com  
0988780591



# Tríptico para entregar a pacientes.

<p style="text-align: center;"><b>IMPORTANTE</b></p> <p>Los únicos requisitos para empezar el tratamiento son: poseer un par de audífonos circunaurais (rodean completamente la oreja).</p>  <p>El segundo requisito es firmar la carta de compromiso en la que el paciente se compromete a seguir la terapia por lo menos durante las 10 semanas indicadas y a asistir a las sesiones de control correspondientes.</p> <p>El tratamiento ha sido probado en Europa, mostrando un porcentaje de eficiencia mayor al 70%, por lo que el paciente no corre el riesgo de empeorar su molestia con respecto al acúfeno.</p> <p>El tratamiento <b>NO TIENE NINGÚN COSTO</b>, ya que se trata de una terapia experimental de un trabajo de titulación.</p> <hr/> <p>Paúl Aulestia Coronel paulestia@udlanet.ec 0998861736</p> <p>Daniel Naranjo Alvarado danaranjo@udlanet.ec 0984101623</p> <p>Ing. Christiam Garzón, MSc christiam.garzon@udla.edu.ec 3981 000 ext. 121 0983296627</p> <p>PhD Carlos Jurado Orellana, MSc c.jurado.orellana@gmail.com 0988780591</p>	  	<p style="text-align: center;"><b>PRESENTACIÓN DE TERAPIA AUDITIVA PARA TRATAMIENTO DE ACÚFENOS</b></p> <p style="text-align: center;">Terapia mediante Ambiente Acústicamente Enriquecido (EAE)</p>   
---	---	---

<p style="text-align: center;"><b>TRATAMIENTO PARA ACÚFENOS CON AMBIENTE ACÚSTICAMENTE ENRIQUECIDO</b></p> <p>Acúfeno también como "Tinnitus", es la apreciación de un sonido que se produce debido a la actividad en el sistema nervioso, sin que se genere alguna actividad mecánica vibratoria en el interior de la cóclea.</p>  <p>La definición del tinnitus como un fenómeno plástico muestra que con un tratamiento adecuado de la vía auditiva es factible restituirlo.</p> <p>Gracias a este hecho, se han creado varias terapias auditivas, como el tratamiento de re-entrenamiento (TRT), la terapia por cambio de fase, la terapia discriminatoria (ADT), etc.</p>	<p>Se basa en presentar al paciente una secuencia de tonos de frecuencia aleatoria.</p> <p>La terapia es considerada un tratamiento paliativo. Se basa en los análisis teóricos; se genera un programa informático hecho mediante el software Matlab que se aplicará a los pacientes auditivamente enfermos.</p>  <p>El producto final será la construcción de un estímulo sonoro que se entregará al paciente, en un formato fácilmente reproducible (.wav).</p>	<p>Además se cuenta con la asesoría del Profesor Pedro Cobo Parra, director de tesis doctoral e Investigador Científico del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) de Madrid. Y gracias a la ayuda del PhD Carlos Jurado Orellana MSc. especializado en psicoacústica y supervisor de la tesis.</p>
<p style="text-align: center;"><b>TERAPIA POR AMBIENTE ACÚSTICAMENTE ENRIQUECIDO</b></p> <p>EAE, Consiste en secuencias de tonos, que estimulan la vía auditiva de una manera selectiva. La estimulación es personalizada porque se diseña en base a la curva de pérdidas de audición (audiograma) de cada paciente.</p>  <p>El denominado Estímulo Acústicamente Enriquecido (EAE), es el que posee las características más adecuadas para tratar el acúfeno.</p>	<p style="text-align: center;"><b>ACERCA DEL TRATAMIENTO y ¿quienes lo aplican?</b></p> <p>Somos estudiantes de la Universidad de las Américas UDLA Quito, egresados de la carrera de Ingeniería de Acústica y Sonido de la facultad de Ingeniería y Ciencias Agropecuarias.</p> <p>Lo hacemos con el motivo de realizar satisfactoriamente nuestro trabajo de titulación denominado "Validación de terapias auditivas para tratamiento de acúfenos" perteneciente al tema de acústica fisiológica.</p> <p>Vale recalcar que este trabajo es también un subtema de la tesis doctoral del Ing. Christiam Garzón, MSc (Director académico de la carrera de Ingeniería en acústica y sonido y estudiante de doctorado en acústica de la Universidad Politécnica de Madrid).</p>	<p style="text-align: center;"><b>FASES DEL TRATAMIENTO</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Responder a los cuestionarios que serán enviados por email para conocer la situación actual de la persona con respecto a su acúfeno.</li> <li>2. Someterse a la respectiva audiometría que se aplicará en las instalaciones de la UDLA para obtener la curva de pérdidas y de esta forma generar los tonos PIP los cuales serán entregados al paciente en un cd.</li> <li>3. El paciente deberá escuchar el audio entregado un tiempo de 30 minutos diarios durante 10 semanas.</li> <li>4. Transcurridas las 10 semanas el paciente deberá presentarse a otra sesión en donde se evaluará su estado actual post tratamiento.</li> <li>5. De ser necesario, podrá continuar con su tratamiento pasado las 10 semanas sin ningún compromiso.</li> </ol>



