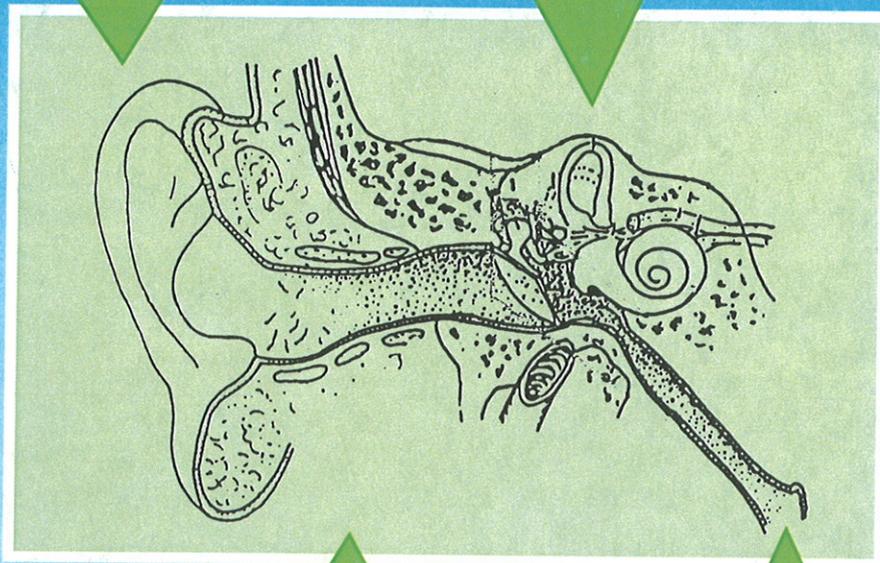


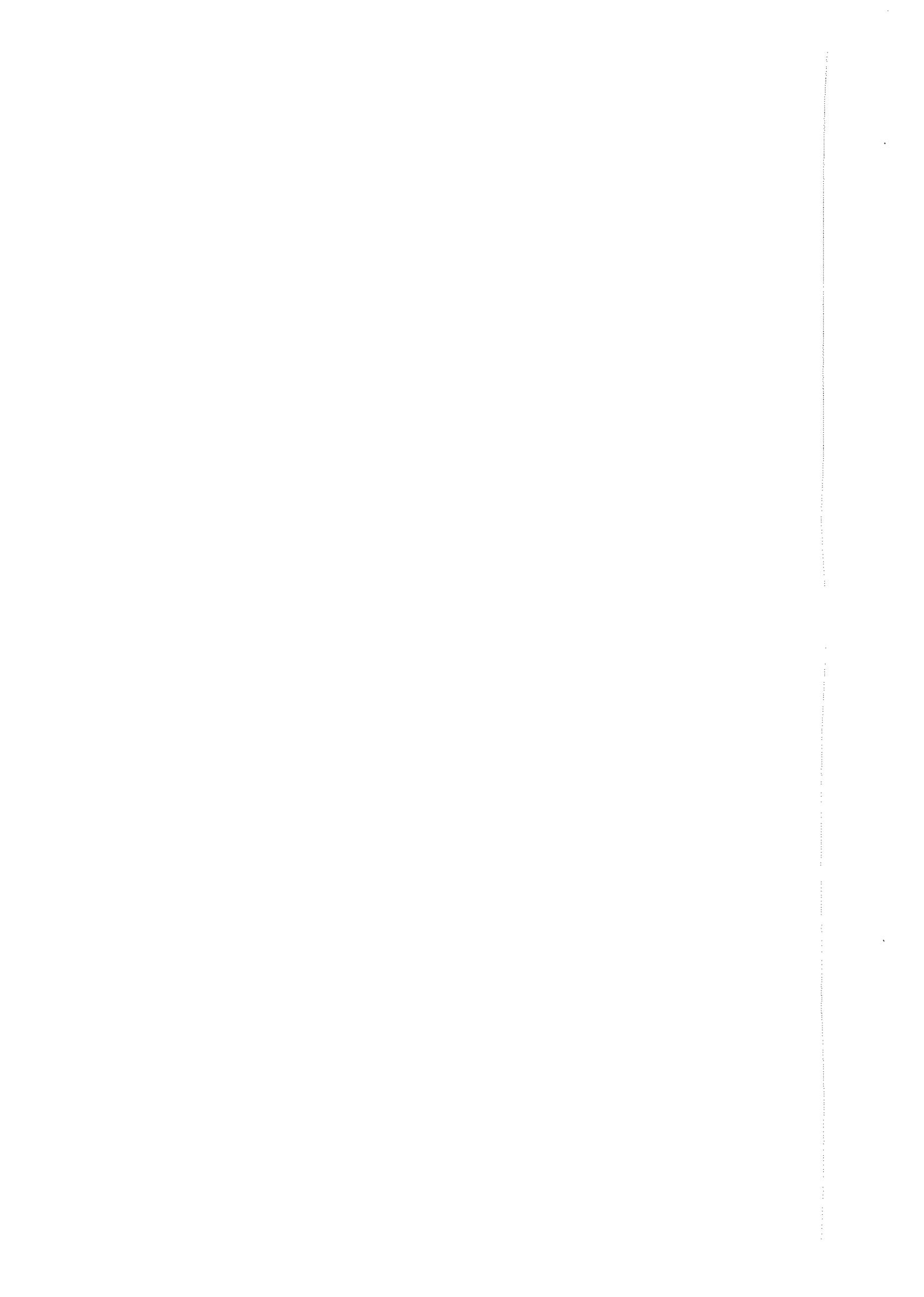
JUNTA DE ANDALUCIA

# AUDIOLOGIA APLICADA A LA SALUD LABORAL



Dirección General  
de Trabajo y  
Seguridad Social  
Consejería de Trabajo

Nº 22



**AUDIOLOGIA APLICADA A  
LA SALUD LABORAL**

*Edita:* JUNTA DE ANDALUCIA  
CONSEJERIA DE TRABAJO  
Dirección General de Trabajo y Seguridad Social

*Coordina:* Servicio de Condiciones de Trabajo

© JUNTA DE ANDALUCIA

*I. S. B. N.:* 84-7936-023-2

*Dep. Legal:* CA-725-93

*Imprime:* GRAFIBERICA - Jerez

*Fotocomposición:* TEXTO y COLOR - Jerez

Esta Consejería de Trabajo no comparte necesariamente las opiniones y contenidos expresados en esta publicación, ya que los firmantes son totalmente independientes, declinando toda responsabilidad acerca de ellos.

Quedan reservados todos los derechos. No puede reproducirse, almacenarse en un sistema de recuperación o transmitirse en forma alguna por medio de cualquier procedimiento, sea éste mecánico, electrónico, de fotocopia, grabación o cualquier otro, sin el previo permiso y autorización escrita del editor.



# **AUDIOLOGIA APLICADA A LA SALUD LABORAL**

*Investigación subvencionada por:*

**Consejería de Trabajo de la Junta de Andalucía**



## INDICE

<b>PRESENTACION</b> .....	11
<b>CAPITULO 1. ANATOMIA DEL OIDO</b> .....	13
OIDO EXTERNO.....	15
OIDO MEDIO .....	16
1. Caja del Tímpano.....	16
2. Mastoides.....	18
3. Trompas de Eustaquio .....	18
OIDO INTERNO.....	18
<b>CAPITULO 2. FISIOLOGIA DE LA AUDICION</b> .....	23
ACUSTICA FISIOLOGICA .....	25
A. Definición de Sonido y Ruido .....	25
B. Naturaleza del Sonido .....	25
C. Tipos de Sonidos.....	26
D. Características y Propiedades de la Onda Sonora.....	26
E. Propiedades Fisiológicas del Sonido. Tono, Intensidad y Timbre .....	28
1. Tono.....	28
2. Intensidad. El Decibel .....	29
3. El Timbre. Los sonidos compuestos.....	30
FISIOLOGIA DE LA AUDICION .....	31
Introducción.....	31
Fisiología de la transmisión sonora .....	31
TRANSMISION SONORA .....	33
FISIOLOGIA DE PERCEPCION SONORA.....	34
Fisiología de la coclea. Teoría General de la Función Coclear .....	34
Mecanismos de estimulación de la Coclea .....	34
Fenómenos Eléctricos de la Coclea .....	35
Discriminación de Frecuencias.....	35
Discriminación de las intensidades. Papel de los dos grupos de celulas ciliadas.....	36
Fisiología neural de la Audición.....	36
La vía osea .....	37

<b>CAPITULO 3. FISIOPATOLOGIA DE LA AUDICION.....</b>	<b>51</b>
INTRODUCCION .....	53
LAS SORDERAS.....	54
A.Sorderas de Transmisión.....	54
1. Lesiones del sistema tímpanoosicular .....	55
2. Anquilosis de la cadena de huesecillos .....	56
3. Disfunciones de la Trompa de Eustaquio.....	56
B. Sorderas de Percepción .....	57
1. Sorderas Cocleares .....	57
a. Sorderas por alteración de los líquidos laberínticos.....	57
b. Sorderas por lesión primaria del órgano de Cortí .....	58
2. Sorderas Retrococleares .....	58
C. Sorderas mixtas .....	59
PROTESIS AUDITIVA E IMPLANTE COCLEAR.....	60
<b>CAPITULO 4. EXPLORACION CLINICA DEL OIDO. ACUMETRIA.....</b>	<b>63</b>
1-TECNICAS DE ILUMINACION.....	65
1) Dispositivos de luz refleja.....	65
2) Dispositivos de luz directa.....	65
3) Dispositivos de amplificación .....	65
.2- EXPLORACION CLINICA .....	66
2.1. Pabellón Auricular.....	66
2.2. Conducto Auditivo Externo.....	66
2.3. Membrana Timpánica.....	66
2.4. Exploración funcional de la Trompa de Eustaquio.....	67
3- EXPLORACION RADIOLOGICA DEL OIDO .....	68
4- ACUMETRIA. ESTUDIO DE LA AUDICION CON DIAPASONES .....	68
<b>CAPITULO 5. AUDIOMETRIA TONAL .....</b>	<b>85</b>
AUDIOMETRIA TONAL LIMINAR Y SUPRALIMINAR .....	87
Concepto .....	87
Instrumental .....	87
Procedimiento .....	87
Test de Audiometría Osea .....	88
EL ENSORDECIMIENTO O ENMASCARAMIENTO.....	88
1) Enmascaramiento del oído Contralateral.....	88
2) Enmascarar el oído explorado.....	89
VALORACION CLINICA.....	89
AUDIOMETRIA TONAL ESPECIALIZADA O SUPRALIMINAR .....	89
1) Distorsión de intensidad. ¿Qué es el Recruitment?.....	90
Test Binauricular of Fowler.....	90
Test de Lusher y Zwislocki .....	90
Prueba de S.I.S.I. (Short Increment Sensitivity Index) .....	90
DISTORSION DE TIEMPO .....	90
A. Fatiga: Prueba de Peyser.....	90
B. Adaptación: (Tone - Decay Test).....	91

INVESTIGACION DE LA SIMULACION AUDITIVA.....	91
<b>CAPITULO 6. AUDIOMETRIA VOCAL, AUDIOMETRIA AUTOMATICA. IMPEDANCIOMETRIA .....</b>	<b>97</b>
AUDIOMETRIA VOCAL .....	99
AUDIOMETRIA AUTOMATICA. ....	100
IMPEDANCIOMETRIA.....	100
<b>CAPITULO 7. AUDIOMETRIA POR POTENCIALES EVOCADOS .....</b>	<b>107</b>
AUDIOMETRIA POR POTENCIALES EVOCADOS.....	109
CLASIFICACION DE LOS POTENCIALES EVOCADOS .....	110
<b>CAPITULO 8. TRAUMA SONORO AGUDO.....</b>	<b>119</b>
TRAUMA SONORO AGUDO.....	121
CARACTERISTICAS DEL RUIDO TRAUMATIZANTE .....	122
Factores Predisponentes.....	122
Clínica.....	123
Tratamiento.....	123
Prevención .....	123
<b>CAPITULO 9. TRAUMA SONORO CRONICO. SORDERAS PROFESIONALES .....</b>	<b>127</b>
TRAUMA SONORO CRONICO .....	129
Etiología.....	129
Mecanismo de Acción .....	130
Anatomía Patológica.....	131
Clínica.....	131
Formas Clínicas .....	132
DIAGNOSTICO DE LA SORDERA PROFESIONAL .....	133
TRATAMIENTO .....	133
<b>CAPITULO 10. EPIDEMIOLOGIA DE LA SORDERA PROFESIONAL.</b>	
<b>CASOS PRACTICOS .....</b>	<b>143</b>
PROCOLOS DE INVESTIGACION. CASOS PRACTICOS.....	145
CONCLUSIONES .....	147
<b>CAPITULO 11. PROFILAXIS DE LA SORDERA PROFESIONAL.....</b>	<b>157</b>
I. SITUACIONES LABORALES EN QUE ES PRECISO ARBITRAR MEDIDAS DE PROTECCION O PROFILAXIS .....	159
II. PROFILAXIS DE LA SORDERA PROFESIONAL .....	159
A. Profílaxis Tecnológica .....	160
1. Reducir la Intensidad Sonora.....	160
2. Dificultar la Transmisión del ruido .....	160
B. Medidas individuales de protección contra el ruido .....	161
1. Reconocimientos Previo.....	161
a. Exploración Otológica y Audiometría convencional.....	161
b. Exploración de la Fatiga Auditiva .....	162
2. Información y Educación .....	162

3 Reconocimientos periódicos.....	163
4. Disminución del tiempo de exposición .....	164
5. Medidas individuales de protección .....	164
a. Tapones .....	164
b. Auriculares y asociación de tapón y auricular .....	165
6. Separación del ambiente ruidoso.....	166
<b>CAPITULO 12. ASPECTOS LEGALES Y LABORALES DE LAS HIPOACUSIAS .....</b>	<b>169</b>
IMPORTANCIA MEDICA Y SOCIAL DE LA HIPOACUSIA .....	171
LA HIPOACUSIA COMO DAÑO EN MEDICINA LEGAL.....	172
TIPOS DE HIPOACUSIA Y CONCEPTOS AFINES .....	173
PERITACION EN AUDIOLOGIA.....	173
ESTIMACION DEL DAÑO E INCAPACIDAD AUDITIVA.....	174
1°. Evaluación de la magnitud del daño.....	176
2°. Estimación de la incapacidad. Factores.....	176
ACUFENOS Y OTROS SINTOMAS.....	178
ASPECTOS LABORALES DE LAS HIPOACUSIAS .....	179

## **PRESENTACION**

La Consejería de Trabajo de la Junta de Andalucía, por medio de la Dirección General de Trabajo y Seguridad Social, en el marco de las competencias que tiene asignadas en materia de Seguridad, Higiene y Salud Laboral, lleva a cabo diversos programas orientados a la prevención de riesgos profesionales y a la mejora de las Condiciones de Trabajo.

Coincidiendo con el "Año Europeo de la Seguridad, la Higiene y la Salud en el lugar de Trabajo" el Centro de Seguridad e Higiene en el Trabajo de Granada, siguiendo las directrices anteriormente expuestas organizó e impartió en el mes de Enero del presente año el curso "AUDIOLOGIA APLICADA A LA SALUD LABORAL", título que toma la presente publicación, cuyo objetivo fundamental es facilitar al lector el conocimiento de los principios básicos por los que se rige el fenómeno del ruido y exponer de forma clara y sencilla su génesis, los mecanismos de transmisión, las características y propiedades del sonido, sus repercusiones patológicas (Hipoacusias y Traumas Sonoros), así como describir las pruebas diagnósticas de mayor sensibilidad y especificidad en el diagnóstico precoz y seguimiento de la patología producida por el ruido. De la misma forma se describen las medidas preventivas a adoptar, tanto a nivel colectivo como individual para proteger a los trabajadores expuestos a ruidos.

Esta publicación se enmarca en la línea de información y formación emprendida por la Consejería de Trabajo, dirigida a los colectivos implicados en materia de prevención, con el ánimo de que su consulta y estudio contribuyan a mejorar de forma efectiva las Condiciones de Trabajo de la población laboral andaluza.

Sevilla, octubre 1993  
FRANCISCO OLIVA GARCIA  
Consejero de Trabajo



**CAPITULO 1**

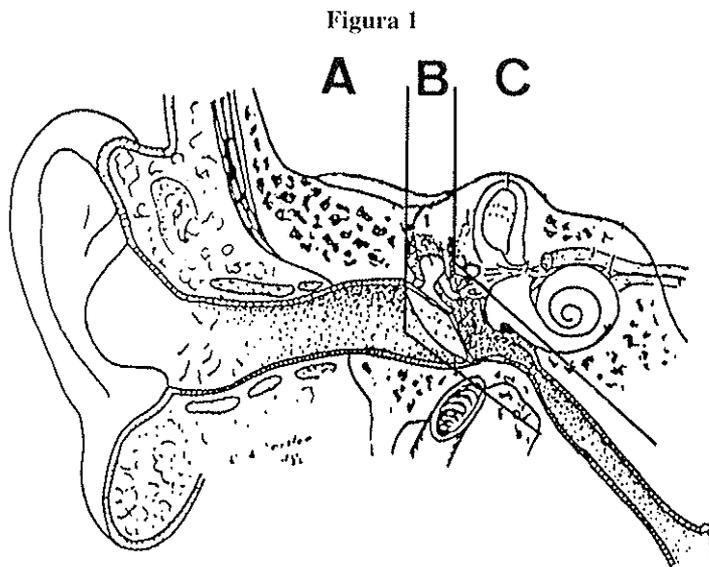
**ANATOMIA DEL OIDO**

*D.Francisco Fernández Cervilla.*



## ANATOMIA DEL OIDO

El oído humano desde el punto de vista filogénico, embriológico, anatómico y funcional podemos dividirlo en tres partes (Fig. 1): OIDO EXTERNO, OIDO MEDIO y OIDO INTERNO.



A) Oído Externo - B) Oído Medio - C) Oído Interno.

### OIDO EXTERNO

Está constituido por el *Pabellón Auricular* y el *Conducto Auditivo Externo*. El primero tiene escaso valor en la especie humana, todo lo contrario que en aquellos animales cuya supervivencia dependa de la audición (alimentación, defensa, etc.) en los que se encuentra un gran desarrollo funcional con la posibilidad de movimiento del pabellón dirigiéndolo hacia la fuente sonora.

Existen diferencias individuales entre unas personas y otras en lo referente a la morfología del Pabellón, no así en su constitución, formado por un esqueleto fibrocartilaginoso, unido al macizo craneal por ligamentos y músculos tapizados por piel, dejando entre ambos escaso tejido celular subcutáneo. Podemos encontrar en el Pabellón una serie de relieves anatómicos (Helix, Antehelix, Trago, Antitrago, etc.) que le dan el aspecto característico, destacando finalmente que la porción inferior del pabellón se encuentra desprovista de fibrocartilago y que se denomina Lóbulo.

Las arterias del Pabellón auricular son la rama Auricular Posterior de la Carótida Externa y las ramas Auriculares Anteriores de la arteria Temporal Superficial, sus venas son tributarias de las satélites de estas arterias.

Sus linfáticos van a los ganglios auriculares anteriores, posteriores e inferiores.

La inervación corre a cargo en su porción motora a través del nervio Facial y su porción sensitiva distribuida en varias partes, anterior por el trigémino, media por fibras del nervio Facial, Glossofaríngeo y Vago, y la porción posterior por fibras nerviosas del Plexo Cervical.

El Conducto Auditivo Externo se extiende desde el Pabellón Auricular hasta la Membrana del Tímpano que lo separa del Oído Medio, en el interior del Peñasco del Temporal, con una longitud entre 2,5-3 cm. Está formado por dos zonas estructuralmente diferentes, una cartilaginosa que ocupa el tercio externo del conducto, continuación del cartílago auricular y otra interna, ósea que representa los dos tercios restantes.

En conjunto se dirige de fuera a dentro y de atrás adelante con dos acodaduras en el camino, dándole una forma en S dividiéndolo en tres porciones, una externa en la dirección que hemos indicado anteriormente, a continuación una porción media que se dirige hacia atrás y arriba y por último una interna hacia dentro, adelante y abajo.

En la formación de la porción ósea del Conducto Auditivo Externo intervienen las tres piezas óseas que forman el hueso Temporal, por una parte y más importante el hueso Timpanal que representa un cilindro hueco horizontal a la cual le falta la porción posterosuperior, que es completada por la Escama del Temporal por arriba y la porción Mastoidea del Peñasco por detrás.

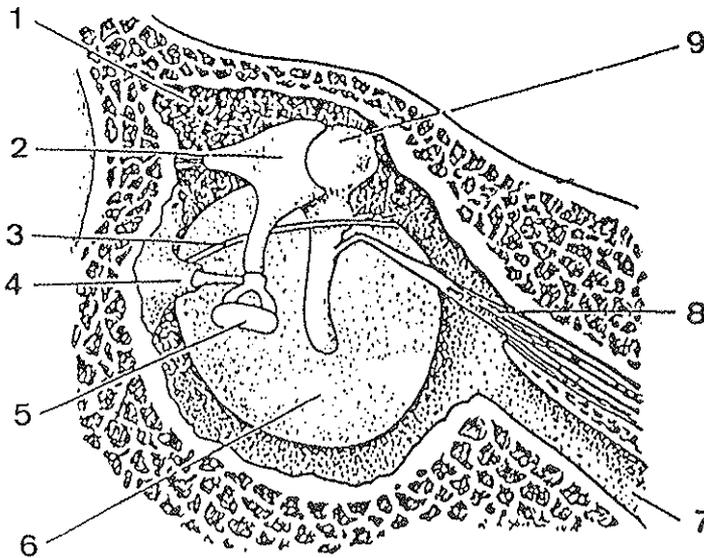
La piel del Pabellón se continua con la del Conducto Auditivo Externo. Las arterias del conducto son la rama Auricular Posterior de la arteria Carótina Externa, ramas de la Temporal Superficial, así como de la arteria Auricular Profunda de la Maxilar Interna. La sangre venosa sale por las venas Maxilares y Yugular Externa. El drenaje linfático igual que en el Pabellón.

La inervación está distribuida por los siguientes nervios, rama Auriculotemporal del V par, rama Auricular del Plexo cervical, Rama Auricular del Vago y Porción sensitiva del nervio Facial.

### OIDO MEDIO

Representado por una cavidad irregular llena de aire, situada dentro del hueso temporal intercalada entre el Oído Externo y Oído Interno, presenta tres porciones, una central denominada Caja del Tímpano, una anterior la Trompa de Eustaquio y otra posterior o Mastoides (Fig. 2)

Figura 2. Vista del Oído Medio desde el interior.