## ANEXO 2. Cuestionario para datos básicos de pacientes

DATOS BÁSICOS DEL PACIENTE		
Nombre completo:	Número de cédula:	
Edad:	Sexo:	
Estado civil:	Nacionalidad:	
Ciudad de nacimiento:	Ciudad de residencia:	
Dirección:	Número telefónico:	
Ocupación:	Nivel de educación:	
<b>ANTECEDENTES PERSONALES PATOLÓGICOS:</b>		
¿Ha padecido usted de otitis?		
¿Ha sido sometido a alguna intervención quirúrgica otorrinolaringológica?		
¿Ha padecido de alguna infección en los oídos en los últimos meses?		
<b>MARQUE SI HA TENIDO ALGUNO DE ESTOS PADECIMIENTOS:</b>		
Problemas de la glándula tiroides:		
Cerumen en los oídos:		
Exposición a ruidos muy fuertes:		
Presencia de cuerpos extraños en los oídos:		
Lesión de cabeza o cuello:		
Pérdida del equilibrio y/o mareos:		
<b>ACÚFENO:</b>		
¿Cuánto tiempo padece usted de acúfeno?		
¿Siente el acúfeno en ambos oídos?		
Según su criterio ¿cuál es el grado de intensidad de su acúfeno? (alto, medio, bajo)		
Describa brevemente cómo escucha usted su acúfeno (pitido, zumbido, siseo, sonido de cascada, otro.)		
Describa si ha visitado antes a algún otorrinolaringólogo o a algún especialista de la audición		
Describa si se ha realizado exámenes clínicos auditivos		
Si se ha realizado exámenes clínicos auditivos, describa cuáles son y cuándo se los hizo		

<b>¿Recibe o ha recibdo tratamiento para su acúfeno?</b>
<b>Si ha recibido tratamiento describa cuál es y desde cuándo lo recibe</b>
<b>¿Consume o ha consumido medicación para su acúfeno?</b>
<b>Si consume o ha consumido medicina describa cuál es y desde cuándo la consume</b>
<b>¿Ha mejorado o no con el tratamiento y/o la medicación para su acúfeno?</b>
<b>Describa el grado de su mejoría (alto, medio, bajo)</b>



### ANEXO 3. Cuestionario THI.

<b>Tinnitus Handicap Inventory</b>			
<b>Nombre del paciente:</b>		<b>Fecha:</b>	
El propósito de este cuestionario es identificar los problemas que usted puede estar experimentando a causa de su tinnitus. Por favor, conteste todas las preguntas. Por favor, no se salte ninguna pregunta.			
	<b>SI</b>	<b>A veces</b>	<b>NO</b>
1. ¿Le resulta difícil concentrarse por culpa de su acúfeno?			
2. Debido a la intensidad del acúfeno ¿le cuesta oír a los demás?			
3. ¿Se enoja a causa de su acúfeno?			
4. ¿Le produce confusión su acúfeno?			
5. ¿Se encuentra desesperado por tener el acúfeno?			
6. ¿Se queja mucho por tener su acúfeno?			
7. ¿Tiene problemas para conciliar el sueño por su acúfeno?			
8. ¿Cree que su problema de acúfenos es insolucionable?			
9. ¿Interfiere su acúfeno en su vida social (salir a cenar, al cine)?			
10. ¿Se siente frustrado por su acúfeno?			
11. ¿Cree que tiene una enfermedad incurable?			
12. ¿Su acúfeno le impide disfrutar de la vida?			
13. ¿Interfiere su acúfeno en su trabajo o tareas del hogar?			
14. ¿Se siente a menudo irritable por culpa de su acúfeno?			
15. ¿Tiene dificultades para leer por culpa de su acúfeno?			
16. ¿Se encuentra usted triste debido a su acúfeno?			
17. ¿Cree que su acúfeno le crea tensiones o interfiere en su relación con familia o amigos?			
18. ¿Es difícil para usted fijar su atención en cosas distintas a su acúfeno?			
19. ¿Cree que su acúfeno es incontrolable?			
20. ¿Se siente a menudo cansado por culpa de su acúfeno?			
21. ¿Se siente deprimido por culpa de su acúfeno?			
22. ¿Se siente ansioso por culpa de su acúfeno?			
23. ¿Cree que su problema de acúfenos le desborda?			
24. ¿Empeora su acúfeno cuando tiene estrés?			
25. ¿Se siente usted inseguro por culpa de su acúfeno?			
Total por columna			
	x4	x2	x0
Puntuación total	0	0	0

## ANEXO 4. Cuestionario TRQ.

TINNITUS REACTION QUESTIONNAIRE					
Nombre del paciente:			Fecha:		
Este cuestionario está diseñado para averiguar qué tipo de efectos de tinnitus ha tenido en su estilo de vida, su bienestar general, etc. Por favor, conteste todas las preguntas <b>subrayando</b> el número que mejor refleja cómo su tinnitus le ha afectado durante la <b>SEMANA PASADA</b> .					
ÍTEMS	Para nada	Una pequeña parte del tiempo	Una parte del tiempo	Una considerable parte del tiempo	Casi todo el tiempo
1. El acúfeno me ha hecho infeliz	0	1	2	3	4
2. El acúfeno ha hecho que me encuentre tenso	0	1	2	3	4
3. El acúfeno ha hecho que esté irritable	0	1	2	3	4
4. El acúfeno ha hecho que esté enojado	0	1	2	3	4
5. El acúfeno me ha hecho llorar	0	1	2	3	4
6. El acúfeno ha hecho que evite situaciones de silencio	0	1	2	3	4
7. El acúfeno ha hecho que esté menos interesado en salir	0	1	2	3	4
8. El acúfeno ha hecho que esté deprimido	0	1	2	3	4
9. El acúfeno ha hecho que esté molesto	0	1	2	3	4
10. El acúfeno ha hecho que me sienta aturdido	0	1	2	3	4
11. El acúfeno "me ha vuelto loco"	0	1	2	3	4
12. El acúfeno no me ha permitido disfrutar de la vida	0	1	2	3	4
13. El acúfeno ha hecho que tenga dificultad para concentrarme	0	1	2	3	4
14. El acúfeno ha hecho que me sea difícil relajarme	0	1	2	3	4
15. El acúfeno me ha hecho sufrir	0	1	2	3	4
16. El acúfeno ha hecho que me sienta indefenso	0	1	2	3	4
17. El acúfeno ha hecho que me sienta frustrado	0	1	2	3	4
18. El acúfeno ha interferido en mi capacidad para trabajar	0	1	2	3	4
19. El acúfeno me ha llevado a la desesperación	0	1	2	3	4
20. El acúfeno ha hecho que evite situaciones ruidosas	0	1	2	3	4
21. El acúfeno ha hecho que evite el contacto con la gente	0	1	2	3	4
22. El acúfeno ha hecho que no tenga esperanza en el futuro	0	1	2	3	4
23. El acúfeno no me ha permitido dormir bien	0	1	2	3	4
24. El acúfeno me ha llevado a pensar en el suicidio	0	1	2	3	4
25. El acúfeno ha hecho que sienta pánico	0	1	2	3	4
26. El acúfeno ha hecho que me sienta atormentado	0	1	2	3	4
<b>TOTAL</b>	0	0	0	0	0