- |                        |   |                         |
|------------------------|---|-------------------------|
| 1.-Receso Epitimpánico | 4.-Pirámide                             | 7.-Trompa de Eustaquio  |
| 2.-Cuerpo del Yunque   | 5.-Platina del Estribo                  | 8.-Músculo del Martillo |
| 3.-Cuerda del Tímpano  | 6.-Cara Medial de la Membrana Timpánica | 9.-Cabeza del Martillo  |

#### 1. Caja del Tímpano

Es una cavidad irregularmente cuboidea, posee seis paredes más o menos parejas, cuyos diámetros antero-

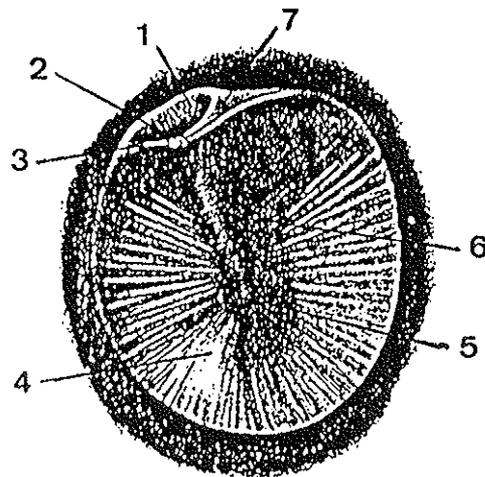
posterior y vertical miden unos 15 mm. mientras que el mediolateral es variable entre 2 y 6 mm.

Estas paredes encierran un contenido de gran importancia funcional que posteriormente comentaremos. Comenzaremos el estudio de las paredes de la Caja Timpánica por aquellas que tienen menos valor desde el punto de vista anatómico, como son las paredes inferior o suelo, con algunas irregularidades y superior o techo en íntimo contacto con la fosa craneal media de la cual se separa por una delgada lámina ósea. En la pared anterior se encuentra el orificio de la Trompa de Eustaquio, además del orificio de salida de la Cuerda del Tímpano, rama del Facial, que atraviesa toda la caja de atrás a delante. La pared posterior más ancha por arriba que por abajo, se encuentra abierta en su porción media hacia la Mastoides a través del denominado Aditus ad Antrum.

Hemos reservado para el final el estudio de las paredes externa e interna, ya que presentan un mayor número de referencias anatómicas y por tanto un mayor interés, sobre todo desde el punto de vista funcional que es el que nos interesa actualmente. La pared externa de la cavidad timpánica está ocupada casi en su totalidad por la Membrana del Tímpano, estructuralmente presenta tres capas, una externa o epitelial continuación del epitelio del conducto auditivo externo, una media o fibrosa, y una interna o mucosa.

Representa la Membrana Timpánica (Fig. 3) el límite entre el Conducto Auditivo Externo y la Caja del Tímpano, fina y semitransparente de color gris nacarado, de forma casi oval, deprimida en su región central, se inserta a través de un ligamento denominado Rodete de Gerlach en el hueso Tímpanal, que como hemos mencionado anteriormente se encuentra abierto en su porción posterosuperior, a este nivel el rodete se refleja o insinúa hacia las porciones centrales del Tímpano formando los denominados Repliegues Tímpanomaleolares, delimitando en la membrana del tímpano dos zonas ligeramente diferentes, una superior pequeña por encima de los repliegues tímpanomaleolares denominada Pars Flácida que no contiene capa fibrosa, y una inferior o Pars Tensa mucho mayor que la anterior,

Figura 3



1.-Porción flácida timpánica

2.-Apofisis externa del martillo

3.-Pliegue tímpanomaleolar anterior

4.-Cono luminoso

5.-Omblijo del tímpano

6.-Mango del martillo

7.-Pliegue tímpano maleolar posterior

Coincidiendo con la confluencia de los repliegues tímpanomaleolares, encontramos una pequeña prominencia que corresponde como luego veremos a la Apófisis Externa del Martillo, desde esta y en dirección descendente se continúa con el relieve correspondiente al Mango del Martillo y que termina en el Omblijo del Tímpano. Si trazamos unas líneas imaginarias que pasaran por el mango del Martillo como eje y una perpendicular a esta a la altura del Omblijo Timpánico, vamos a dividir al tímpano en cuatro cuadrantes de importancia desde el punto de vista clínico, que son anterosuperior, anteroinferior, posterosuperior y posteroinferior.

La pared interna de la Caja Timpánica que a su vez es también la pared externa del oído interno, presenta una serie de accidentes entre los que destacamos, una prominencia central que denominamos Promontorio que

cubre la proyección externa de la primera espira del Caracol. Por encima y detrás del Promontorio encontramos la ventana Oval, que comunica el Oído Medio con el Vestíbulo del Oído Interno, ocupada en su totalidad por la Platina del Estribo como luego veremos, por debajo y detrás del Promontorio encontramos la ventana Redonda, cubierta en el ser vivo por la Membrana Timpánica Secundaria y que separa la Caja Timpánica del Caracol. Encima de la ventana Oval, existe un relieve marcado horizontal de delante atrás que representa el Acueducto de Falopio, por donde discurre la segunda porción del nervio Facial y por encima de esta existe otro relieve que proyecta el Conducto Semicircular Horizontal. Por último destacar dos prominencias óseas por delante y detrás de la Ventana Oval que son el Pico de Cuchara y la Pirámide en donde se alojan el músculo del Martillo y del Estribo respectivamente.

En relación con el contenido de la Caja del Timpánico, presenta una cadena de tres huesecillos móviles, denominados Martillo, Yunque y Estribo. El primero consta de cabeza que se articula con el yunque, cuello, mango y apófisis larga o anterior y corta o externa que hace prominencia junto con el mango en el Tímpano. El yunque presenta un cuerpo de forma más o menos cuboidal y dos apófisis, una corta o posterior que se proyecta hacia atrás y una larga o inferior cuyo extremo termina en un pequeño engrosamiento denominado apófisis lenticular y sirve para articularse con el Estribo, este consta de una cabeza, un cuello, dos ramas anterior y posterior, y una base o Platina que se introduce en la ventana Oval. Todos estos huesecillos se unen a las paredes de la Caja Timpánica por una serie de ligamentos, algunos de estos ligamentos están constituidos por pliegues de la mucosa de la caja por los que discurren vasos sanguíneos y nervios para los huesecillos y sus articulaciones. Además encontramos dos músculos en el Oído Medio que son el músculo del Martillo y el del Estribo, la acción de ambos músculos es la de fijar la cadena osicular ante estímulos sonoros altos, protegiendo las estructuras del Oído Interno ante estos.

La vascularización de la Caja del Tímpano es muy abundante y se lleva a cabo por seis vasos, de los cuales cinco provienen de la Carótida Externa o sus colaterales y que son, Timpánica anterior, Estilomastoidea, Timpánica inferior, Petrosa superficial y Timpánica superior, y una la arteria Caroticotimpánica de la Carótida Interna. Las venas siguen el mismo trayecto que las arterias y desembocan en el plexo venoso Pterigoideo y en el seno Petroso superior. Los linfáticos drenan a los ganglios parotídeos, retrofaríngeos y mastoideos.

En cuanto a la inervación, la porción motora para los músculos del Martillo y del Estribo, se realiza a través de ramos del V y VII par respectivamente, la porción sensitiva y parasimpática a través del nervio de Jacobson a su vez rama del Glossofaríngeo y por último la inervación simpática por el nervio Carótico-timpánico del plexo Pericarotideo.

## 2. Mastoides

Formación de morfología triangular por detrás de la Caja del Tímpano, que forma parte del Peñasco del Temporal, de estructura recia que sirve de inserción al músculo Esternocleidomastoideo y al Digástrico. El interior presenta una serie de celdas, unidas entre sí y cubiertas por una mucosa de características similares a la de la Caja del Tímpano, se comunica con esta última a través de un gran orificio superior (Aditus ad Antrum) que da paso a una gran celda mastoidea denominada Antro. Por detrás y por dentro está en relación con el Seno Lateral y por arriba y adentro con el Endocráneo.

## 3. Trompa de Eustaquio

Es un conducto que une la cavidad timpánica con la rinofaringe, a través de ella pasa aire desde la faringe hasta el oído medio, igualando de esta forma las presiones del exterior con esta cavidad, su trayecto se dirige hacia adelante, abajo y adentro, tiene una porción ósea y otra cartilaginosa, la primera es intratemporal y por tanto se puede considerar parte del oído medio, la segunda desemboca en la faringe por debajo de la mucosa constituyendo el Rodete Tubárico. La trompa aunque normalmente está cerrada se abre por la acción de los músculos Periestafilinos externo e interno, durante la deglución.

## OIDO INTERNO

También denominado *Laberinto*, en razón de su complejidad anatómica, situado en el interior del Peñasco Temporal, como una serie de cavidades (*Laberinto óseo*), que albergan una serie de formaciones membranosas (*Laberinto membranoso*) en cuyo interior se encuentran unos órganos receptores especializados que nos van a dividir el oído interno en dos partes, una encargada de transformar el estímulo mecánico que representa la onda sonora en un impulso nervioso o *Laberinto Anterior*, también llamado *Caracol*, y una segunda que va a estar encargada del mantenimiento del equilibrio y la orientación espacial o *Laberinto Posterior*.

Dada la finalidad de este estudio nos dedicaremos casi exclusivamente al Laberinto anterior, mencionando

de forma resumida los elementos anatómicos del Laberinto posterior. Ya hemos comentado que existe un laberinto óseo y otro membranoso, entre ambos se encuentra un líquido denominado Perilinfia, y en el interior del laberinto membranoso otro de características diferentes denominado Endolinfia.

Comenzaremos el estudio del laberinto posterior óseo diciendo que está formado por una cavidad central o Vestíbulo del que parten los Conductos Semicirculares, orientados en los tres planos del espacio, en número de tres, horizontal, posterior y superior. Estos tienen pues dos extremidades abiertas en el vestíbulo, una de ellas más amplia y se llama extremidad ampular, sin embargo hay dos conductos semicirculares que unen su extremidad no ampular en una formación única llamada Crus Comune.

El vestíbulo situado por dentro de la cavidad timpánica, tiene una forma ligeramente oval, con seis paredes:

- Pared externa, con los mismos relieves anatómicos que la pared interna de la caja timpánica, que representa la separación entre ambas cavidades.
- Pared interna donde destacamos una serie de fositas donde se sitúan elementos importantes del laberinto membranoso como son el Utrículo y el Sáculo.
- Pared anterior, sin detalles de importancia.
- Pared posterior, encontramos los orificios ampular del Conducto Semicircular Posterior y el orificio común o Crus Comune del Conducto Semicircular Superior y Posterior.
- Pared inferior ocupada por el orificio de entrada al Caracol.
- Pared superior, sólo aparece el orificio ampular del Conducto Semicircular Superior.

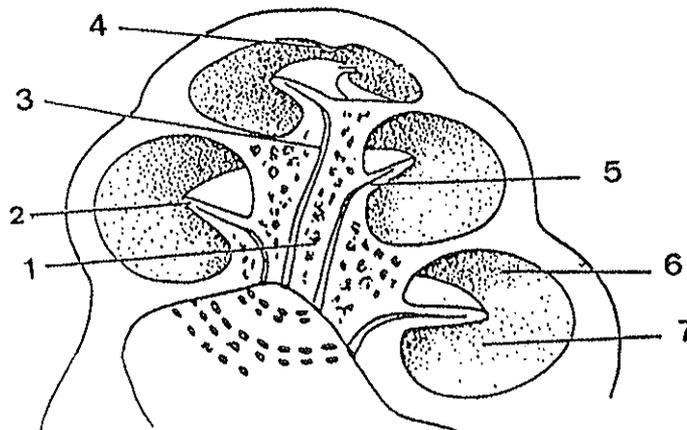
La porción Membranosa del Laberinto posterior, de menores dimensiones que el óseo que lo contiene, está formado por el Utrículo y Sáculo, que son dos pequeñas vesículas que ocupan el Vestíbulo y los tres Conductos Semicirculares Membranosos, que se abren al Utrículo. Cada una de las partes del Laberinto Membranoso se comunican entre sí a través de una serie de conductos.

Lo importante del Utrículo y del Sáculo es que en su interior, el epitelio se especializa en determinadas zonas dando lugar a las máculas, con una estructura histológica compuesta por una serie de células ciliadas sensoriales con un quincilio en una dirección específica denominada polarización y cubierta por una membrana formada por una matriz gelatinosa y partículas minerales u otolitos.

En los Conductos Semicirculares Membranosos encontramos un receptor sensorial similar a las máculas, que se denominan Crestas Semicirculares, representando una elevación del epitelio con un eje conectivo vascular con abundantes fibras nerviosas del VIII par, y sus células ciliadas también polarizadas y cubiertas por una formación gelatinosa denominada Cúpula, ésta junto a las Máculas tienen una gran importancia para la fisiología del equilibrio y la orientación espacial.

El Laberinto Anterior o Caracol (Fig. 4), en su parte ósea, tiene forma cónica con la base dirigida hacia el Conducto Auditivo Interno, mientras que su vértice se dirige hacia la porción externa, superior y frontal. Está formado por un núcleo central o Columela, atravesado ésta por una serie de conductillos que acaban en uno central mayor y espiral llamado conducto de Rosenthal que contiene el ganglio espiral o de Corti.

**Figura 4**



- 1.-Modiolo
- 2.-Lámina Espiral Osea
- 3.-Canal Central
- 4.-Apex

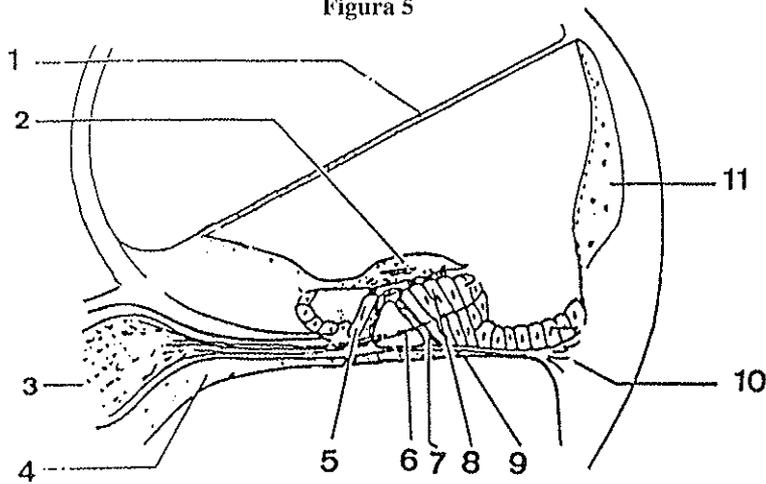
- 5.-Canal Espiral del Modiolo
- 6.-Escala Vestibular
- 7.-Escala Timpánica

Sobre la Columela se encuentra el conducto óseo del Caracol o Lámina de los Contornos, es un conducto arrollado en espiral, de aproximadamente dos vueltas y tres cuartos, la primera espira hace protusión en la Caja del Tímpano en su pared interna dando lugar al descrito Promontorio. Del Modiollo parte una lámina y que va dentro del conducto óseo del Caracol que es la Lámina Espiral Osea, ocupa aproximadamente la mitad del diámetro del conducto, la otra mitad será ocupada por el Caracol Membranoso, y lo divide de forma incompleta en dos rampas, una superior o Vestibular que se abre directamente al vestíbulo en su porción inferior y otra rampa Timpánica que comunica con la Caja del Tímpano a través de la Ventana Redonda, separadas por la existencia en ésta de una membrana denominada Tímpano Secundario. En la porción apical del Caracol, la lámina espiral ósea no contacta con la lámina de los contornos dando lugar a que las dos rampas se unan por un espacio denominado Helicotrema.

Nos queda finalmente dentro del Laberinto óseo, el estudio del Conducto Auditivo Interno que une éste con el endocraneo, dividido en cuatro cuadrantes, por los cuales pasan varias ramas del nervio Vestibular, así como el nervio Coclear y el Facial.

El Caracol Membranoso es un conducto situado dentro del canal óseo del Caracol (Fig. 5), entre la Lámina Espiral ósea y la Lámina de los Contornos, cerrando el límite de separación que se inicia en el primero, entre la Rampa Vestibular y Timpánica. Al corte tiene forma triangular y por tanto podemos estudiar tres paredes, la Membrana Basilar continuación de la Lámina Espiral Osea, termina en un engrosamiento de la pared externa del Caracol formando el ligamento Espiral, y desde la parte anterior de éste y en dirección hacia adentro y atrás se encuentra la tercera pared que cierra el triángulo denominada membrana de Reissner.

**Figura 5**



- 1.-Membrana de Reissner
- 2.-Membrana Tectoria
- 3.-Ganglio Espiral
- 4.-Lámina Espiral Osea

- 5.-Célula Ciliada Interna
- 6.-Fibra Nerviosa
- 7.-Pilar Externo del túnel de Corti
- 8.-Célula Ciliada Externa

- 9.-Membrana Basilar
- 10.-Ligamento Espiral
- 11.-Estria Vascular.

En el interior de este conducto triangular está el órgano de Corti o parte especializada para la recepción de la audición que pasamos a describir, está compuesto por una serie de estructuras epiteliales situadas sobre la membrana basilar, en su parte central posee unos elementos de soporte, los denominados pilares interno y externo delimitando el túnel de Corti, por fuera y por dentro se sitúan Células Sensoriales o Ciliadas y de Sostén. Las primeras podemos dividir las en Células Ciliadas Externas, dispuestas en tres hileras a lo largo de todo el órgano de Corti y Células Ciliadas Internas en una sola hilera, a ambos lados de estas hileras se sitúan las células de sostén con nombres propios que no vamos a comentar. Las células ciliadas carecen de kinocilio. En las porciones más internas del órgano de Corti se inserta la membrana tectoria, que cubre a modo de tejado a las células ciliadas contactando con las externas, esta estructura nos recuerda a la cúpula existente en las crestas semicirculares.

La irrigación del laberinto proviene de la arteria Auditiva Interna que puede originarse en el Tronco Basilar o en la arteria Cerebelosa Anteroinferior.

Entre el Laberinto óseo y membranoso hay un espacio ocupado por un líquido denominado Perilinf, con-

siderado como un transudado de los vasos laberínticos con una composición similar al líquido cefalorraquídeo, rica en sodio. En el interior del Laberinto membranoso a parte de las estructuras ya comentadas presenta la existencia de líquido Endolinfático de composición muy similar al líquido intracelular, rico en potasio.

### **Vía Auditiva**

Dado que este trabajo va encaminado a la función auditiva, no creemos conveniente el estudio de la vía vestibular, aunque ambos están muy unidos a nivel de oído interno, para el estudio de esta rogamos al lector la utilización de bibliografía más específica.

La vía auditiva se extiende desde el Caracol hasta la Corteza Cerebral, todo este recorrido está ocupado por tres neuronas que son, Cócleo-Bulbar con sus núcleos celulares en el ganglio de Corti y se dirige hasta el Bulbo, desde aquí se inicia la segunda neurona o Bulbo-Talámica, desde aquí parten una serie de fascículos que van a las olivas bulbares del mismo lado y otros a las contralaterales, ascendiendo por el Lemnisco Lateral homo o contralateral llegando al Tálamo, concretamente al Cuerpo Genuculado Medial, desde aquí parte la tercera neurona o Tálamo-Cortical para terminar en la Corteza auditiva situada en la primera circunvolución temporal.

## **BIBLIOGRAFIA**

- 1.-CIGES, M.: 1969. *Correlaciones morfofuncionales en los receptores laberínticos*. Acta O.R.L. Iber-Amer. 20: 473.
- 2.-DELMAS, A.: 1981. *Vías y Centros Nerviosos*. Ed. Toray. Barcelona.
- 3.-TESTUD, L. y LATARJET, A.: 1972. *Tratado de Anatomía*. T. III. Salvat. Ed. Barcelona.
- 4.-WILLIAMS, P. y WARWICK, R. 1992.: *Gray Anatomía*. Churchill Livingstone. Edimburgo.

**CAPITULO 2**  
**FISIOLOGIA DE LA AUDICION**  
*D. Miguel Ciges Juan.*



## **FISIOLOGIA DE LA AUDICION**

Para comprender la naturaleza y características de las sorderas y en particular de las inducidas por ruido, es necesario tener unos conocimientos, aunque sean elementales, de la fisiología de la Audición, y antes de tratar de esta expondremos unos rudimentos de acústica fisiológica.

### **ACUSTICA FISIOLOGICA**

La acústica es la rama de la física que estudia el sonido, como la óptica, la luz. El sonido es en efecto un fenómeno físico que es percibido por el oído. Vamos a tratar aquí solamente de aquellas propiedades del sonido que tienen interés bajo el punto de vista fisiológico y laboral.

#### **A. DEFINICION DE SONIDO Y RUIDO**

El sonido podríamos definirlo diciendo que es todo aquello que percibimos con el oído, con lo cual tenemos una definición exclusivamente fisiológica. Aunque lo que nos interesa particularmente es el aspecto fisiológico del sonido, debemos tener en cuenta que lo percibamos o no, el sonido es un fenómeno físico, una ondulación, un movimiento vibratorio, por ello sería mejor definición decir que el sonido "es la sensación auditiva engendrada por una onda acústica." Físicamente podríamos considerar el sonido como un movimiento vibratorio de un medio, de determinadas características físicas. Son esas características las que permiten al oído percibirlo. El oído en efecto, tiene una capacidad limitada en lo que a la frecuencia y la intensidad de ese movimiento vibratorio se refiere. Fuera de esos límites el fenómeno físico será el mismo, pero no lo percibiremos y por lo tanto no podremos hablar de sonido propiamente dicho.

El ruido es una forma particular de sonido en el que tenemos también unas características físicas determinadas y otras subjetivas. Son estas precisamente las que definen el ruido. Además, el término ruido es un término del lenguaje vulgar que se aplica a todo sonido que nos resulta desagradable. Podríamos pues definirlo como "toda sensación auditiva desagradable o molesta" y como hicimos antes al definir el sonido podemos también decir que un "ruido es todo fenómeno acústico que produce tal sensación desagradable o molesta".

Bajo el punto de vista físico puro, el ruido sería aquel sonido que tiene un carácter aleatorio sin componentes definidos. En el sonido propiamente dicho la vibración se repite periódicamente mientras que ello no ocurre en el ruido.

Al decir antes que el ruido es un sonido desagradable debemos hacer algunas salvedades, en primer lugar el carácter de desagradable se entiende en cuanto a la calidad y no a la cantidad. Un ruido propiamente dicho será siempre desagradable sea cual sea su intensidad, pero obviamente será más desagradable mientras más intenso sea. Un sonido podrá ser desagradable también en función de su intensidad y no por ello lo calificamos de ruido. En segundo lugar y muy relacionado con lo anterior está el factor subjetivo, porque que duda cabe que el ruido de un motor puede ser agradable a un mecánico por ejemplo. Por ello bajo el punto de vista meramente subjetivo podríamos también definir el ruido como "todo sonido no deseado".

#### **B. NATURALEZA DEL SONIDO**

Decimos antes que el sonido es un movimiento vibratorio, que necesita para producirse, una fuente sonora y un medio de transmisión sin el cual tal movimiento no alcanza el oído y por tanto no podemos hablar entonces de sonido.

1. *La fuente sonora.* La fuente capaz de engendrar sonido es cualquier cuerpo que pueda vibrar al aplicarle una energía. Si doy un golpe con los nudillos sobre una mesa he aplicado una energía al tablero con lo cual he provocado una reacción que ha generado una vibración, como la piedra que cae en un estanque de agua tranquila: "La onda sonora". Dicha onda transmitida por el aire ha alcanzado el oído y ha sido percibida. Las características de la onda dependerá de la constitución de la fuente sonora. Los cuerpos blandos o porosos son malos generadores de sonido o no lo generan.

2. *La transmisión.* Una vez generada la onda sonora esta debe transmitirse. El medio habitual de transmisión es el aire pero el sonido también se transmite a través de otros gases, de cuerpos sólidos y de líquidos. Los cuerpos blandos y porosos son malos transmisores como son malos generadores. Por ello se utilizan dichos cuerpos para amortiguar la transmisión del ruido como veremos al estudiar los medios de protección dentro de la profilaxis de la sordera profesional.

El agua es un buen conductor del sonido aunque inferior al aire, y en general todo líquido, gas o sólido con buena reacción a la deformación (es decir, dotado de elasticidad) es un buen conductor del sonido. Los metales blandos como el plomo, al igual que los demás materiales blandos o porosos son malos conductores. El medio conductor tiene además de elasticidad, masa y por tanto, impedancia.

El sonido posee una velocidad de propagación que varía con el medio, así como también una amortiguación que está relacionada con la impedancia del medio. Así, en medio sólido el sonido se propaga con más velocidad que en el aire pero se amortigua mucho antes, de ahí el papel protector de los paneles, muros, etc.

Ya hemos señalado como hay buenos y malos conductores del sonido, pero bueno o malo hace falta siempre un medio para que el sonido se transmita. Donde no puede existir transmisión del sonido es en el vacío.

3. *Mecanismo de la propagación sonora.* La vibración sonora engendrada por la fuente, conmueve las moléculas del medio creando una perturbación que es la onda "sonora". Tal onda no es más que una alteración de la presión atmosférica repetida rítmicamente o no, con sus vientres y nodos. Esta onda se transmite a una velocidad determinada y se amortigua hasta desaparecer. Ello dependerá de la energía inicial y de las características del medio.

## C. TIPOS DE SONIDOS

Bajo el punto de vista físico, la onda sonora puede ser un simple senoide en cuyo caso estamos ante un sonido simple o "tono puro", o bien una asociación de tonos puros mezclados (Fig. 1). A esto le llamamos un "sonido compuesto". Los tonos puros no existe prácticamente en la naturaleza, siendo la mayoría de las veces sonidos artificiales engendrados por ciertos instrumentos, como por ejemplo, los diapasones. Los tonos puros tienen un gran interés en acústica fisiológica así como en audiológica y fisiología de la audición, pues al ser sonidos simples se prestan mejor al estudio meramente físico o aplicado. Los tonos puros tienen siempre la misma calidad y sólo se pueden diferenciar en función de su frecuencia o intensidad.

Los sonidos compuestos son los que habitualmente oímos. Se comprende que la generalidad de los sonidos sea de esta naturaleza por lo heterogéneo de las fuentes sonoras, tan múltiples y variadas. Los sonidos compuestos tienen cada uno su propia calidad por lo que auralmente se pueden identificar aunque su frecuencia e intensidad sea la misma.

Dentro de sonidos compuestos tenemos dos variedades: "los tonos complejos" y los "ruidos". Los tonos complejos son aquellos sonidos compuestos que tienen carácter rítmico o periódico y mientras que los ruidos carecen de periodicidad. Los tonos complejos suelen ser agradables al oído y los ruidos, no. (Fig. 1)

## D. CARACTERISTICAS Y PROPIEDADES DE LA ONDA SONORA

Partiremos para este estudio de los tonos puros pues en ellos es más fácil su estudio por tratarse de una onda simple. Supongamos que tenemos una varilla elástica (Fig. 2A) (las ramas de un diapason por ejemplo) que la desplazamos, entonces comenzará a vibrar yendo del punto reposo O al punto extremo A; de aquí volverá al O, lo sobrepasará hasta alcanzar el punto B, antípoda del A, y de aquí volverá de nuevo al punto O. Si la energía ha sido escasa la varilla se quedará aquí, pero si la energía ha sido mayor, por la inercia seguirá oscilando pero cada vez con menor amplitud hasta que vuelva a su punto de reposo. Este movimiento se repite periódicamente y transmite al medio una onda sonora que gráficamente la podemos representar en forma circunferencial o sinusoidal (Fig. 2B). Podemos pues medirla en grados pues se trata de un movimiento angular. Así cuando la varilla esté en el punto A, tenemos  $90^\circ$  de desplazamiento,  $180^\circ$  al volver al punto O,  $270^\circ$  en el B, y se completaran a los  $360^\circ$ , al retornar de nuevo al O.

Las oscilaciones se repiten periódicamente pero cada vez son menores a medida que se vaya perdiendo la energía que las generó. En el momento en que la varilla se detiene, cesa el movimiento y con él, el sonido.

Al recorrido completo de la oscilación le llamamos "ciclo" o vibración doble. El tiempo que tarda en consumarse un ciclo, se denomina "periodo". La distancia desde el comienzo al fin del ciclo, se conoce como "longitud de onda", y se le denomina con la letra griega lambda:  $\lambda$ . La longitud de onda depende del período y de la velocidad del sonido:  $\lambda = cT$  en donde  $c$  es velocidad y  $T$ , periodo. El ciclo como podemos ver en la figura 2, tiene dos mitades simétricas y antagónicas: OAO y OBO, es decir de 0 a 180° y de 180° a 360°. Veremos más adelante la importancia que esto tiene en la fase del sonido y en el fenómeno de la interferencia.

El tamaño de la onda, representado por la distancia OA, es la "amplitud" de la cual depende la intensidad del sonido (Fig.3). Vemos como los distintos ciclos de la figura 2<sup>a</sup> van disminuyendo su amplitud, lo que quiere decir que cada vez se oirán más débiles. El número de veces que el ciclo se repite en la unidad de tiempo, se conoce como "frecuencia" y entre la frecuencia y el periodo hay una relación precisa:

$$F = \frac{1}{P} \quad \text{y} \quad P = \frac{1}{F}$$

Si la intensidad del sonido depende de la amplitud de la onda, el tono o altura depende de la frecuencia (Fig. 3).

La relación temporal dentro del ciclo se conoce como "fase". Si suponemos que en lugar de una varilla en la figura segunda, tenemos dos y las lanzamos al mismo tiempo, estarán vibrando en fase: no habrá retraso de la una con respecto a la otra. Si la segunda varilla la soltamos cuando la primera está en él el punto A, habrá entre ellas un desfase de 90° (Fig. 4) y si lo hacemos cuando la primera está de nuevo en el punto O, su desfase será de 180°, y entonces se dirá que ambas ondas se encuentran en oposición de fase (Fig. 4). La fase en sí no aporta ninguna propiedad al sonido cuando éste es único, pero ante dos o más sonidos como es habitual en la vida diaria, o simplemente en los sonidos compuestos, la fase de los distintos componentes tiene gran importancia, pues es responsable del fenómeno de la "interferencia". Esta la podríamos definir simplemente como la interacción de dos o más sonidos. La interferencia puede ser positiva o negativa. Hablaremos de interferencia positiva cuando la interacción de dos o más sonidos dé lugar a una mayor intensidad y será negativa cuando ocurra lo contrario. La interferencia es siempre positiva cuando los dos o más sonidos se emiten en la misma mitad del ciclo y negativa si se emiten temporalmente en mitades diferentes. El grado máximo de interferencia positiva se da cuando las dos están exactamente en fase; entonces se dobla su intensidad y el grado mínimo, cuando se encuentre en oposición de fase; en tal caso se anulan entre sí. (Fig. 7 y apartado de timbre).

Este fenómeno se ha intentado aprovechar en la lucha contra el ruido tratando por ejemplo de poner en posición de fase el ruido de máquinas, pero tales intentos fracasaron pues la fase del sonido al parecer cambia incesantemente.

La onda sonora una vez generada puede mantenerse o amortiguarse hasta desaparecer según que su energía sea o no mantenida, pero aún en este caso la distancia acabará por amortiguarla totalmente, antes o después según la intensidad de la la onda y la impedancia del medio.

El sonido se propaga a una velocidad determinada en cada medio. Así en el aire sabemos que la velocidad del sonido es de 340 m/s, mientras que en el agua es de 1.500, 5.000 en el acero y 1.500 en el hormigón armado por ejemplo. Vemos velocidades a la del aire pero impedancias mucho más grandes, por lo que el amortiguamiento es mayor. La velocidad del sonido ya hemos visto que es importante en la longitud de onda. La temperatura y la presión atmosférica son también factores que modifican la velocidad del sonido en relación directa.

Cuando el sonido pasa de un medio a otro se producen una serie de fenómenos similares a los observados con otras radiaciones, vg, la luz. Parte de la onda sonora es absorbida por el otro medio, y la capacidad de absorción depende de las características físicas del mismo. De acuerdo con ellas, también, la onda sonora se refleja y se refracta. La "reflexión" consiste en que la onda al chocar con el nuevo medio se desvía en ángulo recto, y la "refracción" en que atraviesa el medio, desviada, como lo hace la luz. Un caso particular es la "difracción", que es la alteración que sufre la onda al encontrar una solución de continuidad o bien un obstáculo de dimensiones inferiores a su propia longitud de onda. En el primer caso se generan nuevas ondas a partir de aquellas soluciones de continuidad y en el segundo se pierde el efecto pantalla del obstáculo.

Todo elemento capaz de transmitir el sonido tiene una frecuencia propia, esta es una vibración libre o natural. Si por el contrario se le somete a una fuerza de otra frecuencia, vibra con ella, lo que es una vibración forzada. Si la frecuencia impuesta es igual a la propia entonces la amplitud de la onda se ha hecho enorme y se dice que ese medio entra en "resonancia". Los efectos de la resonancia se extienden a una banda de frecuencia por encima y debajo de la frecuencia propia, es la "banda de resonancia".

Todos estos fenómenos: reflexión, absorción, resonancia, etc., tienen una gran importancia en acústica aplicada para reforzar el sonido o por el contrario para inhibirlo, según las circunstancias. Así un auditorium de música debe tener unas condiciones precisas para aprovechar adecuadamente los fenómenos de reflexión y resonancia por ejemplo, diciéndose cuando ello se logra, que dicho local tiene buena acústica. Las superficies planas y duras reflejan mucho el sonido y lo absorben poco por lo que se generan ondas secundarias de idéntica frecuencia, pero en distinta fase y por supuesto con menor intensidad. La pérdida de intensidad dependerá de la capacidad de absorción del medio y si se trata de un mal conductor del sonido como puede ser el corcho, la goma, etc., se absorberá mucho y se reflejará poco. El sonido reflejado puede dar lugar a las llamadas ondas estacionarias que potencian por acoplamiento de fase, la onda primitiva. Con cada reflexión del sonido pierde energía y si se combinan adecuadamente las superficies se puede conseguir en gran medida la reducción de la intensidad sonora. Las superficies facetadas de material absorbente son ideales para conseguir estos efectos y de tales materiales se construyen las cámaras llamadas anecoicas en las que se reducen al máximo los fenómenos de reflexión y resonancia. Superficies lisas y duras (de materiales poco absorbentes) y sin facetas, son las idóneas para conseguir los efectos opuestos y lograr condiciones acústicas óptimas.

## **E. PROPIEDADES FISIOLÓGICAS DEL SONIDO. TONO, INTENSIDAD Y TIMBRE.**

Bajo el punto de vista fisiológico estas propiedades tienen una especial importancia.

### **1. TONO**

El tono del sonido es la altura o sea la sensación de gravedad o agudeza. Todos sabemos lo que es un sonido bajo o grave y un sonido alto o agudo. La sensación de tono depende de la frecuencia: a mayor frecuencia, sonido más agudo (Fig. 3). La capacidad del oído humano para percibir el tono, es limitada y se extiende aproximadamente desde 18 vibraciones dobles (vd) hasta 18.000. Por encima y por debajo, no podemos hablar de sonido porque no lo percibimos. Las ondas de menos de 18 vibraciones se conocen como "infrasonidos" y son percibidas, no como sensaciones auditivas sino táctiles (vibratorias); por encima de 18.000 estamos ante los "ultrasonidos" que no se perciben de ninguna manera, pero que si tienen gran intensidad pueden ocasionar alteraciones orgánicas. El espacio comprendido entre 18 y 18.000 vd se conoce como "campo tonal". Dentro de este amplísimo campo sólo una zona muy concreta tiene interés para nosotros que es la comprendida entre 125 y 8.000 ciclos por segundo, pues en ella se encuentran la mayoría de los sonidos de la naturaleza. Aún dentro de esta gama, los sonidos de la voz humana, que son los más importantes, se sitúan entre 250 y 2.000. A éstas y a sus intermedias se las llama "frecuencias conversacionales".

La capacidad del oído humano no es igual para todas las frecuencias siendo mucho más eficaz para frecuencias 1.024, disminuyendo hacia arriba y abajo. A medida que nos alejamos de dicha frecuencia hace falta cada vez mayor energía para despertar una sensación similar obtenida en ella, que es la frecuencia más sensible. Se han diseñado unas curvas de isosonoridad viéndose como en los extremos del campo tonal, la sensibilidad es mucho menor que en la frecuencia mencionada. (Fig. 5)

La unidad de frecuencia que corrientemente se emplea, es el ciclo o vibración doble por segundo que se conoce con el nombre de "Hertz" (Hz) y a partir de la frecuencia 1.000 se usan múltiplos, concretamente, kilohertz (kHz).

La sensación de tono, que hemos dicho depende de la frecuencia del sonido, sigue la ley de Weber-Fechner. Esta es una ley general de toda sensación, y dice que "la sensación es igual al logaritmo del estímulo", y así, para que la sensación crezca en progresión aritmética el estímulo debe hacerlo en progresión geométrica. Esta ley que volveremos a encontrar cuando tratemos de la intensidad, ha obligado a buscar unidades de sensación de tono, y ha surgido la "octava". Entendemos por tal en cambio la sensación de tono o altura que se experimenta al pasar de una frecuencia a su frecuencia doble (o a su mitad). Comenzando por 1 Hz, que no hace al caso porque hasta 18 al menos no habrá sensación auditiva, iremos doblando las frecuencias en octavas (2, 4, 8, 16, 32, 64) para entrar con la de 128, en la zona de interés del campo tonal. Esta zona es precisamente la que se explora en audiometría clínica y lo hacemos precisamente en octavas comenzando por la más grave que es la mencionada de 128 kHz. Las frecuencias serán por tanto 128, 256, 512, 1.024, 2.048, 4.096 y 8.192. Estas 7 frecuencias son como decimos las que se emplean en audiometría clínica, y ya se insistirá en esto en el capítulo correspondiente. En la actualidad, con fines prácticos se han redondeado estas frecuencias, por lo que comenzamos en 125, 250, etc., hasta 8.000. La experiencia ha demostrado que son suficientes, en estudios clínicos, aunque somos conscientes de que representan sólo una pequeña parcela del campo tonal. Recientemente se ha diseñado audiómetros que cubren el espacio entre 8 y 18 kHz, que son los llamados audiómetros de tonos agudos. Pueden tener cierto interés diagnóstico pero no se han difundido en la clínica.

## 2. INTENSIDAD. EL DECIBEL

La intensidad del sonido depende de la amplitud de la onda sonora: a mayor amplitud, sonido más intenso (Fig. 2 y 3) y al igual que para las frecuencias hay también unos límites, en la percepción de la intensidad. Por debajo de cierta intensidad, un oído normal no percibe nada y en el momento en que se empieza a oír, si es que se aumenta la intensidad, a ello le llamamos "umbral de audición" o simplemente umbral. Por debajo pues, la audición está limitada por el umbral. En un sujeto sordo obviamente el umbral se eleva. Si vamos aumentando la intensidad, llegará un momento en que tal sonido será molesto, por lo que alcanzamos otro umbral, el del dolor. Veremos como en algunos tipos de sorderas está disminuido el umbral del dolor. En el terreno de las intensidades la audición está limitada por arriba por el umbral doloroso. Cuando se alcanza este, ya no podemos hablar de audición sino de dolor y ello es otra sensación. Ya hemos visto como la sensibilidad auditiva variaba con las frecuencias: las frecuencias centrales son más sensibles que las laterales. Pues bien, en relación con el umbral doloroso ocurre precisamente lo contrario, que tarda más en alcanzarse en las frecuencias medias; ello hace que a medida que nos apartamos de 1.024 el campo auditivo se estrecha: se necesita más intensidad para alcanzar el umbral, y se llega antes al dolor. Si sobre el campo tonal consideramos las intensidades tendremos lo que se llama "campo auditivo" (Fig. 6) o curva de Wegel.

En el campo de las intensidades la percepción sonora sigue también la ley de Weber-Fechner, lo que quiere decir que entre la intensidad del estímulo y la intensidad de la sensación hay una relación logarítmica: al pasar de una intensidad X a una, por ejemplo X +2, no obtendremos una sensación de X +2, sino la del logaritmo X. Como a nosotros lo que nos interesa es la sensación debemos utilizar una escala logarítmica para tener una información certera sobre la sensación experimentada ante una intensidad determinada. Surgió así el "decibel" como unidad práctica de intensidad de sensación. La introducción del decibel (dB) permitió reglar y standardizar la exploración auditiva. Antes del conocimiento del mismo, la exploración auditiva no tenía unidades fiables de medida.

El uso de unidades físicas, a diferencia de lo que ocurre en el campo de las frecuencias, no resulta práctico pues su gama es amplísima. Vamos ahora a estudiar la transducción de tales unidades en unidades de sensación, es decir de decibeles. Bajo el punto de vista físico, podemos medir los sonidos en "poderes" o en "presiones". Entendemos por poder, la cantidad de trabajo realizado en la unidad de tiempo, y su unidad es el vatio/cm.<sup>2</sup> que equivale a 10 millones de ergios/seg. La presión es equivalente a la fuerza y se mide en dinas/cm.<sup>2</sup>.

Si partimos de poderes se ha precisado que el umbral de audición se sitúa en 10<sup>-16</sup> vatios a la frecuencia 1.000 Hz, que es la más sensible, a 10° de temperatura y a 760 mm de presión atmosférica. Esto se logró estudiando un gran número de personas normales de distintas edades, razas y sexo, en los que se halló este valor promedio. Reparemos lo infinitesimalmente pequeña de esta magnitud negativa: cero coma y 16 ceros, es decir una diezbillonésima de vatio. Si a partir de este umbral aumentamos la intensidad progresivamente hasta alcanzar el umbral del dolor, habremos recorrido todo el campo en el terreno de la intensidad. El umbral del dolor se sitúa en 10<sup>-4</sup> vatios. Movernos entre estos valores es difícil y además sólo aproximadamente nos darán la intensidad de lo percibido, (la sonoridad) por seguir la sensación, la ley de Weber-Fechner. La expresión matemática de esta ley es la siguiente:

$$S = \log \frac{I_0}{I_r}$$

en donde S es la sensación, I<sub>r</sub> es una intensidad de referencia e I<sub>0</sub> una intensidad de llegada. Aplicando esta fórmula tendremos el cambio de sensación que hemos experimentado al pasar de un valor a otro. La intensidad de referencia puede ser cualquiera y la llegada puede estar por encima o por debajo de aquella. Si tomamos como valores de referencia y de llegada, respectivamente, el umbral de audición y el umbral del dolor, tendremos el cambio de sensación que se produce al abarcar la totalidad del campo sonoro. Apliquemos pues la ley utilizando estos valores:

$$S = \log \frac{10^{-4}}{10^{-16}} = 12$$

(Para dividir potencias se restan los exponentes y (-16) - (-4) = 12). Esto quiere decir que al pasar del umbral de audición al dolor se experimenta una variación de 12, que son 12 unidades de sensación, llamadas Bel (B), en honor del físico americano del mismo nombre.

Pero esta unidad resulta muy grande por lo que se usan submúltiplos es decir decibeles (dB). Así la fórmula anterior se convierte en la siguiente:

$$S \text{ (dB)} = 10 \cdot \log \frac{10^{-4}}{10^{-16}} = 120$$

Las 12 unidades de antes las hemos convertido en 120, en este caso, decibeles, que son los que figuran en las gráficas de audiometría. Por encima de 120 dB el sonido es definitivamente traumatizante. En la aplicación de esta fórmula se pueden utilizar cualquier valor para  $I_0$  e  $I_r$ , así por ejemplo si queremos conocer el cambio de sensación al pasar de  $10^{-14}$  a  $10^{-6}$ , tendríamos:

$$S \text{ (dB)} = 10 \cdot \log \frac{10^{-6}}{10^{-14}} = 80$$

Como deducimos de los dos ejemplos expuestos una cifra simple de decibeles no quiere decir nada, pues se trata de una razón que exige dos valores. Si decimos por ejemplo 0 decibeles eso no quiere decir más que entre dos valores no ha habido variación, es decir que eran iguales, aunque la intensidad sea altísima. Lo importante del decibel es que es "una unidad relativa de sensación, no de intensidad sonora". *Es la mínima variación de energía sonora que puede percibir el oído humano*, sea cual sea la intensidad de partida. Esta es la definición más simple que podemos dar de decibel. Al manejar decibeles hay que citar siempre la referencia y si se ha partido de vatios, concretamente de  $10^{-16}$  estos decibeles los llamamos IL (intensity level). Si por el contrario partimos de dinas, lo que suele ser más frecuente, la referencia será 0,0002 dinas de presión por  $\text{cm}^2$  y entonces hablamos de decibeles SPL (Sound pressure level). En el caso de partir de dinas la fórmula se modifica por la particular relación que existe entre poderes (vatios) y presiones (dinas): poder = presión<sup>2</sup>. Por ello habrá que elevar al cuadrado los valores de referencia y destino:

$$S \text{ (dB)} = 10 \cdot \log \frac{(P_0)^2}{(P_r)^2} = 10 \times 2 \times \log \frac{P_0}{P_r}$$

Ya hemos señalado que la sensibilidad del oído humano varía con la frecuencia (Fig. 6) necesitándose mayor energía para alcanzar el umbral, cuando nos separamos de 1.000 Hz, pero al mismo tiempo como el umbral del dolor es más bajo, a medida que nos alejamos de 1.000 Hz, el campo auditivo se estrecha. El uso de decibeles como unidad de medida equipara todas las frecuencias. El umbral distinto en unidades físicas para cada frecuencia siempre será 0 dB, y así la gráfica curvada de la Fig. 6 (curva de Wegel) la horizontalizamos pues ahora ya todos los umbrales son iguales: cero, y si la invertimos y la ponemos arriba prescindiendo de la curva del dolor, tendremos un audiograma, o mejor, la gráfica de un audiograma. La consideración de las diferencias de intensidad física entre frecuencias da lugar a los decibeles HL (hearing level). Cuando se habla pues de decibeles HL se está dando a entender que hay una diferencia entre ellos según la frecuencia. Existen unas tablas de equivalencia interfrecuencias que no consideramos oportuno reproducir.

Con la determinación de los umbrales de cada frecuencia o niveles 0 y la introducción del dB. se consiguió reglar la exploración auditiva y surgió lo que hoy llamamos "audiometría" o medida de la audición empleando unidades normalizadas, o decibeles. Para llevar a cabo la audiometría contamos con unos aparatos, los audiómetros, que nos dan tonos puros de las frecuencias antes mencionadas, cuya intensidad la podemos regular en decibeles. Más adelante figura un capítulo sobre audiometría en el que se expone la práctica de esta exploración.

Los valores de normalidad a que nos referimos en este capítulo de la intensidad sonora, fueron calculados en 1951 por la ASA (American standard association). Sin embargo en 1964 la ISO (International standard organization) revisó dichos valores encontrando ciertas diferencias con los originales. Los estándares ISO son más rigurosos variando entre unos 6 y 15 dB según frecuencias. Así la magnitud de una pérdida auditiva será algo mayor si se emplea el standard ISO y por ello deberá conocerse con que standard está calibrado cada audiómetro y figurar en la cartulina del audiograma la correspondencia entre uno y otro.