**ANEXO 6. Carta de compromiso entregada a cada paciente**

**CARTA DE COMPROMISO**

Quito,.....de.....del 2015

Yo,..... con C.I. número....., por medio de este escrito me comprometo a realizar la terapia para acúfenos denominada “Terapia de Ambiente Acústicamente Enriquecido”, asistiendo a las sesiones presenciales indicadas y a realizar el respectivo tratamiento en mi hogar por al menos dos (2) meses que es el tiempo indicado por las personas que lo validan.

Estoy consciente de que este tratamiento no es invasivo y que además se considera paliativo, es decir, que me ayudará a aliviar los síntomas que el acúfeno causa sobre mí.

También estoy enterado(a) de que recibiré una remuneración con un saldo total de \$25,00 por colaborar en este tratamiento, debido a que es un trabajo experimental.

.....

## ANEXO 7. Guía del paciente para aplicar terapia.

### TERAPIA SONORA PARA ACÚFENOS POR AMBIENTE ACÚSTICAMENTE ENRIQUECIDO

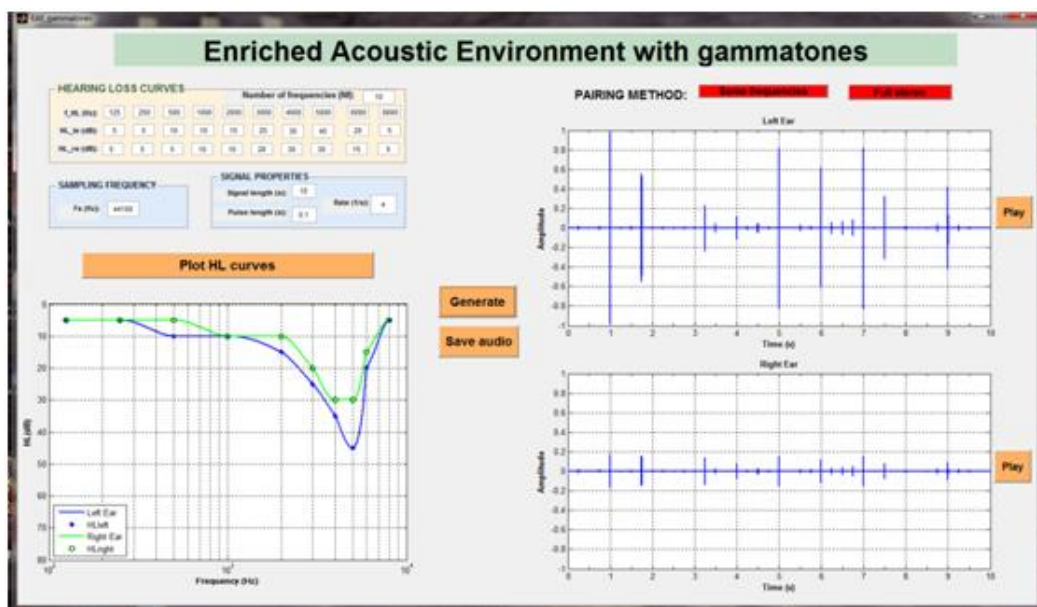
Esta terapia (EAE: Enriched Acoustic Environment) se conoce también como secuencias de tonos pip o tonos burst, estimulan la vía auditiva de forma personalizada y selectiva.

- La estimulación es personalizada, porque es diseñada basándose en la curva de pérdidas auditivas de cada persona en tratamiento.
- La estimulación es también selectiva, debido a que cada tono de la secuencia tiene una curva de respuesta frecuencial muy semejante a las curvas de sintonización de las neuronas de la vía auditiva.

Debido a esto se ha notado que el denominado EAE (Estímulo Acústicamente Enriquecido), es el que tiene las características más adecuadas para tratar el acúfeno.

El EAE se basa en aplicar en el paciente una serie de tonos con frecuencia aleatoria, con amplitud directamente proporcional a la pérdida auditiva perteneciente a esas frecuencias.

La terapia por Ambiente Acústicamente Enriquecido es considerada un tratamiento paliativo. Se basa en los análisis teóricos y con los distintos tipos de estímulos; se genera un programa informático hecho mediante el software Matlab que se aplicará a los pacientes auditivamente enfermos.



*Interfaz para el diseño de un ambiente acústicamente enriquecido*

El producto final de esta Interfaz será la construcción de un estímulo sonoro que se entregará al paciente, en un formato fácilmente reproducible (.wav, por ejemplo) a través de un dispositivo de audio (reproductor de CD, MP3).

Los datos médicos que se necesitan para el transcurso de la aplicación corresponden con la curva de pérdidas, obtenida por medio de un audiograma.

Esta terapia sonora fue aplicada a un número reducido de pacientes: 11 de ellos fueron sometidos a una terapia combinada que incluía estimulación acústicamente enriquecida, tratamiento farmacológico y consejo médico.

Los otros 10 fueron sometidos exclusivamente a terapia sonora. La siguiente tabla resume los resultados. Como se puede notar, se produjo una mejora significativa del estado de los pacientes, medido a través de la escala visual analógica (VAS) y el inventario de discapacidad del acúfeno (THI).

	Sound therapy + Counselling + Pharmacology				Sound therapy exclusively			
	Matched EAE (n=5)		Matched random (n=6)		Matched EAE (n=6)		Matched random (n=4)	
	VAS	THI	VAS	THI	VAS	THI	VAS	THI
Pre	7,5	51	7	70	5	12	6	21
Post	4,25	17,5	4,8	42	2,4	3,5	3,5	11,5
Difference	-3,25	-33,5	-2,2	-28	-2,6	-8,5	-2,5	-9,5

**Resultados de un ensayo preliminar con estímulos acústicamente enriquecidos; según (Herráiz et al., 2011).**

## Indicaciones del Tratamiento:

El tratamiento tiene una duración mínima de dos meses para poder apreciar una mejoría con respecto a su acúfeno.

Usted deberá escuchar el audio entregado durante media hora diaria.

## Cuando realice el tratamiento...

- Asegúrese de que el nivel sonoro sea un nivel cómodo para su audición.
- Procure estar en una posición cómoda.
- Debe encontrarse en un ambiente con poco ruido de fondo.
- Evite distracciones de otras personas
- Evite distracciones de cualquier elemento (celular, televisión, internet, etc.)
- Evite movimientos bruscos.
- **NO** interrumpa el tratamiento.
- Evite encontrarse en estados de ira, tristeza, desesperación, etc.
- No manipule nuevamente el control de nivel sonoro de su dispositivo.

Recuerde que deberá llenar la hoja de seguimiento adjunta con la fecha, hora de inicio y hora de finalización en que se aplica la terapia.

Por último deberá asistir de nuevo a la Universidad de las Américas para evaluar su caso nuevamente mediante el cuestionario correspondiente, y apreciar el grado de su mejoría.