### 3. El timbre. Los sonidos compuestos.

Entendemos por timbre, la calidad del sonido: lo que nos permite auralmente diferenciar sonidos de la misma intensidad y frecuencia. Una misma nota puede ser dada, por ejemplo con igual intensidad por un violín y por un piano y nosotros diferenciamos claramente una de otra. Del mismo modo diferenciamos las voces y en general todos los ruidos, porque tienen un timbre diferente.

El timbre no existe en los tonos puros que son todos iguales y ante la misma intensidad y frecuencia, el

oído no puede diferenciarlos.

Ya hemos dicho antes que prácticamente los sonidos que oímos son compuestos, es decir combinaciones más o menos complejas de tonos puros. La mezcla de todos los tonos que utiliza el audiómetro se conoce con el nombre de "ruido blanco" y se emplea en audiometrías con fines de ensordecimiento como veremos en el capítulo correspondiente.

Los sonidos compuestos son la resultante de varios tonos puros fundidos. Si las distintas ondas se repiten periódicamente (b, Fig. 1) tenemos lo que se llama un tono complejo o sonido musical y si no es ese el caso (c, Fig. 1), tendremos un ruido.

Los sonidos compuestos constan de diversos componentes sinusoidales de diferente intensidad, frecuencia y fase. Esta última es muy importante en la forma de la onda compuesta, pues ya conocemos como las relaciones de fase entre dos o más sonidos incrementan o disminuyen la intensidad. Así en la figura 7 vemos un sonido compuesto de los mismos sonidos simples pero en fases distintas y podemos apreciar las diferencias entre uno y otro. Fourier demostró que todo sonido complejo de frecuencia  $N$  se puede descomponer en una suma indefinida de ondas sinusoidales de frecuencias,  $N, 2N, 3N, 4N...$  A la onda de frecuencia más baja se le llama "fundamental" y a los múltiplos, "armónicos" o sobretonos. Al hacer el análisis de Fourier de un sonido complejo se precisan las amplitudes, frecuencias y fases respectivas de sus distintos componentes y se ha podido comprobar que sólo los primeros armónicos (hasta el 15 a lo sumo) tienen amplitud apreciable.

El sonido fundamental es el más bajo y es precisamente el que tal da el "tono" de dicho sonido. De la intensidad, número, y fase de los armónicos dependerá esa característica de los sonidos complejos que llamamos "timbre" es decir su calidad. Los distintos armónicos siempre tienen una frecuencia superior al fundamental, al ser múltiplos de aquel, pero sin embargo su intensidad puede variar mucho de unos a otros y superar al fundamental, lo que representamos por un sistema de barras (Fig. 8). Estas intensidades pueden cambiar si se modifica la fase de los componentes simples, con lo cual variará el timbre.

## **FISIOLOGIA DE LA AUDICION PROPIAMENTE DICHA**

### **Introducción**

La Audición es un sentido físico, dada la naturaleza del estímulo y a través del cual obtenemos información de un fenómeno de la naturaleza: el sonido. La audición es una actividad sensorial muy particular porque el lenguaje humano se lleva a cabo por medio de sonidos, los sonidos de voz. Así la audición se eleva de categoría, pues el lenguaje es la primera y más importante fuente de cultura. Por medio de él nos relacionamos con nuestros semejantes y por medio de él adquirimos la experiencia. Gracias al lenguaje nos integramos en nuestro grupo social. Sin audición no podemos desarrollar el lenguaje, como les ocurre a los sordos de nacimiento. El lenguaje, en efecto, lo aprendemos gracias a la audición que nos permite desarrollarlo por imitación de lo que oímos. Entra pues la audición en el campo de la cultura y esa es su gran importancia.

El proceso de la audición comienza cuando la onda sonora captada por el pabellón auricular es transmitida a través del conducto auditivo externo hasta el tímpano. Este es conmovido por la onda sonora, vibra y transmite a su vez al oído interno el cual la convierte en energía bioeléctrica al tiempo que analiza y descompone la onda sonora compleja proyectándola, ya como energía eléctrica, en el nervio auditivo y convertida en impulso nervioso o potencial evocado. Este potencial recorrerá la vía auditiva hasta alcanzar los centros corticales en donde el mensaje es interpretado.

A lo largo de este proceso podemos estudiar dos fases: la transmisión o conducción y la percepción. La primera constituye todos los fenómenos que tienen lugar en oído externo y medio, y la segunda, en oído interno y vías. La frontera entre ambas fases se encuentra en la ventana oval. Todo lo que tiene lugar fuera de ella pertenece a la transmisión y lo que acontece más allá a esta, a la percepción. Aún en ésta podemos diferenciar dos fases, la que tiene lugar en el oído interno y la que lo hace en el nervio y las vías. La fase auditiva correspondiente al oído interno es muy importante pues en ese lugar tiene lugar la conversión de la energía mecánica del sonido en energía eléctrica. Al conjunto de fenómenos que tienen lugar allí, dentro de la percepción, se conoce con el nombre de "recepción". La recepción sonora es pues una fase de la percepción, y a ambas se las conoce también, como fase neurosensorial.

### **Fisiología de la transmisión sonora**

La onda sonora es captada por el pabellón auricular aunque su papel en la fisiología de la audición es modesto. En los animales en que el pabellón está dotado de movilidad, su papel es importante para percibir el origen de la fuente sonora. El pabellón actúa entonces como una antena móvil que se orienta hacia la fuente. Esto no ocurre en el hombre lo que se suple con los movimientos de la cabeza. El conducto auditivo externo se

limita a transmitir la onda, pero parece ser que tiene algún papel como resonador aunque muy poco conocido. Al final del conducto está la membrana del tímpano y aquí es donde verdaderamente comienza el proceso de la transmisión. El tímpano vibra pero no lo hace en su totalidad, sino sólo la pars tensa que dicho sea de paso es la más grande. La vibración del tímpano se transmite a los huesecillos: martillo, yunque y estribo. El tímpano y los huesecillos forman una unidad que es el "sistema tímpano-oscicular" que es la base funcional del oído medio y de la transmisión sonora. La vibración de la cadena de huesecillos termina en la platina del estribo que ejecuta movimientos de émbolo repetidos al compás de la llegada de la onda (Fig. 9).

El sistema tímpano-oscicular no se limita a transmitir sino que amplifica la intensidad. Estando este sistema en el oído medio y siendo su herramienta funcional, podemos decir que la función del oído medio es transmitir y amplificar la onda sonora. La función amplificadora del oído medio tiene una explicación filogenética, pues aparece en el momento en que los vertebrados se hacen terrestres: no existe en efecto en los peces. El oído interno está ocupado por líquidos: la perilinfa y la endolinfa que deben conmovirse cuando llega la onda sonora. En los vertebrados acuáticos el paso de las ondas del exterior al oído interno no supone pérdida de energía, pero sí cuando la onda debe pasar de medio aéreo a los líquidos del oído interno. El oído medio es un dispositivo nuevo que aparece precisamente para compensar esa pérdida. Debemos hacer la salvedad de que los peces no oyen pero tienen un sentido vibratorio afín.

La amplificación que lleva a cabo el oído medio se logra por dos mecanismos: uno de pistón y otro de palanca (Fig. 10). El primero, llamado también "relación hidráulica" es el más eficaz y consiste sencillamente en que la energía sonora que alcanza el tímpano encuentra una superficie muy grande y tal energía se concentra en una muy pequeña: la platina del estribo, lo que supone un aumento de energía. El tímpano tiene en efecto una superficie de 90 mm<sup>2</sup> y la platina de 3. El segundo mecanismo o de palanca resulta eficaz por la relación de los brazos de potencia y resistencia de la palanca, cuyo punto de apoyo está en la cabeza del martillo. La ganancia que da la cadena oscicular es de unos 30 dB, de los que unos 25 corresponden al mecanismo de pistón y los restantes al de palanca.

El sistema tímpano-oscicular lleva a cabo otro mecanismo necesario para la transmisión que es el desfaseamiento de la onda sonora, lo que exige alguna explicación. El sonido que alcanza el tímpano sufre una escasa reflexión precisamente por el carácter móvil del mismo; la casi totalidad de la onda pasa el tímpano; una parte, la mayor en forma de vibración destinada a alcanzar la ventana oval y otra atraviesa la membrana con cierta pérdida de energía y cierto grado de refracción, para llegar a la ventana redonda, ocluida como sabemos por una tenue membrana (el tímpano secundario). Esta pone en comunicación la caja del tímpano con la rampa timpánica del caracol, como la ventana oval conecta aquella con la rampa vestibular (Fig. 9). El tímpano secundario es capaz de vibrar al igual que lo hace el tímpano propiamente dicho. Así la vibración sonora alcanzará la rampa vestibular a través de la cadena oscicular-ventanal oval, y la rampa timpánica, via aire de la caja-ventana redonda. Ambas ondas difieren en fase pues la transmisión es más rápida a través de la cadena, que del aire de la caja. Es decir que otra función del sistema timpanooscicular es desfasar la onda sonora, ¿y cuál es la finalidad de este fenómeno? pues muy sencillo y muy importante: si la onda sonora llegara en igualdad de fase a la ventana oval y redonda, la vibración u ondulación de los líquidos laberínticos sería imposible o muy difícil. Como veremos más adelante al hablar de la percepción sonora, la coclea o caracol membranoso se encuentra interpuesto entre las dos rampas del caracol, descansando sobre la membrana basilar (Fig. 9), que está dotada de notable elasticidad. Ambas rampas se unen entre sí en la punta del caracol a través del helicotrema. Así la coclea que contiene endolinfa está totalmente rodeada por la perilinfa: arriba de la rampa vestibular y debajo, de la timpánica. La onda sonora conmueve la perilinfa lo que hace vibrar al órgano de Corti albergado en la coclea y allí se genera el impulso nervioso. Si la onda sonora llegara en la misma fase a la ventana oval y redonda no habría en teoría vibración. Es precisamente el desfaseamiento lo que produce la posibilidad de vibración perilinfática: si la onda está desfasada cuando entre la platina del estribo, el tímpano secundario sale, y al revés, produciéndose así un movimiento rítmico (Fig. 9) entre ambas ventanas y a través de la perilinfa-coclea membrana basilar. El tímpano secundario de la ventana redonda es la única zona distensible del oído interno. Es el punto débil del sistema y gracias a él puede vibrar la perilinfa pues los líquidos no son comprensibles. Si la onda sonora alcanzara el oído interno en fase, la presión del tímpano secundario encontraría otra presión igual y de sentido contrario, con lo cual no se podría mover.

Si el oído medio actúa transmitiendo y amplificando la onda sonora, tiene también mecanismos para reducir su amplitud con lo que actúa como protector del oído interno. Tal función entra en juego cuando somos sometidos a sonidos de gran intensidad que pudieran traumatizar las delicadas estructuras del oído interno.

La función protectora del oído medio se lleva a cabo por medio de sus músculos: músculo de martillo innervado por el trigémino y músculo del estribo, innervado por el facial. Estos dos músculos se contraen de modo reflejo ante sonidos intensos con lo cual la cadena de huesecillos aumenta su rigidez y es menos apta para

transmitir tales sonidos que podrían lesionar el oído interno.

Hay un error en los clásicos al interpretar la acción de estos músculos pues se decía que el músculo del martillo llamado también, tensor del tímpano, actuaba como protector, mientras que el del estribo, era antagonico y facilitaba la transmisión. En la actualidad se sabe que como hemos dicho antes ambos músculos aumentan la rigidez de la cadena y por tanto protegen. De ambos se ha estudiado mejor el del estribo o músculo estapedio pues su reflejo se desencadena con más precocidad y constancia que el del martillo. A éste se le han encontrado otras funciones de las que hablaremos más adelante. Así, es el músculo del estribo y su reflejo el que parece directamente relacionado con el fenómeno de la protección.

El reflejo estapedio es a la vez directo y cruzado, es decir que una sobrestimulación unilateral provoca el reflejo en ambos lados. La vía del reflejo contralateral comienza en el nervio auditivo, alcanza el complejo olivar superior del mismo lado y desde aquí parte una vía de conexión que termina en el núcleo medial del facial del lado opuesto, en donde comienza la parte eferente del reflejo que termina por contraer el músculo. La vía del reflejo ipsilateral es paradójicamente más compleja, pues desde los núcleos cocleares ipsilaterales, pasa al complejo olivar del lado opuesto y de aquí al núcleo medial del facial del lado ipsilateral. Así pues, la vía del reflejo ipsilateral es doblemente cruzada. El reflejo se desencadena sólo con sonidos de gran intensidad: de unos 90 dB, y tiene una latencia de unos 14 ms.

El estudio del reflejo estapedio tiene importantes aplicaciones clínicas pues se puede estudiar en todos sus extremos: umbral, latencia, fatiga, etc., por un procedimiento sencillo que es analizando la impedancia del oído medio. Al aumentar la rigidez de la cadena por la contracción refleja del músculo, aumenta la impedancia y de ello deducimos la presencia del reflejo; ya veremos en el capítulo correspondiente, cuales son las aplicaciones clínicas del reflejo estapedio.

El reflejo del músculo del martillo tiene menos interés práctico y se produce también ante estímulos trigeminales, pareciendo estar más en relación con el funcionalismo de la trompa de Eustaquio que con la audición propiamente dicha. A continuación hablaremos de él.

El oído medio para cumplir adecuadamente su función debe mantener una presión igual a la atmosférica y ello se logra gracias a la trompa de Eustaquio. El oído medio es un receso del árbol respiratorio al que está unido por el fino cordón umbilical de la trompa. La trompa es un conducto que une el oído medio con la faringe. Posee unos músculos: los periestafilinos externo e interno que son respectivamente, tensor y elevador del velo del paladar. La trompa permanece cerrada, pero en cada movimiento de deglución y durante el lenguaje el velo del paladar asciende y se tensa por la contracción de los mencionados músculos. Al mismo tiempo que esto ocurre la trompa se abre y se equilibran las presiones. Rítmicamente con la contracción del periestafilino externo se contrae el músculo del martillo cuya inervación es común y este músculo retrae el tímpano tensándolo. Tal retracción facilita el recambio gaseoso del oído medio como si al retraerse el tímpano, se exprimiera el aire hacia la trompa abierta. En cualquier caso esta acción parece un tanto ilusoria, pero lo cierto es que gracias a la abertura periódica de la trompa se mantiene la presión adecuada para la transmisión sonora.

El oído medio tiene por detrás la apófisis mastoides que en circunstancias normales está neumatizada en un amplio sistema de celdas. No se sabe muy bien cual es el papel funcional de la mastoides y de su sistema celular, pero se cree pueda actuar como un elemento amortiguador de sonidos excesivamente intensos.

La transmisión sonora es un fenómeno físico, por lo que es necesario estudiar este interesante aspecto del problema que luego explicará a su vez la fisiopatología de este distrito. Estudiaremos ahora la **FISICA DE LA TRANSMISION SONORA.**

El oído medio funciona como un sistema oscilante de fuerza de llamada disimetría. La onda sonora que conmueve el tímpano, a partir de aquí va a encontrar una resistencia al atravesar el oído medio. Esa resistencia es lo que se conoce como "impedancia".

La impedancia viene representada por 3 factores: masa, elasticidad y fricción. La masa y la elasticidad son las del sistema tímpano-oscicular, y a la última se le conoce también por el término contrario: rigidez. La fricción o frotamiento está representado por el roce del sistema tímpano-oscicular con el medio.

La masa y la elasticidad están recíprocamente relacionadas siendo antagonicas entre sí. La suma algebraica de masa y elasticidad, la conocemos como "reactancia", y masa y elasticidad, pueden anularse, en cuyo caso decimos que se ha alcanzado el "punto de resonancia". En tal caso la impedancia queda reducida a la fricción. Independientemente de este caso particular, la impedancia (z) queda reducida a dos factores: reactancia (R) y fricción (F) y las podemos representar como un triángulo rectángulo en el que la hipotenusa es la impedancia y los catetos, la reactancia y la fricción. Siendo así tenemos que:

$$Z^2 = R^2 + F^2 \text{ por lo que } Z = \sqrt{R^2 + F^2}$$

La impedancia se ve modificada cuando se modifican algunos de sus tres factores, pero dentro de la fisiología solo ocurre ello cuando se contraen los músculos que aumentan la rigidez. Las demás circunstancias caen siempre en el campo de lo patológico pues van a determinar una sordera y de ello hablaremos en el capítulo siguiente.

Afortunadamente contamos en la actualidad con pruebas clínicas para evaluar la impedancia: Impedanciometría o Timpanometría.

## **FISIOLOGIA DE LA PERCEPCION SONORA**

Cuando la onda sonora alcanza el oído interno entramos en la parte neurosensorial o percepción sonora que podemos dividir en dos fases: coclear y neural.

### **Fisiología de la cóclea. Teoría general de la Función Coclear.**

La primera teoría científica de la función coclear y de la audición en general, fue emitida por Helmholtz en 1862 y se le conoce como "teoría de la resonancia", según la cual ciertas partes del O. de Corti entran en resonancia cuando su frecuencia propia coincide con la del sonido y en el punto en que ello ocurre se produce una estimulación del nervio. Según esta teoría, la cóclea es capaz de analizar los sonidos, descomponiéndolo en sus partes elementales como un analizador de Fourier. En realidad esto es lo que se conoce como "ley acústica de Ohm", formulada por este famoso físico en 1842. El fenómeno de la resonancia no se pudo demostrar nunca, pero sí el análisis por parte de la cóclea. Sin embargo esto fue puesto en duda antes y después por ciertas observaciones experimentales y surgió la llamada "teoría telefónica" formulada por lord Rutherford. Según esta teoría la cóclea no analiza los sonidos sino que se limita a transmitirlo a la corteza cerebral donde se produce el análisis.

Actualmente sabemos que la hipótesis de la resonancia es falsa pero no así el análisis de los sonidos por parte de cóclea, aunque dentro de ciertos límites como veremos más adelante.

Superada la teoría de la resonancia se ha demostrado sin embargo que los sonidos de distintas frecuencia (tonos puros) estimulan determinadas zonas de la cóclea y tales sonidos son captados por las fibras nerviosas que llegan a dicha zona. El elemento que suministra la estimulación del nervio, es la célula ciliada con la que hacen sinapsis y que se excita con la llegada de la onda sonora. Si se trata de sonidos complejos la cóclea capta sus diversos componentes como si descompusiera dicha onda y de acuerdo con la frecuencia de cada sonido se estimularán zonas distintas de la cóclea al igual que ocurriría con varios tonos puros. A esta teoría se le conoce como "Place theory" que en su forma más pura la podríamos definir diciendo "que los sonidos de distintas frecuencias estimulan zonas determinadas de la cóclea y esas zonas dan, sensaciones específicas de tono".

Esta teoría general que por un momento se consideró válida hoy se sabe que lo es sólo parcialmente, pero de ella partiremos para estudiar la fisiología coclear.

### **Mecanismos de estimulación de la cóclea**

Fue Von Bekesy quien precisó el mecanismo de estimulación de la cóclea, por medio de la "onda viajera". Cuando la platina del estribo se mueve rítmicamente con el sonido provoca una onda de perilinfa que recorre el caracol gracias al movimiento del tímpano secundario, punto débil del sistema. Con el movimiento de la perilinfa se mueve también la membrana basilar (Fig. 9) y con ella el órgano de Corti que ejecuta movimientos de ascenso y descenso. La onda que viaja por la membrana basilar (Fig. 11) es la onda viajera. Esta onda tendrá una zona de máxima excursión y allí será donde se producirá la estimulación. Dicha zona depende de la frecuencia, de forma que su extensión es corta en los sonidos agudos y por tanto estos estimulan la zona basal de la cóclea, pero a medida que el sonido es más bajo se estimulan zonas más amplias del caracol, hasta los más graves que van a estimular las zonas de la punta (Fig. 12).

Un sonido en el umbral estimula una zona precisa del órgano de Corti pero si aumenta la intensidad es también captado por zonas vecinas. Esto quiere decir que el movimiento de la membrana basilar actúa como un sistema de filtros que introduce cada sonido en determinada zona, pero tales filtros son dinámicos pues se ensanchan o se estrechan según la intensidad del sonido (Fig. 13). A este papel filtrador del sonido se le conoció como primer filtro, pues se había visto que en el nervio la sintonía entre la frecuencia del sonido y las fibras nerviosas estimuladas era más fina, más selectiva que en la membrana basilar. Se habló entonces de un segundo filtro, que fue un misterio hasta hace poco tiempo; de ello hablaremos algo más adelante.

Una vez tenemos la onda sonora conmoviendo una zona determinada de la membrana basilar, el órgano de Corti que sobre ella reposa va a ejecutar movimientos de ascenso y descenso. Entonces los cilios de las células ciliadas se deforman al chocar con la membrana tectoria que se encuentra encima (ver figura 5 del capítulo

anterior). En el momento en que esto ocurre se produce en la célula una serie de reacciones electroquímicas que conducen a la aparición del potencial de acción en el polo distal de la célula donde hace sinapsis la fibra nerviosa. En la actualidad sabemos que los cilios de las células ciliadas externas contactan con la tectoria mientras que no ocurre lo mismo con los de las internas por lo que su mecanismo de estimulación es algo más complejo. Es posible que aunque no lleguen, exista contacto el momento de la estimulación o quizá éstas células se estimulen por otro mecanismo: corriente de endolinfa que doblen sus cilios.

Sea cual sea el mecanismo de estimulación, se produce en el polo apical de la célula el llamado potencial receptor que es un mínimo cambio eléctrico que produce a su vez el potencial generador en la base de la célula, que da lugar a la liberación de mediadores químicos que activan la transmisión sináptica y la generación del potencial de acción.

### **Fenómenos eléctricos de la cóclea.**

Los fenómenos que acabamos de describir se traducen en una actividad eléctrica, no solo a nivel celular, sino en toda la cóclea. En reposo existe un potencial llamado "potencial endococlear" o "endolinfático". El espacio endolinfático tiene un potencial positivo de unos 80 mV mientras que dentro de las células ciliadas existe un potencial negativo de alrededor de -80 mV. Por lo tanto entre el ambiente externo y el interior de la célula hay una diferencia de potencial de unos 160 mV. Este potencial se verá continuamente modificado cuando la cóclea se estimule. En este caso tenemos diversos fenómenos eléctricos que exponemos en la Figura 14. En primer lugar está el potencial microfónico coclear, que es una variación rítmica sincrónica con la frecuencia del estímulo y sin latencia. Parece que se genera en las células ciliadas externas como suma de toda la actividad eléctrica intracelular descrita antes, y quizás se genere por un mecanismo parecido al del efecto piezoelectrico del cuarzo. Superpuesto con el potencial microfónico tenemos el llamado "potencial de sumación" que es un cambio de corriente continua que se mantiene mientras dura el estímulo. No se conoce bien cual es su origen. Finalmente aparece el "potencial de acción" del nervio que no es más que la actividad evocada por el estímulo en el nervio. Todos estos potenciales se pueden estudiar en la clínica gracias a las modernas técnicas audiológicas y de ello tratamos en el capítulo correspondiente a la audiometría por potenciales evocados.