Si tiene alguna duda o inquietud acerca del tratamiento debe comunicarse a los números telefónicos o correos electrónicos de contacto.

Paúl Aulestia Coronel  
paulestia@udlanet.ec  
0998861736

Daniel Naranjo Alvarado  
danaranjo@udlanet.ec  
0984101623

Ing. Christiam Garzón, MSc  
christiam.garzon@udla.edu.ec  
3981 000 ext. 121

*Tomado de: Cobo, P. (2014). Ambiente acústicamente enriquecido para la terapia sonora del acúfeno. Madrid, España: CSIC.*

*Tomado de: <http://www.itefi.csic.es/es/cobo-parra-pedro/terapias-sonoras-acufeno>.*







## ANEXO 9. Especificaciones técnicas de equipos utilizados

### Sonómetro y Analizador de espectro CESVA SC310

Instrumento de medición utilizado principalmente para la calibración del programa para audiometría TFC\_Monoaural y para la medición de niveles de los audífonos de cada paciente para su respectiva calibración.



PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN
<b>Micrófono</b>	CESVA C-130.
<b>Ponderación temporal</b>	L <sub>F</sub> , L <sub>S</sub> , L <sub>I</sub> conforme tolerancias clase 1.
<b>Ponderación frecuencial</b>	Cumple la normas EN 61672, EN 60651 y EN 60804 tipo 1 Ponderaciones A, C y Z.

<b>Memoria</b>	64 MBytes
<b>Filtros de Octava</b>	Clase 1 según EN 61260:95/ A1:01.
<b>Filtros de tercios de octava</b>	Clase 1 según EN 61260:95/ A1:01.
<b>Influencia de la humedad</b>	<p>-Margen de funcionamiento: 25 a 90%.</p> <p>-Error máximo para 25%&lt;H.R. &lt;90% a 40 °C y 1 kHz: 0,5 dB.</p> <p>-Almacenamiento sin pilas: &lt; 93%.</p>
<b>Influencia de campos magnéticos</b>	En un campo magnético de 80 A/m (1 oersted) a 50 Hz da una lectura inferior a 25 dB(A).
<b>Influencia de la temperatura</b>	<p>-Margen de funcionamiento: -10 a +50 °C.</p> <p>-Error máximo (-10 a +50°C): 0,5 dB.</p> <p>-Almacenamiento sin pilas: -20 a +60 °C.</p>
<b>Influencia de las vibraciones</b>	Para frecuencias de 20 a 1000 Hz y 1 m/s <sup>2</sup> : < 75 dB(A).
<b>Alimentación</b>	2 pilas de 1,5 V tipo LR6 tamaño AA.
<b>Dimensiones y peso</b>	<p>Dimensiones: 341 x 82 x 19 mm.</p> <p>Peso: con pila 550 g ; sin pila 500 g.</p>

## Calibrador Acústico Cesva CB006

Calibrador acústico clase 1 para verificación del sonómetro CESVA SC310.

### Calibrador para sonómetro CESVA



PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN
Frecuencia	1 kHz $\pm$ 1%.
Nivel de Presión Sonora (SPL)	94 dB re 20 $\mu$ Pa (1 Pa = 1 N/m <sup>2</sup> ).
Distorsión	< 2%.
Humedad relativa de funcionamiento	25 a 90 % Humedad relativa.
Presión estática de funcionamiento	65 kPa a 108 kPa.
Temperatura de funcionamiento	-10°C a +50°C Clase 1.
Diámetro de la cavidad	½ pulgada.
Pila	1 Pila de 9 voltios tipo 6LF22 (15 horas de funcionamiento continuo).
Indicador de batería	LED verde (encendido con batería correcta).

<b>Dimensiones</b>	Diámetro 48mm, longitud 135mm .
<b>Peso</b>	185g.