### **Discriminación de frecuencias.**

En la actualidad se admite la localización tonal en la cóclea, es decir la teoría place, pero con importantes matizaciones. Sabemos que la ley acústica de Ohm sólo es cierta en parte porque la cóclea tiene una capacidad limitada para analizar los sonidos y en cuanto a la teoría Place se admite que es cierto que cada sonido estimule una zona precisa, pero no que dicha zona estimulada de una sensación específica de tono. El problema de la discriminación de frecuencias ha sido el caballo de batalla de gran parte de la investigación en el campo de la audición.

Hace ya tiempo se demostró que si a un sonido complejo se le quitaba el fundamental (su componente más grave) seguía oyéndose con la misma tonalidad y ello seguía ocurriendo a medida que se iban eliminando los armónicos más graves. Cuando se dejaban solo los más agudos (a eso se le llamó, un "residuo") continuaba oyéndose a la misma frecuencia más baja del fundamental: fenómeno del residuo; dicho residuo estimulaba zonas correspondientes a agudos y daba sin embargo una sensación de tono mucho más baja. Por otra parte se sabe si un tono de frecuencia  $x$ , pongamos por caso de 8.000 Hz, se suministra interrumpido un  $n^\circ$  de veces por segundo, supongamos que 100 se percibe como si fuera un tono de 100 Hz. Aquel tono ha excitado la zona de 8.000 es decir la zona de los agudos y sin embargo ha producido una sensación correspondiente a un sonido grave. Esto quiere decir que el principio place tiene ciertas limitaciones; como decimos antes tiene de cierto que los sonidos de determinada frecuencia excitan una determinada zona de la coclea, pero dicha zona no forzosamente da una sensación determinada de tono. En el caso del residuo parece ser que lo que ocurre, es que el oído detecta sólo los primeros armónicos hasta el 4º o 5º y partir de estos, los otros se representan en zonas cada vez más próximas de la coclea de forma que se funden. A partir de aquí se generan sin que se sepa por que, una serie de trenes de ondas que tienen la misma frecuencia que el fundamental. En este momento el oído está respondiendo a esos trenes de ondas en la zona de los agudos, pero dando subjetivamente la misma sensación de altura del fundamental. Lo que ocurre es que la coclea funciona de acuerdo con un doble principio: el principio place y el de la periodicidad de los impulsos. Gracias a este segundo principio no hace falta en los implantes cocleares disponer de un número elevado de electrodos introducidos en la cóclea para obtener una aceptable discriminación del tono.

En resumidas cuentas, lo que ocurre es que la cóclea responde igual ante cualquier sonido de la frecuencia que sea en toda su extensión, pero cada sonido según su frecuencia excita una zona determinada y precisa de la

cóclea. Si en teoría pudiéramos con un sonido agudo estimular la punta del caracol, por ejemplo obtendríamos una sensación aguda y viceversa. La estructura del órgano de Corti y de su innervación terminal es igual en toda su extensión por lo que no hay que esperar la menor especificidad selectiva. Cuando determinados ritmos de estimulación como el caso del residuo, o el ejemplo del tono 8.000 modulado en 100, estamos como en el hipotético caso de estimular con un sonido grave la zona teórica de los agudos. Lo importante es que la cóclea responde no sólo a las frecuencias sino a los ritmos de llegada del estímulo. En el primer caso cada frecuencia irá a una determinada zona del caracol por sus características físicas pero no en el segundo: determinados ritmos lentos irán por ejemplo a zonas de agudos, y no despertarán la sensación de tono agudo, sino la correspondiente a la frecuencia de dicho ritmo.

### **Discriminación de las intensidades. Papel de los dos grupos de células ciliadas.**

Hasta hace algún tiempo se creía que la membrana basilar vibraba tomando punto de apoyo en su inserción en el modiolo. Así, las células ciliadas externas ejecutarían una excursión mayor que las internas por describir un arco más grande. Por tanto ante estímulos mínimos sólo responderían las células de la primera hilera, estímulos más intensos harían entrar en juego la segunda hilera, los superiores, la primera, y por último, los sonidos de mayor intensidad, la hilera de las células ciliadas internas. En la actualidad sabemos que únicamente las células ciliadas internas están directamente relacionadas con la captación de la onda sonora y su transmisión al nervio. Spoendlin demostró en 1972 que las fibras nerviosas que parten de las células ciliadas externas se pierden y no llegan a los centros. Estas células son 3 veces más numerosas que las internas y sin embargo reciben solo un 5% de las fibras del nervio auditivo, que se multiramifican para poder llegar a cada una de las numerosas células ciliadas externas; por ello forman un plexo, llamado espiral externo situado en la inmediata proximidad de estas células y que ya fue descrito en la década de los 30 por nuestro compatriota Lorente de No. Las células ciliadas internas por el contrario tienen prácticamente un terminal nervioso individualizado para cada una de ellas.

La discriminación de intensidad se logra porque como hemos visto antes, a medida que el sonido aumenta, el filtro coclear se ensancha y entran en excitación un mayor número de células ciliadas, pero siempre dentro de la población de las internas.

¿Cual es el papel de las células ciliadas externas? Estas células, mucho más numerosas como decimos, que las internas, tienen la misión de afinar y mejorar la respuesta de aquellas. En su función se encuentra ese hipotético segundo filtro del que hablamos antes. Experimental y clínicamente tenemos situaciones en que se han eliminado las células ciliadas externas como ocurre en la ototoxicidad por aminoglucósidos. En tales casos el sujeto oye, pero lo hace de un modo imperfecto, sin capacidad de discriminación, con un gran disconfort y a menor intensidad de lo normal. Las células ciliadas externas mejoran y afinan la respuesta de las internas. Si colocamos un electrodo en una fibra nerviosa y registramos su respuesta, veremos que en el umbral solo capta una o muy pocas frecuencias y a medida que aumentamos la intensidad entran en ella frecuencias vecinas, cada vez más alejadas de la original o frecuencia crítica. Esto es lo que se llama una curva de sintonización tonal o tuning curve (Fig. 15). Vemos como estas curvas tienen un pico y una zona ancha. El pico corresponde a la entrada de sonidos de poca intensidad y se ha demostrado que cuando faltan las células ciliadas externas, falta el pico y tal unidad neural se hace roma y capta indiscriminadamente gran cantidad de frecuencia. Al tiempo que esto ocurre, obviamente el umbral se eleva y esa unidad es menos eficaz. Pues bien, el papel de las células ciliadas externas es la de crear ese pico que no representa más que una mayor sensibilidad tanto cualitativa como cuantitativa a la unidad neurosensorial.

En la actualidad sabemos que las células ciliadas externas poseen unas proteínas contráctiles que las hacen activas con capacidad de modificar su forma y actividad ante la llegada del estímulo y también espontáneamente. A tal actividad se atribuye el papel afinador de estas células, (2º filtro), así como un fenómeno recientemente conocido que es el de las "emisiones otoacústicas". Estas emisiones descubiertas por Kemp recientemente son emitidas por el oído y tienen carácter audible si son debidamente amplificadas: es decir que el oído emite sonido. Tales emisiones se dan a veces en reposo y siempre cuando hay un estímulo auditivo. En la actualidad se han introducido en la clínica pues constituyen un índice del buen funcionamiento de la cóclea y son de fácil registro y por medio de instrumentación relativamente barata.

### **Fisiología neural de la audición**

La actividad eléctrica del nervio auditivo ha sido estudiada experimentalmente por medio de la inserción de electrodos en el animal de experimentación y por medio del registro de los potenciales de acción con técnicas incruentas en el humano.

Se ha podido comprobar que el nervio sigue el mismo plan tonotópico de la cóclea y que responde como ella tanto al principio place como al de la periodicidad. Al colocar un electrodo en una fibra nerviosa aislada se logran las tuning curves de que hablamos antes (Fig. 16) que son reflejo, no solo de la actividad del nervio, sino de la cóclea, pues la función del nervio está indisolublemente unida a la de la cóclea. Ya hemos explicado en que consisten dichas curvas (en la figura 15 vemos una de ellas aislada y en la 16 un conjunto de ellas). Ya hemos dicho como se codifican las frecuencias en el nervio: por los dos principios place y de la periodicidad, siendo el primero el más relevante: la fibra unida a una célula que media un sonido agudo, transmitirá este sonido por ejemplo. En lo relativo a la intensidad sabemos que una fibra nerviosa aislada alcanza muy pronto el nivel de saturación, a unos 50 dB, pero cuando el sonido es más intenso entran en juego más y más fibras nerviosas. El potencial de acción del nervio auditivo se puede estudiar en conjunto, como se hace en la clínica, es decir de todo el nervio. A este, cuando es evocado por un click que conmueve prácticamente toda la cóclea se denomina "potencial de acción completo" y consta de dos deflexiones negativas y una intermedia positiva (E, fig. 14 y fig. 17). La latencia de este potencial es de 1,5 ms. aunque aumenta cuando baja la intensidad. En el capítulo de la audiometría por respuestas evocadas se estudian las aplicaciones clínicas de los potenciales evocados.

Una vez el mensaje evocado alcanza el SNC se va a difundir a las vías, siguiendo parte de él la vía directa y otra parte la cruzada, en la proporción del 50%. El punto de división son los núcleos cocleares primarios. El carácter doble de la vía auditiva a partir de los complejos olivares superiores hace que las sorderas centrales sean muy poco aparentes. La vía auditiva no sólo se limita a transmitir el mensaje hasta la corteza, sino que juega un papel importante en la localización de la fuente sonora dadas las diferencias en intensidad y tiempo con que el mensaje sonoro llega a un lado y a otro.

En la corteza auditiva se produce la decodificación del mensaje y por tanto su interpretación.

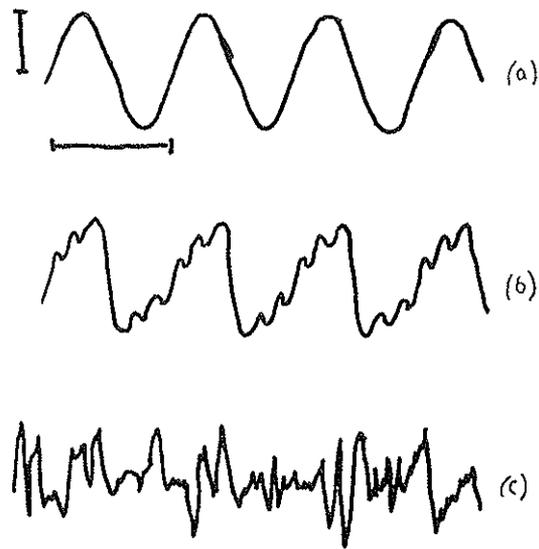
### La vía ósea

Hasta aquí hemos considerado solamente como vía de llegada del sonido lo que se conoce como "vía aérea" es decir a través de oído externo y medio. Esta es la vía normal y fisiológica de llegada del sonido a la cóclea. Sin embargo el sonido también puede alcanzarla a través del hueso pues ya hemos visto como el sonido se transmite por medios sólidos. En circunstancias normales esta vía es despreciable por la enorme amortiguación que supone el paso de un medio de tan poca impedancia como el aire, a uno de la densidad del hueso. Además el hueso está recubierto de las partes blandas que son altamente absorbentes. Donde sí juega un papel importante la vía ósea es en la audición de los ruidos internos, como por ejemplo la masticación. El papel fisiológico por la tanto de esta vía es muy modesto, y para ponerla de manifiesto es necesario que la fuente sonora esté directamente en contacto con el cráneo, como es el caso de un vibrador o el mango de un diapasón aplicado a él. En cualquier punto óseo del organismo en que se coloque la fuente sonora, ésta se transmitirá hacia el oído pero se amortiguará en proporción a su distancia, por lo que para evidenciar bien la transmisión ósea hay que poner el vibrador en el cráneo. Entonces el sonido se difundirá por él y si está en la línea media llegará con igual intensidad a ambos oídos y si está lateralizada, se oirá obviamente más en el lado más próximo (en el supuesto que los dos oídos oigan igual). El punto donde la audición ósea es más eficaz, es la mastoidea, pues es el punto más próximo al oído interno, con piel más delgada.

La vía ósea a partir de la mastoidea, como habitualmente se explora en audiometría clínica, es entre 5 ó 10 dB peor que la aérea, pues aunque es más rápida tienen mayor amortiguamiento y no se beneficia del sistema tímpanosicular. En circunstancias normales la vibración ósea desde la mastoidea se percibe sólo en el lado homolateral aunque el sonido pasa también al opuesto. Por esta circunstancia cuando hay una sordera unilateral de cierta intensidad es frecuente que se oiga antes por el oído opuesto, fenómeno que se conoce con el nombre de "lateralización". Ya veremos la importancia que estos hechos tienen en la exploración de la audición. En la estimulación ósea debemos tener presente que el sonido alcanza el oído interno sin pasar por el medio, haciendo una especie de bypass y este hecho es de enorme importancia en la exploración funcional de la audición.

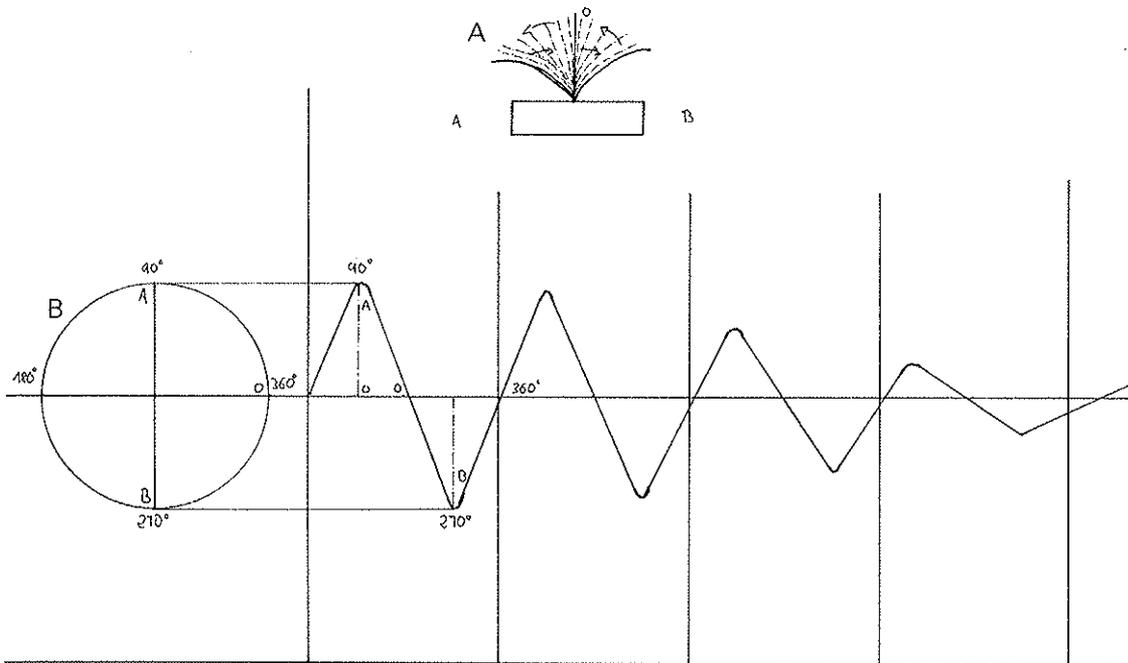
El mecanismo de la audición ósea depende de la frecuencia de la onda sonora. En sonidos graves o medios, hasta 1.000 Hz, el mecanismo es similar al de la vía aérea pero al revés: si por vía aérea vibra la platina del estribo estando fija la cápsula del laberinto (la cápsula del laberinto es la zona ósea que rodea este), en la vía ósea ocurre lo contrario: que vibra toda la cápsula estando inmóvil la platina y el resultado será igual que en el primer caso. Si el sonido es más agudo, superior a 1.000 Hz, como decimos antes, la inercia de sonidos tan altos hace que vibren cápsula y platina como un todo, y tal vibración es transmitida directamente a la cóclea.

Figura 1



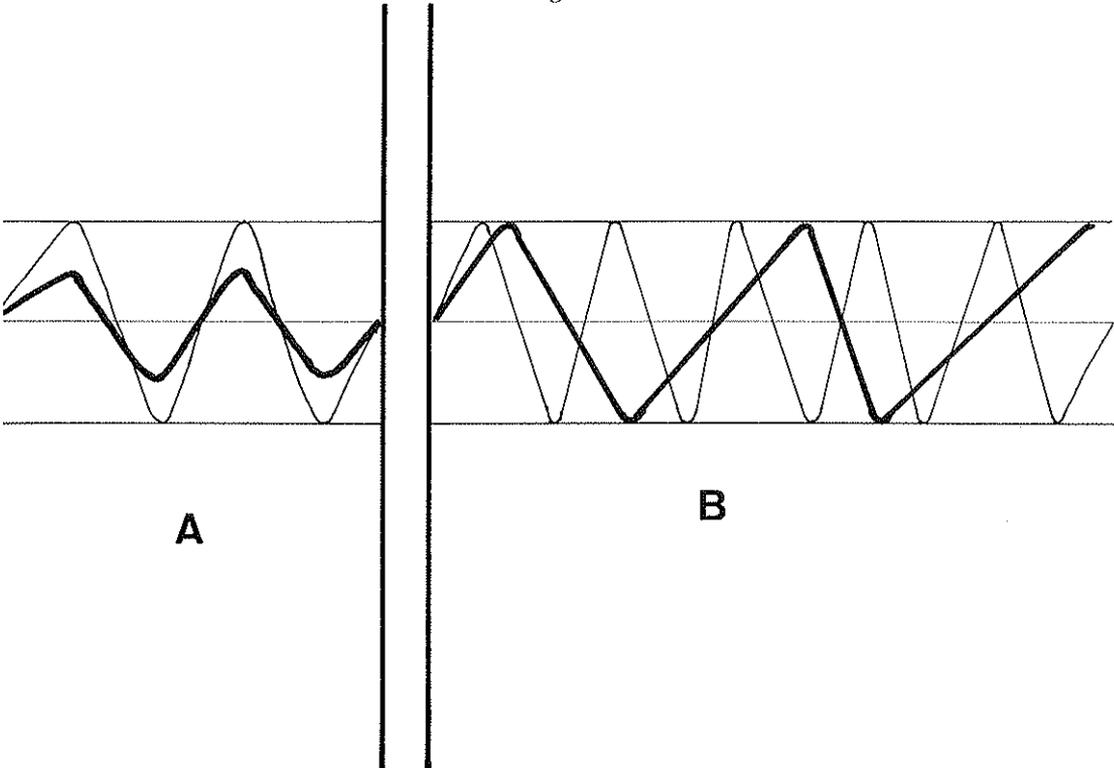
Los diferentes tipos de sonidos. a) Tono puro. b) Sonido musical. c) Ruido.

Fig. 2



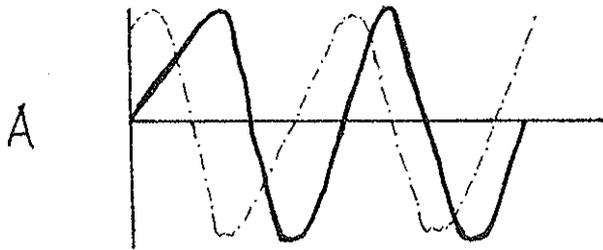
La onda sonora. En A mostramos una hipotética varilla que genera la onda y en B los distintos ciclos progresivamente amortiguados.

Fig. 3

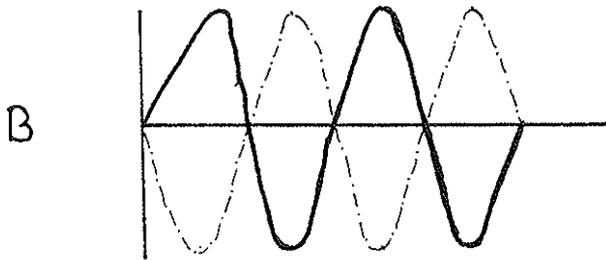


Amplitud y frecuencia. A. dos ondas de la misma frecuencia y diferente amplitud y en B: igual amplitud y distinta frecuencia.

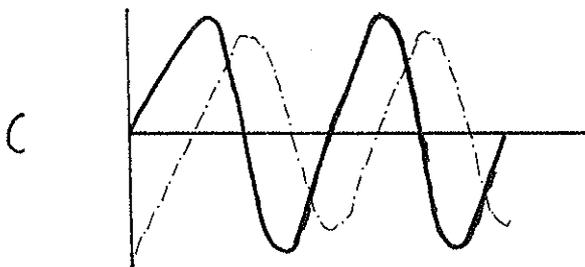
Fig. 4



90°



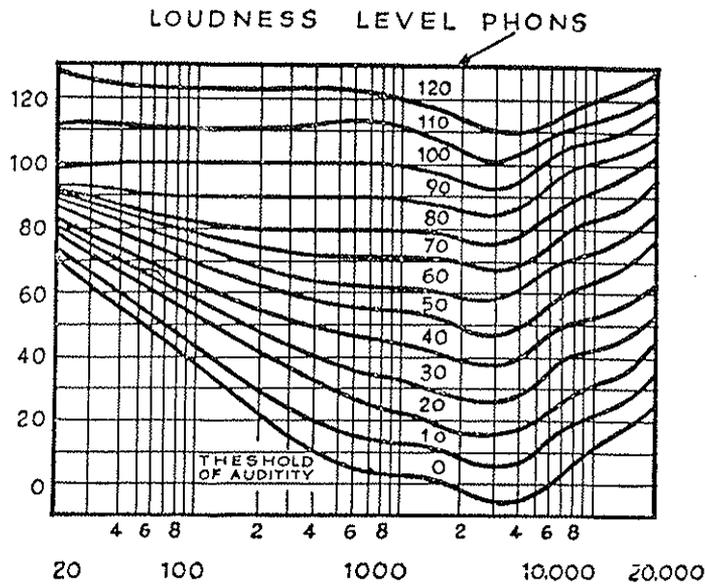
180°



270°

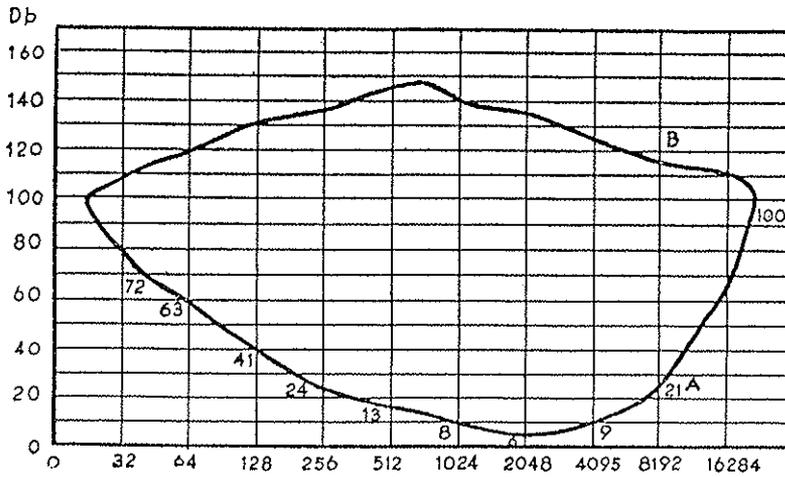
Dos ondas iguales con distinto grado de desfasamiento.