## **Audífonos Profesionales Sennheiser HD 280**

Audífonos profesionales utilizados con cada paciente en las audiometrías.



<b>PARÁMETRO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
<b>Respuesta en frecuencia</b>	8 - 25000 Hz.
<b>Nivel de Presión Sonora (SPL)</b>	102 dB (IEC 268-7)
<b>THD</b>	0,1 %.
<b>Tipo de audífono</b>	Circumaural.
<b>Jack plug</b>	3,5 / 6,3 mm estéreo.
<b>Principio de transducción</b>	Dinámico.
<b>Peso</b>	Sin cable: 220g.
<b>Impedancia nominal</b>	64Ω.

<b>Capacidad de carga</b>	500mW.
<b>Atenuación</b>	32 dB máx.

## Interface de audio MBox Mini 3era Generación

Dispositivo utilizado como amplificador de audífonos en las pruebas realizadas.



PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN
Entradas de línea (balanceadas)	<ul style="list-style-type: none"><li>-Resp. de frecuencia, 20 Hz – 20 kHz: <math>\pm 0,1</math> dB.</li><li>-Rango dinámico (pond. "A"): 106 dB.</li><li>-Relación señal/ruido (pond. "A"): -106 dB.</li><li>-THD+N, 1 kHz a -1 dBFS: -94 dB.</li><li>-Diafonía a 1 kHz: -116 dB.</li><li>-Nivel de entrada máximo: +0 dBu.</li><li>-Impedancia de entrada: 10 kohms (20 kohms).</li></ul>



<p><b>Entradas de micrófono (balanceadas)</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Resp. de frecuencia, 20 Hz – 20 kHz: <math>\pm 0,1</math> dB.</li> <li>-Rango dinámico (pond. "A"): 106 dB.</li> <li>-Relación señal/ruido (pond. "A"): -106 dB.</li> <li>-THD+N, 1 kHz a -1 dBFS: -94 dB.</li> <li>-Diafonía a 1 kHz: -116 dB.</li> <li>-Nivel de salida máximo (sin pad): +0 dBu.</li> <li>-Nivel de entrada máximo (con pad): +20 dBu.</li> <li>-Impedancia de entrada: 2,2 kohms (4,4 kohms).</li> </ul>
<p><b>Salida de auriculares</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Resp. de frecuencia, 20 Hz – 20 kHz: <math>\pm 0,2</math> dB.</li> <li>-Potencia sobre ohms: 20 mW sobre 32 ohms.</li> </ul>

## Computadora HP G42-372LA Notebook PC

Computadora utilizada para la audiometría de los pacientes



PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN
Fabricante	Hewlett-Packard
Modelo	HP G42 Notebook PC
Procesador	Intel ® Core ™ i5 CPU M450@2.40ghZ
Memoria RAM	3,00 GB (2,86 utilizable)
Tipo de Sistema	Sistema Operativo de 64 bits

## Computadora LENOVO G40

Computadora utilizada para proceso de medición de respuesta en frecuencia de audífonos.



PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN
<b>Fabricante</b>	Lenovo
<b>Modelo</b>	Lenovo G40
<b>Procesador</b>	Intel ® Core ™ i7 CPU@2.00GHz 2.60 GHz
<b>Memoria RAM</b>	6,00 GB (5,89 utilizable)
<b>Tipo de Sistema</b>	Sistema Operativo de 64 bits
<b>Edición de Windows</b>	Windows 8.1

## Computadora MacBook Pro

Computadora utilizada para la acufenometría de los pacientes.



PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN
<b>Fabricante</b>	Apple-Macintosh
<b>Modelo</b>	MacBook Pro 13 inch-2010
<b>Procesador</b>	2,66 GHz Intel Core 2 Duo
<b>Memoria RAM</b>	4 GB 1067 MHz DDR3
<b>Tipo de Sistema</b>	Mac OS X Lion 10.7.5 (11G63)