Fig. 5



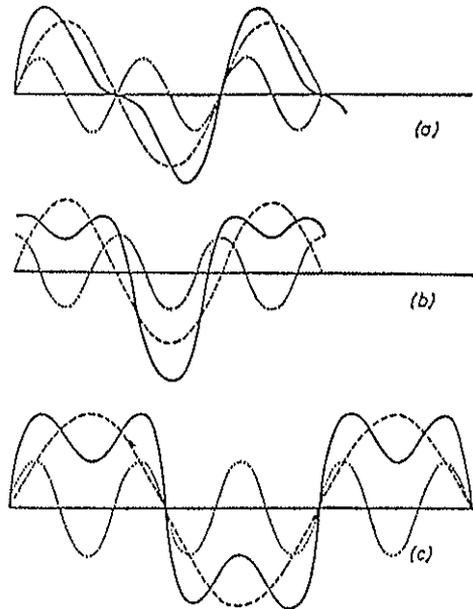
Curvas de isointensidad. La frecuencia más sensible es aproximadamente la de 1.000 Hz y sobre ella hay marcada un escala de 0 a 120 decibeles. Siguiendo las líneas fuertemente trazadas podemos apreciar las diferencias interfrecuencias.

Fig. 6



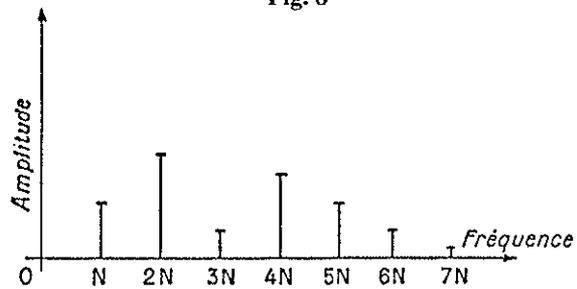
Campo auditivo o curva de Wegel. A. Umbrales de audición que se elevan a medida que nos separamos de 1.000 Hz, y B, umbrales del dolor que disminuyen en la misma situación. El campo sonoro de estrecha, disminuye progresivamente la capacidad auditiva a medida que nos alejamos de la frecuencia 1.000 Hz.

Fig. 7



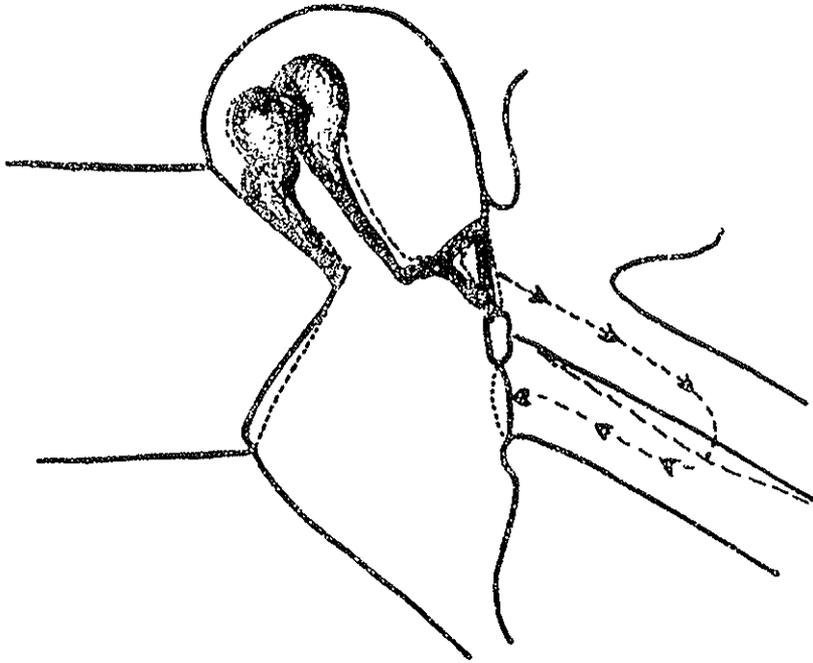
Sonidos complejos. En a y b los tonos constituyentes son iguales pero desfasados en c se puede apreciar como los tonos constituyentes se desfasan en virtud de su diferente frecuencia y como la resultante depende de las relaciones de fase. (Tomada de Groves en Diseases of the Ear, Nose and Throat, ed. Butterworths, 1971)

Fig. 8



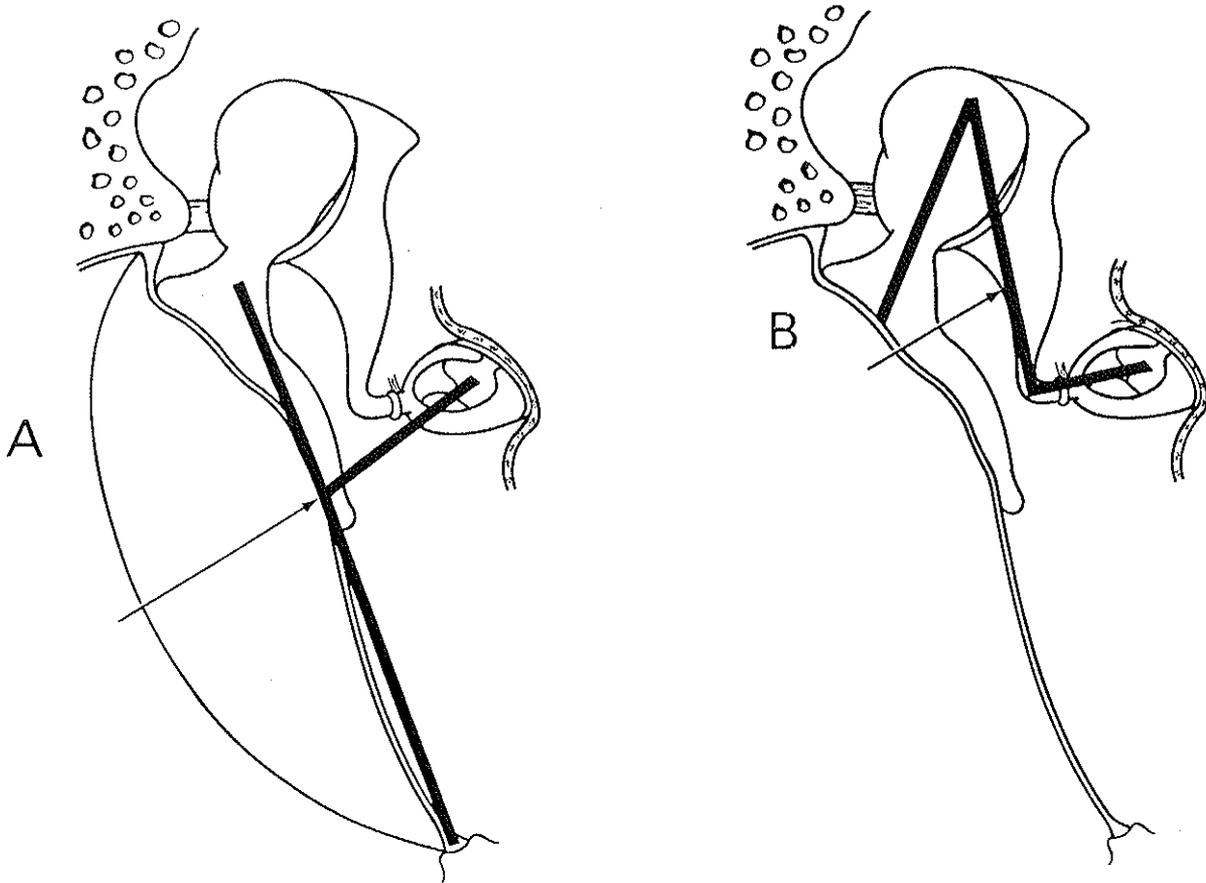
Representación en barras de la intensidad de los diferentes armónicos.

Fig. 9

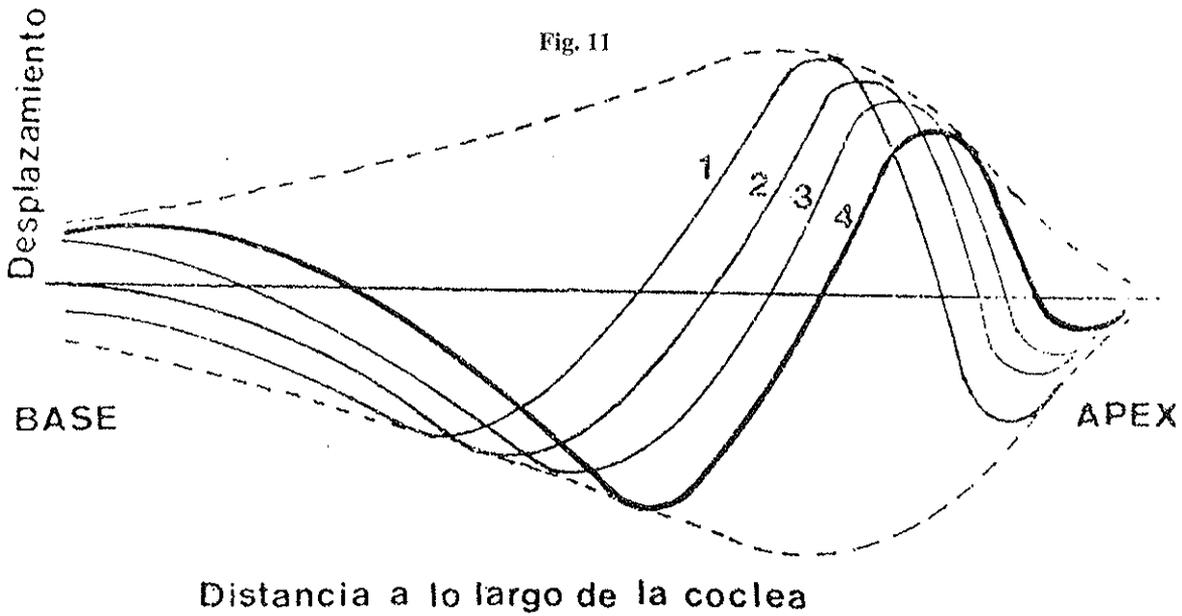


Vibración del sistema tímpano-oscicular. Obsérvese el juego de ventanas, como sale el tímpano secundario de la ventana redonda al entrar el estribo en la ventana oval. Esta se abre en la rampa vestibular y la redonda en la timpánica (el caracol se ha desenrollado y sencionado) La flecha interrumpida es la onda sonora que conmueve a la membrana basilar sobre la que reposa el órgano de Corti.

Fig. 10



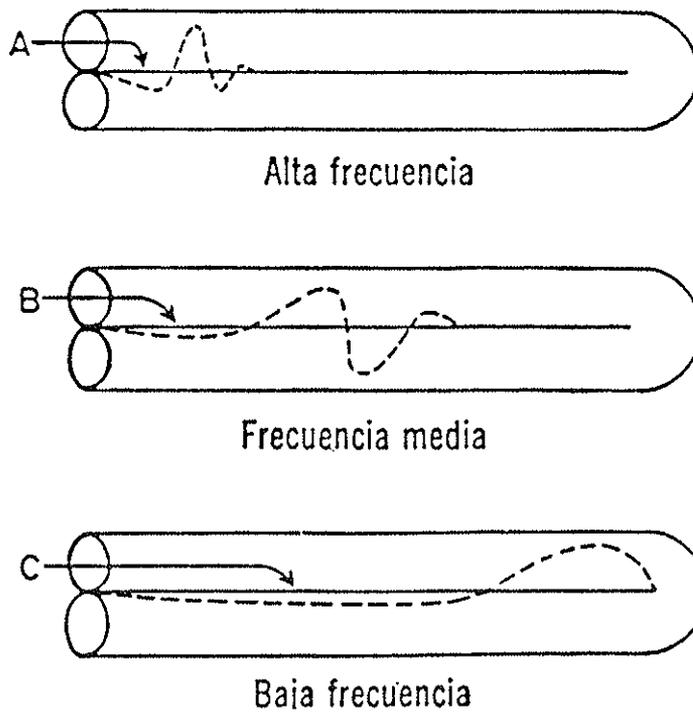
Mecanismos de la cadena osicular. A. mecanismo de pistón en el que se puede apreciar la gran diferencia de tamaño entre la superficie del tímpano y platina (relación hidráulica). En B.: mecanismo de palanca (tomado de Goodhill).



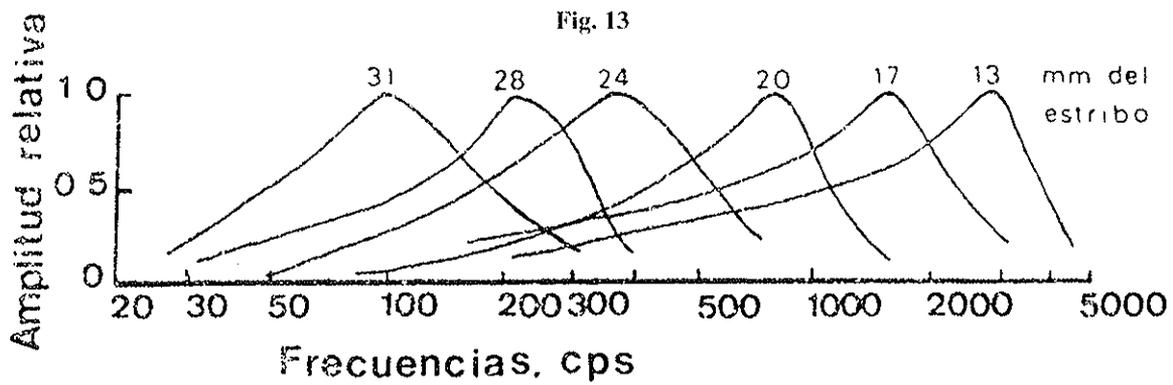
Distancia a lo largo de la coclea

La onda viajera según Bekesy.

Fig. 12.

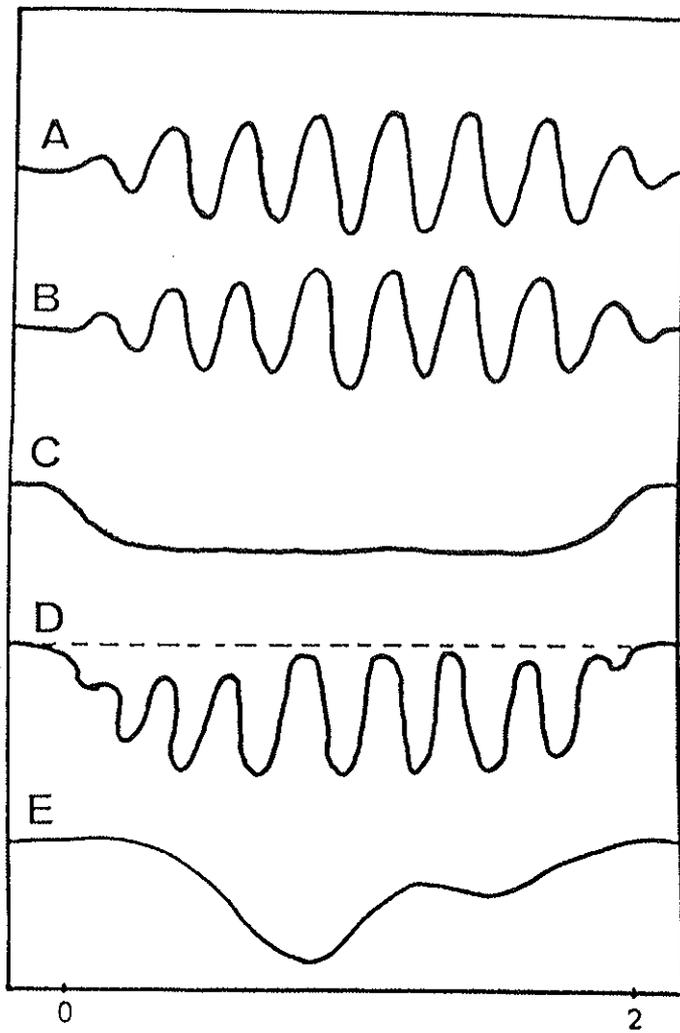


La onda viajera mediada por sonidos de distinta frecuencia. (tomada Sequí Canet).



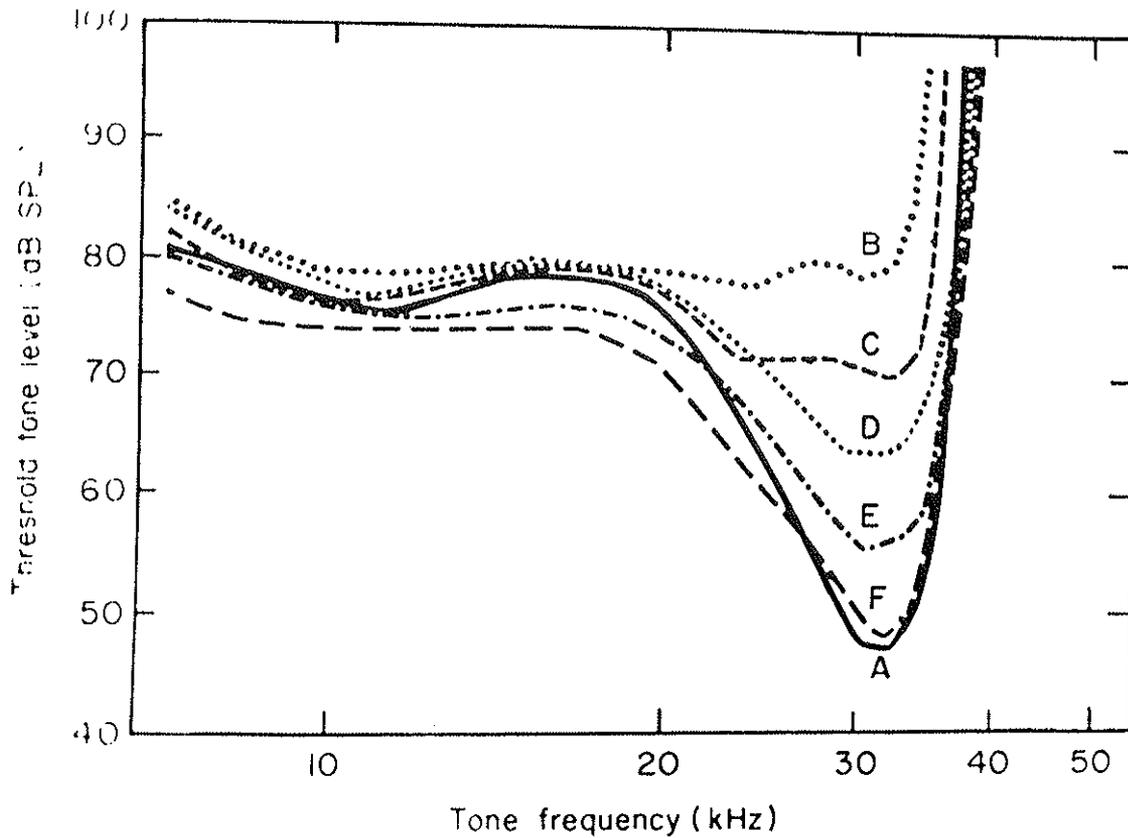
La membrana basilar según Bekesy vibra en zonas de más amplitud cuando aumenta la intensidad. Así esta membrana se puede considerar formada por un sistema de filtros (las distintas curvas en forma de acento circunflejo) que se ensanchan con la intensidad. Así en el umbral cada filtro capta sólo una o muy pocas frecuencias para ir entrando más cuando la intensidad aumenta.

Fig. 14

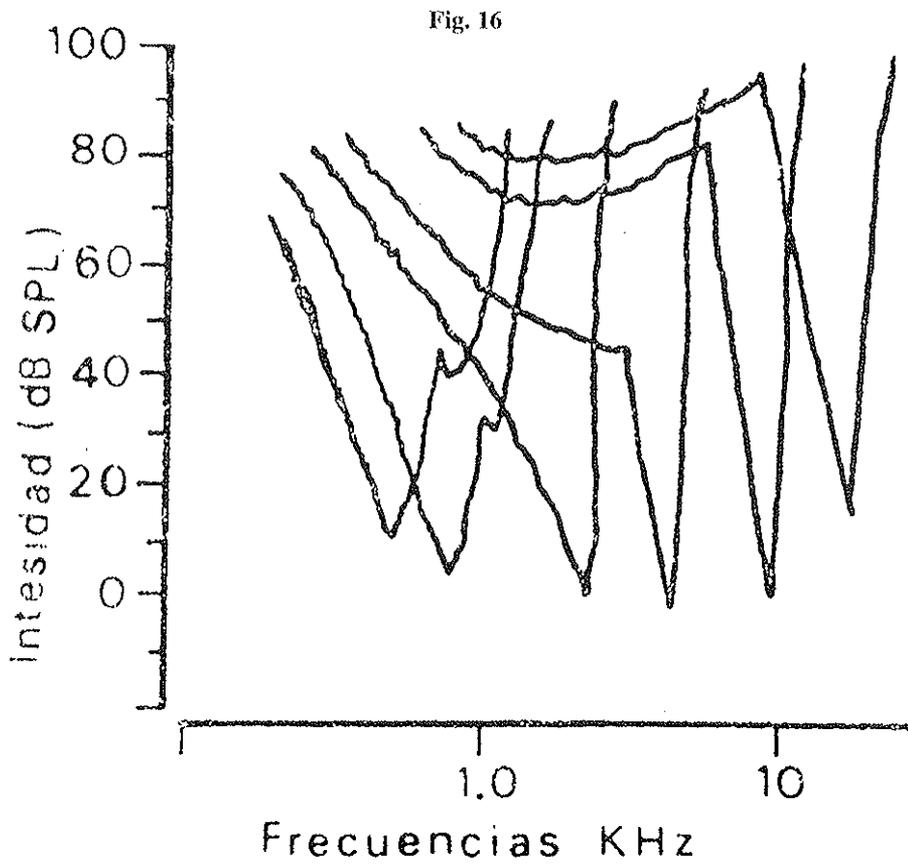


Fenómenos eléctricos de la cóclea. A: onda sonora. B: Potencial microfónico que reproduce el estímulo y no tiene latencia. C: Potencial de sumación. D: Potencial de sumación superpuesto con el microfónico como habitualmente se presentan. E: Potencial de acción del nervio que aparece un milisegundo y medio después del microfónico.

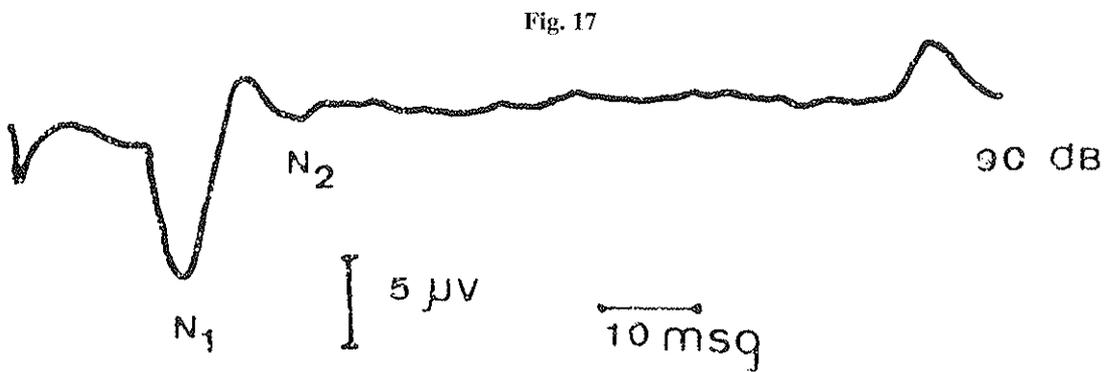
Fig. 15



Tuning curve (tomada de Evans, en *Hearing Science and Hearing disorders*) El trazo continuo A, representa la respuesta de una sola fibra nerviosa. Consta de un pico y una cola. En el umbral, representado por el vértice solo hay respuesta a una o muy pocas frecuencias. A medida que aumenta la intensidad el pico se ensancha por admitirse más frecuencias. A alta intensidad, por la cola de curva, penetran gran cantidad de frecuencias, pero hacia la zona de los graves solamente. Las líneas marcadas de la B a la F representan los perfiles de la curva ante una lesión coclear. La falta de las células ciliadas externas da el perfil B, sin ninguna selectividad.



Colectivo de tuning curves. Obsérvese que las correspondientes a tonos más agudos tienen una más clara diferenciación entre pico y cola, lo que explica como se dice en el texto la mayor facilidad de afectación de las frecuencias agudas en la patología neurosensorial de la audición.



Potencial de acción del nervio auditivo.

## BIBLIOGRAFIA

- ABELLO, P. y TRASERRA, J.: *Otorrinolaringología*. Ed. Doyma, 1992.
- CIGES, M.: *Fisiología de Recepción sonora*. Anales de Otorrinolaringología (Granada) 1, 1, 1986.
- DURRANT, J.D. y LOVRINIC, J.H.: *Bases of hearing Science*. The Williams and Wilkin. Baltimore, 1977.
- GROVES, J.: *Physiology of Hearing*. En Diseases of the Ear, Nose and Throat. 3.ª ed. de Ballantyne y Groves. Butterworths, 1971.
- HUGHES, L. y BERLIN, CH.: *Física del sonido y el decibel*. En trastornos de la audición de J.L. Northen. Ed. Salvat, 1979.
- KEIDEL, W., KALLERT, S. y KORTH, M.: *The physiological basis of hearing*. Ed. Thieme-Stratton, 1983.
- LUTMAN, M.E. y HAGGARD, M.P.: *Hearing Science and Hearing disorders*. Ed. Acad. Press, 1983.
- PICKLES, J.O.: *An introduction to the Physiology of Hearing*. Ed. Acad. Press, 1982.

**CAPITULO 3**  
**FISIOPATOLOGIA DE LA AUDICION**  
*D. Miguel Ciges Juan*



## FISIOPATOLOGIA DE LA AUDICION

### INTRODUCCION

Entendemos por fisiopatología, la alteración de la función, es decir, lo que pasa con el funcionalismo de un órgano o sistema bajo la enfermedad.

La manifestación básica de la audición alterada, es la sordera y de ella va a tratar básicamente este capítulo. Sin embargo debemos considerar otro síntoma generalmente asociado a la sordera que son los "acúfenos". Además, junto a aquella puede haber una serie de manifestaciones asociadas y circunstancias particulares.

Comenzaremos por unas consideraciones sobre terminología.

Entendemos por "sordera", todo déficit auditivo, pero este es un término vulgar cuyo equivalente científico es hipoacusia. Si la sordera es total a ello le llamamos "cófosis". En la era audiométrica podemos calibrar la magnitud de la sordera en decibelios por lo que sobra toda denominación para las distintas magnitudes de la sordera. Así una sordera cuya magnitud no rebase los 30 dB, es una sordera leve, entre 30 y 50, será mediana pero ya evidente, y por encima de 50 dB, grave o profunda. Hay veces, en sorderas muy profundas, en que sólo se conserva la audición en algunas frecuencias, generalmente las más graves y a ello lo denominamos, "restos auditivos".

El impacto social de la sordera está muy en relación con las frecuencias más afectas; así si se alteran fundamentalmente las llamadas frecuencias conversacionales: de 250 a 1.000 Hz aproximadamente, la percepción del lenguaje estará más dificultada que si se afectan las más agudas. Cuando esto ocurre el oído recibe un lenguaje distorsionado pues no percibe bien algunos armónicos agudos, lo que se traduce en una mala "inteligibilidad": Son pacientes que dicen que oyen pero no entienden. La mala inteligibilidad es muy manifiesta cuando hay caída selectiva de agudos y sobre todo en un caso particular de sordera que es la llamada "presbiacusia", es decir la sordera del envejecimiento. Esta se caracteriza por pérdidas discretas a los tonos puros y desproporcionadamente acusadas a las palabras (ver audiometría vocal). La desproporción entre la audición a los tonos puros, relativamente conservada, y la mala respuesta a las palabras se conoce como "regresión fonémica".

En ocasiones el umbral del dolor está disminuido, lo que se manifiesta por una audición molesta o dolorosa a altas intensidades y por una mala inteligibilidad. A esto lo denominamos "hiperacusia dolorosa" y suele ser expresión de un fenómeno ligado a ciertas sorderas, que es el "recruitment", del que hablaremos más adelante. En ocasiones un mismo sonido despierta una sensación distinta en un oído con relación al otro, o bien un mismo sonido despierta una sensación doble. En ambos casos lo denominamos "diplacusia". A la primera modalidad, diplacusia binaural y a la segunda monoaural.

Los "acúfenos" son sensaciones auditivas sin estímulo, lo que vulgarmente conocemos como zumbidos de oído. Son muy frecuentes y suelen acompañar a la sordera sea cual sea su naturaleza o topografía. A veces son el primer síntoma de un proceso auditivo y preceden a la hipoacusia; en ocasiones son objetivos, y auscultando el oído se pueden percibir. En tal caso, la audición del paciente es normal, y tales acúfenos suelen estar producidos por anomalías vasculares en el oído o en su vecindad.

Un síntoma que puede ir asociado con frecuencia a la sordera es "vértigo", que lo podríamos definir diciendo que es "una falsa sensación de movimiento" o bien un falseamiento de la conciencia espacial. El vértigo es el principal síntoma del laberinto posterior cuya misión es orientarnos en el espacio, tener conciencia de nuestra posición y mantener el equilibrio. En los procesos del oído interno es muy frecuente que junto a sordera existe vértigo, pues en el laberinto no hay frontera y la misma noxa que afecta al laberinto anterior puede afectar al posterior. Lo mismo ocurre con los procesos patológicos del nervio auditivo. Del laberinto posterior no

hemos hablado hasta ahora pues se separa de nuestro cometido directo. Sin embargo diremos que en el laberinto posterior existen los conductos semicirculares que informan sobre la aceleración angular, y las máculas, que lo hacen sobre la aceleración lineal y fuerzas gravitacionales. El vértigo puede ser periférico y central, siendo el primero aquel en que la lesión se encuentra en el oído interno o nervio auditivo y el central a partir de la entrada de este en el tronco cerebral. Este es pues un síntoma neurológico. El vértigo periférico es el que se asocia a sordera mientras que ello no ocurre en el central. El que a nosotros nos interesa ahora, que es el periférico, suele tener carácter rotatorio (sensación de que las cosas dan vueltas, o de que lo hace el propio paciente). Este vértigo se acompaña siempre de manifestaciones auditivas, generalmente sordera, o bien acúfenos o ambas, y en ocasiones de hiperacusia, o diplacusia, pero siempre alguna manifestación auditiva. Generalmente se suelen asociar en el mismo momento ambos tipos de manifestaciones. No nos podemos extender en el problema del vértigo, pero sí dejar constancia de su importancia como síntoma asociado a las sorderas de oído interno o nervio auditivo. Si bien el vértigo de esta topografía se asocia siempre a manifestaciones auditivas, como decimos, puede haber muchas sorderas de estos distritos que cursan sin vértigo. Al confeccionar la historia clínica de todo paciente afecto de sordera habrá pues que hacer hincapié en el vértigo.

## **LAS SORDERAS**

Podemos dividir las sorderas en dos grandes grupos: "sorderas de transmisión o conducción" y "sorderas de percepción o neurosensoriales". Las primeras son aquellas en que la lesión se sitúa en oído externo, y sobre todo en el medio; se afecta por tanto la fase de la transmisión sonora. Las segundas son aquellas sorderas en que la lesión está más allá de las ventanas, es decir en el oído interno, el nervio y las vías. En estas se afecta la fase de la percepción sonora. Esta variedad se puede subdividir en dos subgrupos topográficos: sorderas cocleares o de recepción y retrococleares. Finalmente pueden asociarse ambos mecanismos y entonces tenemos lo que llamamos "sorderas mixtas".

### **A. SORDERAS DE TRANSMISION**

Las sorderas de transmisión están generalmente producidas por lesiones del oído medio, mientras que por parte del oído externo, solamente las agenesias y grandes estenosis del conducto producen sorderas importantes. Las sorderas de transmisión puras no suelen ser muy profundas; generalmente no superan los 65 dB de pérdida. Este es el déficit que aparece cuando falta el oído medio, o no existe conducto auditivo externo, y siempre en el supuesto de que el oído interno sea normal. Por desgracia, como veremos luego, las grandes sorderas de transmisión se acompañan casi siempre de un componente más o menos acusado de percepción, con lo que su magnitud aumenta.

La base del diagnóstico audiológico de las sorderas en general, y en particular de las de transmisión es la comparación entre la vía aérea y ósea. En la sordera de transmisión la vía aérea cae, pero la ósea se conserva, porque el sonido a través de esta vía no pasa por el sistema de transmisión que es el que está alterado. Por lo tanto podemos afirmar que en las sorderas de transmisión, vía aérea es superior a vía ósea. Ya veremos la importancia de este hecho cuando estudiemos la exploración audiométrica y el diagnóstico topográfico de las hipoacusias.

La mayoría de las veces, la lesión en las sorderas de transmisión, está en el oído medio hasta el punto de que salvo el caso mencionado de la agenesia o estenosis del conducto, sordera de transmisión es sinónimo de sordera de oído medio.

Las sorderas de oído medio las podemos agrupar en 3 mecanismo fisiopatológicos: lesiones del sistema tímpanoosicular, anquilosis del mismo, y disfunciones de la Trompa de Eustaquio. En cualquier caso, en estas hipoacusias, hay siempre un aumento de la impedancia. De los 3 factores de esta, diremos ahora, que la masa vien representada por la que el sistema tímpanoosicular y cualquier engrosamiento del tímpano o de los huesecillos la aumentan. En tal caso tienden a caer lo agudos. La rigidez, es la del sistema, y aumentos de ésta, como ocurre en las anquilosis conduce a una caída de los tonos graves. Finalmente, el frotamiento viene representado por la fricción del sistema tímpanoosicular en el medio, que es el aire; la fricción aumentará cuando el medio sea más denso: el caso de la ocupación de la caja por exudados, o las simples variaciones de presión en el oído, por obstrucciones tubáricas; entonces caen por igual todas las frecuencias. En todos los procesos de oído medio se suele afectar los 3 factores de la impedancia en mayor o menor proporción, siendo raras las alteraciones puras de uno sólo o dos. La consecuencia será que las sorderas de transmisión darán curvas irregularmente horizontales con caída mayor o menor de todas las frecuencias. Esas pérdidas se acompañan de una vía ósea normal. Hay un caso en que la impedancia adquiere un carácter particular que es cuando la cadena está interrumpida, pues en tal caso el sonido deberá pasar de un medio a otro y volver al medio primitivo, con notable

pérdida de energía.

La máxima expresión de la sordera de transmisión es la producida por ausencia de todo el sistema tímpano-oscicular, como ocurre en algunos procesos patológicos y algunas intervenciones quirúrgicas. En tal caso la pérdida es unos 65 dB como hemos dicho antes. En el capítulo anterior decíamos que la pérdida del sistema tímpano-oscicular suponía unos 30 dB, y los restantes hasta 65, surgen de la falta de desfaseamiento de la onda sonora que se produce obligadamente cuando le falta este sistema; entonces los sonidos llegan en igualdad de fase a ambas ventanas o próximos a la igualdad. La perforación timpánica, incluso de grandes proporciones producen sorderas discretas si la cadena funciona adecuadamente, solamente de unos 25 dB. Veamos ahora las causas principales y sus características dentro de los 3 mecanismos fisiopatológicos.

### **1. Lesiones del sistema tímpano-oscicular.**

Se producen en las otitis medias y en sus secuelas. Las otitis agudas dan solo hipoacusia transitorias. Son las crónicas supuradas las responsables de las hipoacusias de este grupo. Dentro de ellas tenemos dos variedades: las otitis medias crónicas con perforación central y las que cursan con perforación marginal. En general a toda otitis media crónica la llamamos "otorrea", porque el síntoma principal, es la supuración. En toda otorrea hay siempre perforación timpánica, por donde fluye el pus al exterior. Tal perforación puede ser: central o marginal dando lugar como vemos a dos tipos de otorreas. Las otorreas centrales son benignas *quod vitam*, pues las lesiones se limitan a la mucosa, aunque pueden dar lugar a hipoacusias de transmisión muy marcadas. Estas otitis producen sordera por la perforación timpánica, por el tejido de granulación y pólipos, y por la propia secreción que aumenta el frotamiento. Tales otorreas son con frecuencia bilaterales y están mantenidas por factores rinofaringeos: corizas de repetición, inflamaciones tubáricas, insuficiencia nasal, faringitis, etc. Pueden curar espontáneamente o con tratamiento médico, o prolongarse indefinidamente. Si curan dan lugar con frecuencia a secuelas, "los residuos cicatrizales de oído Medio", cuyo único síntoma es la hipoacusia. Las lesiones responsables son fundamentalmente, las interrupciones de la cadena, perforación timpánica, placas de calcificación (tímpanosclerosis) así como las retracciones y anquilosis.

Las otorreas marginales, presentan perforaciones pequeñas en el margen del tímpano generalmente en la parte alta: *pars flácida* (aticitis) y zonas adyacentes. No son con tanta frecuencia bilaterales como las anteriores y dependen menos de factores rinofaringeos. En estas otorreas hay siempre lesiones de osteitis además de las de la mucosa, y por ello la perforación es marginal. Con muchísima frecuencia (en un 80% de los casos o más) existe "colesteatoma", que es una proliferación de epitelio escamoso del conducto que emigra hacia la caja. El colesteatoma crece indefinidamente, agrava o provoca la osteitis y puede dar lugar a graves complicaciones: laberintitis, parálisis facial, petrositis o complicaciones intracraneales: meningitis, absceso encefálico, tromboflebitis del seno lateral. En la actualidad gracias a los antibióticos, es muy raro que esto ocurra pero ahí está el peligro potencial de estas otorreas. En cualquier caso no suelen curar con tratamiento médico o espontáneamente, requiriendo siempre tratamiento quirúrgico.

El mecanismo de la hipoacusia es el mismo de las anteriores pero es paradójico que siendo más graves, la hipoacusia muchas veces es menor; ello se debe a que las lesiones suelen ser altas y comprometen menos la integridad del sistema transmisor. Por otra parte es frecuente que las propias lesiones, compensen interrupciones de la cadena. El tratamiento de la otorrea central es generalmente médico actuando sobre los factores rinofaringeos, y sobre el propio oído con antibióticos (previo antibiograma) y corticoides, en forma de gotas. Estas otorreas requerirá de lavado diario del oído cuando la supuración sea intensa y para que las gotas del antibiótico sean eficaces. Si existe como es frecuente abundante tejido de granulación o pólipos (formación inflamatoria granulosa circunscrita), se tratará ésta quirúrgicamente. Cuando la otorrea central lleve por los menos un año inactiva entonces, ya en la fase de los residuos cicatrizales, se podrá intervenir, si es que la hipoacusia es importante. En tal caso se practicará una "tímpanoplastia", intervención que conduce a restaurar la audición.

Hay muchos tipos de tímpanoplastias, según el tipo y magnitud de las lesiones. La más simple es la "miringoplastia" o cierre de una perforación mediante un injerto. La Miringoplastia hay que asociarla a la movilización o reconstrucción de la cadena siempre que ello sea necesario. Como en toda intervención audiquirúrgica, el éxito de la misma, independientemente de otros factores, dependerá de lo que se conoce como "reserva coclear", que es el estado de la vía ósea. Si la vía ósea está bien conservada, el éxito se puede asegurar al menos en teoría, pues el defecto es de transmisión puro. Si la vía ósea está más o menos afectada significa que hay un componente de oído interno o nervio, y el resultado no será tan bueno; si no hay reserva coclear o es muy escasa, no se intentará la tímpanoplastia pues su resultado será nulo.

Las otorreas marginales, se pueden operar por medio de una tímpanoplastia o bien practicando una "operación radical". La primera puede fracasar pues estamos ante lesiones graves y hay que asegurarse la erradica-

ción de las mismas. Por ello la indicación es limitada y la técnica debe ser muy escrupulosa. En caso de grandes lesiones, amenaza de complicación o poca reserva coclear, se suele practicar la llamada radical, que es una auténtica amputación del oído medio, pues se crea una gran cavidad en el oído medio que comprende mastoides y caja, y se extirpa el tímpano y la cadena. Esta es una intervención de exeresis que suele asegurar la curación de las graves otorreas marginales, pero deja como secuela una hipoacusia de unos 65 db. Si se trata de un caso bilateral o con sordera en oído opuesto conviene tratar de evitar esta intervención en favor de la tímpanoplastia, pero si el otro oído está sano como ocurre con frecuencia, podemos ser más liberales en su indicación.

## **2. Anquilosis de la cadena de huesecillos.**

En las otitis y en particular en sus secuelas es frecuente que la cadena esté anquilosada junto con otras alteraciones, como ya hemos visto. En este apartado no nos vamos a referir a este tipo de anquilosis, sino a las puras, a aquellas en que todo el sistema está normal: tímpano y cadena, pero existe una anquilosis de esta. Tal circunstancia se da sólo en un proceso patológico "la otosclerosis". Esta enfermedad es la causa más frecuente de sorderas de transmisión, y cursa solamente con sordera sin ninguna otra manifestación salvo acúfenos.

La otosclerosis es muy frecuente, más en la mujer que en el hombre y es enfermedad hereditaria con carácter dominante. Consiste en que aparece una distrofia ósea en la cápsula laberíntica generalmente en la vecindad de la platina del estribo. Como consecuencia de esto se forma un callo óseo que fija la platina y por tanto anquilosa la cadena produciendo una hipoacusia. A veces el callo otoscleroso crece lejos de la ventana oval y entonces la enfermedad puede pasar desapercibida. Este proceso es bilateral y comienza generalmente en la tercera década de la vida entre los 20 y los 30 años, y en la mujer es frecuente que comience durante un embarazo. La hipoacusia al principio es de transmisión pura pero pronto se hace mixta y su curso en general es progresivo llegando a producir profundas hipoacusias acompañadas de molestos acúfenos. Como veremos en el capítulo de la exploración hay pruebas para precisar si la cadena está anquilosada; la positividad a estas pruebas junto a una hipoacusia de transmisión o mixta, y absoluta normalidad del tímpano hacen el diagnóstico, amén de la falta de factores rinofaríngeos.

El tratamiento de la otosclerosis es siempre quirúrgico, por medio de una intervención que se conoce con el nombre de "estapedectomía": extirpación del estribo anquilosado y sustitución del mismo por una prótesis, con los que se restituye la movilidad de la cadena. La condición fundamental para el éxito de la intervención es que exista una buena reserva coclear.

## **3. Disfunciones de la trompa de Eustaquio**

Las disfunciones de la trompa de Eustaquio dificultan la ventilación del oído medio por lo que se van a producir alteraciones de la presión en él y muchas veces acúmulo de secreciones. Si la trompa no funciona bien, el aire de la caja tiende a reabsorberse y crea una presión negativa que dificulta la movilidad de la cadena al tiempo que facilita los fenómenos de transudación. Por otra parte, el oído medio, sobre todo en los niños, produce secreción mucosa que en circunstancias normales se elimina por la trompa. La presión negativa y el acúmulo de serosidad o moco, altera la impedancia, especialmente la fricción y ello da lugar a la hipoacusia.

Las disfunciones tubáricas, o tubaritis son muy frecuentes en la infancia por factores rinofaríngeos. Recordemos que la trompa se abre en la rinofaringe y que en el niño las alteraciones rinofaríngeas son muy frecuentes, particularmente por la presencia de las vegetaciones adenoideas. En cualquier caso esto hace que la trompa se inflame y se obstruya, lo que da lugar a los fenómenos descritos. En realidad estamos describiendo las alteraciones de una variedad de otitis media que es la "otitis secretoria" u otitis seromucosa. Esta es una otitis media crónica no supurada, a diferencia de las anteriores. Suele tener carácter recidivante y como decimos es particularmente frecuente en niños. Constituye la causa más frecuente de hipoacusias infantiles. Los síntomas otológicos son muy poco evidentes: solamente una hipoacusia no muy acusada y además fluctante, pero son muy floridos los síntomas rinofaríngeos: insuficiencia nasal, corizas, fenómenos de hipersecreción nasal y faríngeas, laringitis etc. Muchas veces esta otitis pasa desapercibida, pero da un retraso escolar precisamente por la hipoacusia, hasta el punto de conocerse a esto como "síndrome de la hipoacusia inadvertida de los escolares". Muchos niños retrasados escolarmente son en realidad sordos. La enfermedad es indolora y la propia hipoacusia fluctua mucho. El niño no suele quejarse de que no oye bien, de ahí que pase desapercibida. Otras veces hay defectos de pronunciación: dislalia o retrasos en la adquisición del lenguaje.

La hipoacusia es de transmisión pura, no muy acentuada, mejora con la maniobra de Valsalva (ver capítulo de la exploración clínica del oído) y la exploración de la impedancia detecta importantes anomalías (ver también el capítulo correspondiente a la impedanciometría o timpanometría).

El tratamiento se orienta hacia los factores rinofaríngeos y hacia el propio oído. Dentro de los primeros los

más importantes son las vegetaciones adenoides, que deberán tratarse quirúrgicamente. Sobre el oído se practica una intervención sencilla que es la paracentesis timpánica con inserción de un tubo de drenaje. Esta intervención consiste en incidir el tímpano y aspirar la secreción para acto seguido colocar un tubo de drenaje que facilita la ventilación y el equilibrio de presiones.

La otitis secretoria es en realidad la otitis crónica no supurada, de los clásicos que impropiaemente se conoce también como otitis con efusión. En realidad no es más que la antigua otitis crónica no supurada o catarro seco de oído. Esta entidad puede dejar como secuela el "Proceso adhesivo crónico" que es el equivalente a los residuos cicatrizales de las otitis supuradas. El proceso adhesivo crónico es muy frecuente y más lo fue en tiempos pasados. En él la cadena está anquilosada y el tímpano retraído, por lesiones residuales: bridas, cicatrices, placas calcáreas etc. Se diferencia de los residuos en que en estos el tímpano está perforado y el proceso adhesivo, no; las lesiones por lo demás, son iguales. El proceso adhesivo da como único síntoma, la sordera y se diferencia de la otosclerosis por los antecedentes de otitis secretorias y factores rinofaríngeos, y por la absoluta indemnidad timpánica de la otosclerosis. El tratamiento es quirúrgico por medio de intervenciones entre la tímpanoplastia y estapedectomía.

La inteligibilidad (percepción del lenguaje) de las sorderas de transmisión es siempre buena.

## **B. SORDERAS DE PERCEPCION**

La sordera de percepción las podemos dividir en cocleares y retrococleares. En todas ellas encontramos una caída simultánea de las vías aéreas y óseas, porque vaya por donde vaya el sonido alcanza un receptor deficiente. En ellas las dos vías están bajas, pero la aérea es algo mejor que la ósea, como en el sujeto normal. La relación vía aérea vía ósea, no se altera en las sorderas de percepción. Son irreversibles a diferencia de las de transmisión, y suelen caer fundamentalmente, los tonos agudos. Luego explicaremos porqué.

### **1. Sorderas Cocleares.**

Son las más frecuentes e importantes de las neurosensoriales. Las podemos dividir en dos grupos: sorderas por alteración de los líquidos laberínticos y por lesión primaria del órgano de Corti.

Las sorderas cocleares en general pueden adquirir gran magnitud y la mayoría de las cófosis están producidas por lesiones cocleares graves. Estas hipoacusias se caracterizan cuando no son totales por la presencia de un importante síntoma que es el "Recruitment". El recruitment o reclutamiento consiste en que existe en efecto una hipoacusia, es decir una elevación del umbral de audición, pero al mismo tiempo hay un descenso del umbral del dolor. Ello quiere decir que cuando se aumenta la intensidad del sonido en cierta cuantía, en lugar de oírse mejor ocurre lo contrario por alcanzarse enseguida el umbral del dolor. Hay pues un estrechamiento del campo auditivo.

El recruitment aparece cuando se alteran las células ciliadas externas y subsisten las internas, lo que es la regla en toda sordera coclear, que no sea total. Entonces se pierde el carácter afinador de las células ciliadas externas del que hablamos en el capítulo anterior. Las unidades neurales (tuning curves) se ensanchan, pierden el pico (ver capítulo anterior y su figura 15). En estas unidades deformadas necesita el sonido una mayor intensidad para penetrar, pero inmediatamente entran por ella gran cantidad de sonidos y por tal razón se alcanza enseguida el umbral del dolor. Al mismo tiempo, hay mala inteligibilidad.

El recruitment es patognomónico de las sorderas cocleares y contamos con muchas pruebas clínicas para detectarlo (ver capítulo correspondiente a la Audiometría).

En todas las sorderas cocleares como decimos afectan primero las células ciliadas externas y entonces es cuando aparece el recruitment. Cuando se afectan también las internas la hipoacusia se hace tan profunda que no se puede detectar el Recruitment. Además la mayoría de las veces cuando se afecta este colectivo de células entramos en la cófosis.

Veamos las principales causas de sorderas cocleares.

#### **a. Sorderas por alteración de los líquidos laberínticos**

Estas sorderas entran de lleno en el capítulo del vértigo por lo que no las consideramos aquí. Diremos simplemente que cuando se alteran los líquidos laberínticos se produce un síndrome cuyo principal síntoma es el vértigo acompañado de sordera con las características de las cocleares, siendo precisamente aquí donde con más pureza aparece el Recruitment. La diplacusia, es síntoma afín al recruitment, pero específico de las alteraciones de los líquidos.

La sordera al principio y durante bastante tiempo, se caracteriza por ser fluctuante, agravándose (al igual que el recruitment, la hipersacusia, etc) con las crisis de vértigo. El vértigo por alteración de los líquidos labe-

rínticos es lo que conocemos como "Vértigo de Meniere" y la alteración consiste en un exceso de endolinfa, por lo que se le conoce también como "hidrops endolinfático". Veremos en el apartado siguiente como muchas de las sorderas del grupo pueden ir también asociadas a vértigo.

**b. Sorderas por lesión primaria del órgano de Corti**

Estas son las más frecuentes y graves. Las podemos dividir en hereditarias y adquiridas, y éstas en prenatales, neonatales y postnatales.

Las sorderas hereditarias, y adquiridas prenatales integran el grupo de las "sorderas congénitas". Dentro de las adquiridas prenatales tenemos como causas diversas embriopatías: rubeólica, tóxicas, vírica, etc.

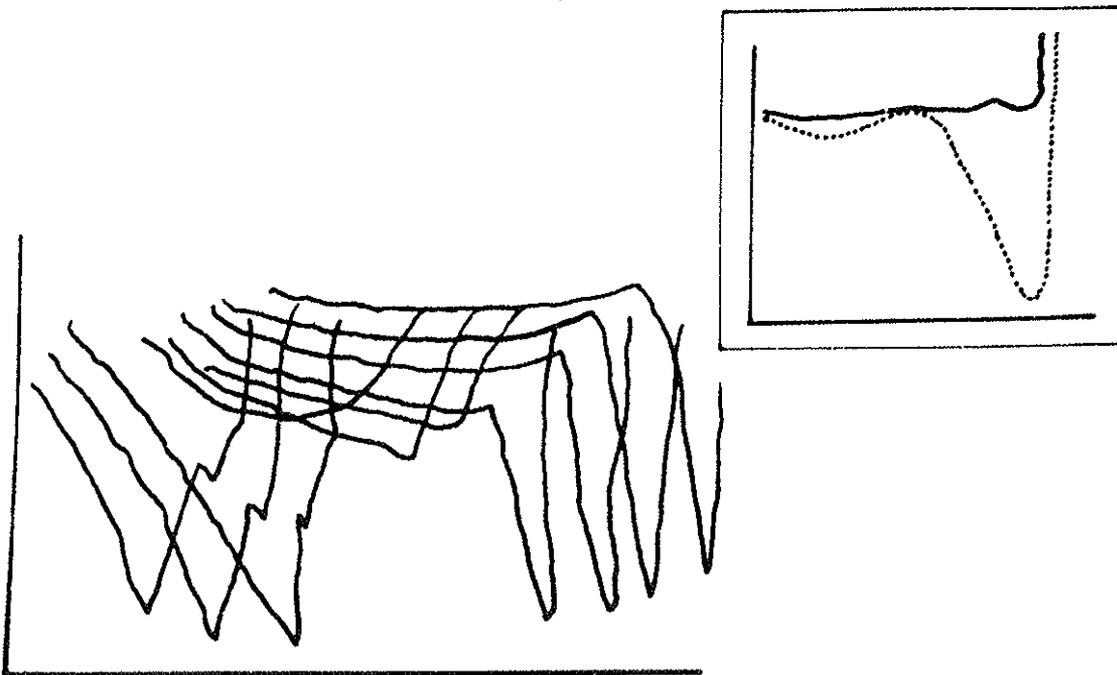
Las neonatales se producen por problemas ligados al parto, generalmente situaciones de anoxia y problemas de kernicterus.

Las sorderas postnatales tiene múltiples etiologías; así podemos estudiar, las infecciosas por laberintitis, tóxicas por aminoglusidos u otras fármacos, traumáticas (fracturas de la base del cráneo) por sobre-estímulo (sorderas por ruido, sordera profesional) que son precisamente de las que trata esta monografía, y la presbiacusia o sordera del envejecimiento. Estas son las causas más frecuentes, dentro de las primeras, de las laberintitis, tenemos las timpanógenas (complicación de otitis) y las meningógenas (complicación de meningitis). Estas, así como las tóxicas y traumáticas suelen cursar también con vértigo.

Cualquiera de estas causas si aparece antes de que se desarrolle el lenguaje y la sordera es bilateral y profunda, conducen a la sordomudez. Las causas más frecuentes de sordomudez son las sorderas congénitas y las de la laberintitis meningógenas.

En toda sordera coclear si hicieramos una representación de sus tuning curves veríamos un perfil como el de la figura 1. en que se ve la deformidad de las unidades afectas que explican no sólo la hipoacusia sino la hiperacusia, y la mala inteligibilidad, es decir el recruitment.

Fig. 1



Conjunto de tuning curves en una hipoacusia coclear. Vemos en la parte central un grupo de unidades que han perdido su pico, tal como se ve en el recuadro.

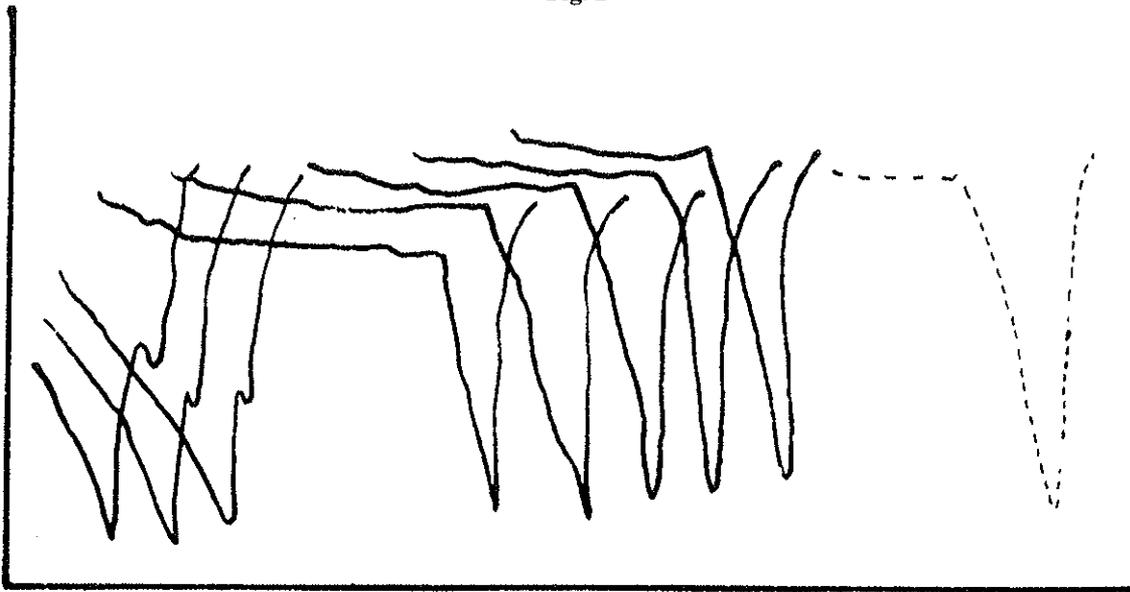
**2. Sorderas Retrococleares**

Son aquellas sorderas producidas por lesión del nervio auditivo, vías o centros, aunque sólo las del nervio

tienen una personalidad definida. Tienen las características ya señaladas de las sorderas de percepción pero a diferencia de las anteriores falta el recruitment. En estas sorderas no hay deformidad de sus tuning curves, sino simplemente falta unidades como podemos ver en la figura 2. La inteligibilidad es mejor que la de las sorderas cocleares, aunque no tan buena como en las sorderas de transmisión puras.

Las sorderas neuríticas como las cocleares suelen ser fundamentalmente de tonos agudos; la explicación de ello la vemos observando un colectivo de tuning curves como el mostrado en la figura 16 del capítulo anterior o en las figuras 1 y 2 de este. Vemos como las colas de las unidades se extienden siempre hacia los graves, por lo que estos sonidos serán captados por la cola de alguna unidad, pero no ocurrirá en los agudos. En este grupo de sorderas además de las típicas caídas de agudos se dan también algunos perfiles especiales, como por ejemplo las llamadas curvas en cuerda floja, en que los tonos centrales caen o el cuadro inverso: curvas en meseta. Estos perfiles particulares se deben a la disposición de las fibras dentro del nervio y al carácter topo-lesional de la noxa.

Fig. 2



Conjunto de tuning curves en una hipoacusia coclear. En este caso faltan unidades como se ve en el centro de imagen y en el o en el extremo derecho, mostrándose pues dos hipotéticos casos de fesi3n neurítica.

Entre las causas de sorderas neuríticas tenemos principalmente las tumorales producidas por los tumores del ángulo pontocerebeloso, generalmente neurinomas del acústico. Entonces la sordera es unilateral, progresiva y asociada a vértigo y otras manifestaciones.

Entre otras causas debemos señalar las neuritis de carácter vírico, bacteriano (meningitis) o t3xico.

Las sorderas por lesi3n de las vías o de la corteza son muy poco aparentes por la bilateralidad de vías y centros. En las lesiones corticales se dan más las afasias, y en las vías no se detectan sorderas, pero sí los potenciales evocados auditivos ponen de manifiesto alteraciones, especialmente en procesos desmielinizantes o tumores.

### c. Sorderas Mixtas

En ellas se afecta tanto la transmisi3n como la percepci3n. El cuadro auditivo es el de un descenso de vía aérea y ósea, pero manteniéndose la ósea por encima de la aérea (ver capítulo de la exploraci3n audiométrica).

Las sorderas mixtas suelen ser sorderas de transmisi3n antiguas en las que se suma un componente neurosensorial. Ya hemos dicho que en la sordera de transmisi3n esto es la regla y suele ser una cuesti3n de tiempo. Este fenómeno limita las posibilidades quirúrgicas de las sorderas de transmisi3n como ya hemos dicho. El mecanismo por el que se produce este componente perceptivo, no se conoce bien: quizás por falta de estímulo, o porque a veces la misma noxa afecta a ambos sectores. Este puede ser el caso de la otosclerosis, en que el componente perceptivo aparece casi siempre, y el callo otoscleroso puede afectar en efecto de un modo directo

a la cóclea. Suele faltar el Recruitment en los componentes perceptivos de las sorderas de transmisión por lo que se cree que tal componente puede ser neurítico.

El caso inverso, es decir sordera de percepción, que se haga también de transmisión no se da, pero hay una circunstancia particular que es el hidrops laberíntico, enfermedad genuina del oído interno, pero que puede debutar con una sordera aparentemente de transmisión para hacerse enseguida de percepción. La razón de este componente aparentemente de transmisión hay que buscarlo en la alteración de los líquidos que dificultan la transmisión dentro del caracol. Aún en hidrops laberínticos antiguos es frecuente que haya un pequeño componente de transmisión en las frecuencias graves.

### **PROTESIS AUDITIVA E IMPLANTE COCLEAR**

Las hipoacusias neurosensoriales cocleares o retrococleares, no tienen tratamiento eficaz por lo que hay que recurrir a la compensación protésica. Si no son de gran magnitud pueden beneficiarse de la prótesis auditiva convencional, que no es más que un miniamplificador. Sin embargo debemos decir que en las sorderas cocleares las prótesis auditivas son poco eficaces por los fenómenos de hipercusia y distorsión que las acompañan y de los que ya hemos hablado; tendrán que ser prótesis con compresión de volumen para que no den grandes amplificaciones que entren en el umbral del dolor. Las curvas con caídas muy abruptas de agudos, sea cual sea su naturaleza y topografía son también malas y en general cuando la inteligibilidad al lenguaje no sea bueno, especialmente si hay regresión fonémica. Estos extremos se precisan por medio de la audiometría vocal (ver capítulo de exploración audiométrica) y por la llamada audiometría protésica, que es la que lleva a cabo específicamente para la adaptación de la prótesis y comprende pruebas con la propia prótesis.

La sordera ideal para ser compensada con prótesis es aquella en que la curva sea horizontal y se alcance una buena discriminación del lenguaje. Este requisito lo cumplen especialmente las sorderas de transmisión, pero estas suelen tener solución quirúrgica. En las sorderas retrococleares y sobre todo en las cocleares los resultados no son tan buenos por todo lo dicho antes, pero si las pruebas mencionadas no son del todo malas, no hay inconveniente en adaptarlas. Generalmente el rendimiento de las prótesis en las sorderas de percepción es limitado pero positivo, y queremos decir con esto, que es probable que no sean útiles para medios muy ruidosos: la calle, locales públicos, pero sean suficientes para una conversación pausada y en ambiente silencioso. Los peores casos para las prótesis auditivas son las presbiacusias.

En relación con las prótesis auditivas debemos decir que están altamente desacreditadas por el abuso que de ellas se hace en manos de muchos comerciantes desaprensivos. La prótesis auditiva tiene unas indicaciones y estos desaprensivos no las respetan en beneficio fraudulento. El paciente tributario de prótesis es muy impresionable y fácilmente se convence cuando se le dice que los ruidos informes y molestos que oye por la prótesis pronto desaparecerán cuando se acostumbre a ella. Tal acostumbramiento no se produce nunca y después de un importante desembolso económico la prótesis acaba en un cajón de la cómoda.

En las sorderas profundas y cófosis, la mayoría de las veces la lesión está en la cóclea. Si el nervio se conserva total o parcialmente indemne, es factible usar el implante coclear con resultados sorprendentemente buenos. El implante coclear es un dispositivo que sustituye a la cóclea, es decir que convierte el sonido en energía eléctrica y lo proyecta en el nervio. Lleva una parte implantada y otra externa. La parte implantada termina en uno o varios electrodos que se sitúan en la vecindad (implante extracoclear) o dentro de la cóclea (implante intracoclear). El sonido alcanza un micrófono que se sitúa detrás del pabellón de la oreja, como una prótesis convencional. Desde ese micrófono la onda captada es conducida a un procesador que está en un pequeño dispositivo de petaca en un bolsillo; el procesador está unido con el micrófono por cable, y su misión es convertir el sonido en corriente eléctrica. Esta es proyectada desde el procesador hasta la parte interna, bien por cable, o por inducción electromagnética llegando a los electrodos que estimulan el nervio acústico.

En la actualidad es una solución muy brillante para las sorderas profundas y está en camino de perfeccionarse día a día. Por ejemplo, hay ya modelos en que procesador y micrófono están juntos detrás de la oreja como una prótesis auditiva convencional. Las sordera profunda es la única de las grandes invalideces a las que la Medicina ha encontrado solución, y sin embargo, por problemas de coste e infraestructura no se han podido difundir aún. Tales problemas no son ni mucho menos de gran magnitud y esperamos que la Sanidad Pública se decida pronto a incluirlos entre sus prestaciones.

## **BIBLIOGRAFIA**

ABELLO, P y TRASERRA, J. *Otorrinolaringología*. Ed. Doyma, 1992.

BEKER, W, NAUMANN H., PFALTZ C.R. *Otorrinolaringología*. Ed. Doyma., 1986.

LUTMAN, M Y HAGGARD, M.P. *Hearing Science and Hearing Disorders*. Ed. Acad Press. 1983.

NOMURA, y. *Hearing loss and dizzines*. Ed. Igaku-Shoin, 1983.

NORTHERN, J.L. *Transtornos de la Audición*. Ed Salvat, 1979.



**CAPITULO 4**  
**EXPLORACION CLINICA DEL OIDO.**  
**ACUMETRIA**

*D. Rafael Ruiz Rico*



## **EXPLORACION CLINICA DEL OIDO. ACUMETRIA**

Antes de exponer los elementos más importantes de la exploración clínica del oído, es imprescindible describir las técnicas de iluminación que disponemos para una correcta inspección de los oídos externo y medio.

### **1. TECNICAS DE ILUMINACION**

Conseguir una perfecta iluminación de las cavidades (pequeñas y anfractuosas) del área O.R.L. constituye una premisa fundamental para conseguir una adecuada exploración clínica de oído. Para conseguir este objetivo disponemos de varios sistemas de iluminación.

#### **1) DISPOSITIVOS DE LUZ REFLEJA**

El dispositivo más empleado por el otorrinolaringólogo es la iluminación indirecta con el espejo frontal (figura 1). Este espejo es cóncavo, con un radio de curvatura de 36 a 40 cms, una distancia focal de 20-25 cms, y de 10-12 cms de diámetro. El espejo posee un orificio en el centro. El espejo frontal lo sujetamos a nuestra cabeza por una cinta o una banda. Su utilización no es fácil y requiere cierto adiestramiento para conseguir una correcta iluminación de la zona explorada, lo que se consigue gracias a que la concavidad del espejo consigue concentrar la luz proveniente de una fuente luminosa colocada frente del explorador y a la derecha del paciente, a la altura de su frente. La visión binocular, al estar colocado el espejo delante del ojo izquierdo, la conseguiremos mirando por este ojo a través del orificio central mientras que con el derecho miraremos por fuera del espejo.

Otro dispositivo de luz refleja es el espejo de Clar, que se diferencia básicamente del espejo frontal en presentar una mayor concavidad y presentar dos orificios, uno para cada ojo, por lo que se coloca en el centro de la frente (y no delante del ojo izquierdo). Otra diferencia fundamental es que la fuente de luz está incorporada al espejo, consistente en una bombilla que se encuentra sujeta al borde superior del dispositivo mediante un vástago; permitiendo por tanto una mayor movilidad del explorador.

#### **2) DISPOSITIVOS DE LUZ DIRECTA**

De todos estos dispositivos de luz directa, el más empleado es el fotóforo, que consiste en una simple lámpara que colocamos entre nuestros ojos, y que emite una luz intensa. La principal ventaja en relación con los dispositivos de luz refleja, consiste en que el explorador tiene una mayor libertad de movimientos, constituyendo un elemento fundamental para la cirugía.

#### **3) DISPOSITIVOS DE AMPLIFICACION**

El otoscopio con sistema propio de iluminación o auriscopio (figura 2), es el dispositivo más difundido entre el no especialista en O.R.L. por su sencillez de utilización. Dispone de una fuente propia de iluminación muy intensa y un sistema de amplificación por lupa. Son susceptibles de adicionarles diversos accesorios como el espéculo neumático de SIEGLE, utilizado para estudiar la movilidad timpánica.

El otomicroscopio (figura 3) constituye un elemento fundamental para el especialista en otorrinolaringología, tanto como método de exploración como para la cirugía otológica. Nos proporciona imágenes muy precisas y a gran aumento. Junto a una perfecta visión binocular. Constituye el dispositivo de diagnóstico otológico de mayor precisión.

Ultimamente con las nuevas técnicas endoscópicas contamos con el otoendoscopio gracias al cual podemos acceder visualmente a zonas antes inaccesibles.

## **2- EXPLORACION CLINICA**

### **2.1. PABELLON AURICULAR**

En lo concerniente a la INSPECCION del pabellón auditivo debemos prestar especial atención a su tamaño, forma y posición en relación con la cabeza; simetría de ambos pabellones y la existencia de atresias u otras malformaciones congénitas o adquiridas. Igualmente debemos fijarnos en las características de la piel y resto de estructuras constituyentes del pabellón. Deben observarse igualmente las regiones pre y retroauriculares descartando la existencia de tumoraciones, quistes, fístulas, colecciones purulentas, etc.

La PALPACION del pabellón auricular será enormemente importante para diferenciar patología de oído medio de la del externo. Así, el dolor suscitado al presionar sobre el trago y al traccionar hacia atrás el pabellón auricular, nos hará sospechar patología del oído externo (otitis externa). La existencia de dolorimiento al presionar sobre la mastoides nos orientará hacia patología inflamatoria del oído medio. Igualmente palparemos las regiones periauriculares.

### **2.2 CONDUCTO AUDITIVO EXTERNO**

Para la exploración correcta del conducto auditivo externo (C.A.E.) y la membrana timpánica necesitamos la realización de una maniobra exploratoria especial que recibe el nombre de OTOSCOPIA. Para su realización utilizamos unos espéculos específicos llamados otoscopios, a través de los cuáles y con una iluminación correcta, conseguimos explorar el C.A.E. y la membrana timpánica (y la caja timpánica si existe un defecto en esta).

Para una correcta realización de la otoscopia debemos de tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

\*El otoscopio se introduce solamente en la porción más externa y móvil (porción cartilaginosa) del conducto auditivo externo, ya que es la única que se puede enderezar para conseguir la correcta visión de la membrana timpánica. La introducción del otoscopio en la porción más interna del C.A.E. (porción ósea) suscitará intenso dolor.

\*Debido a las características anatómicas del conducto auditivo externo, debemos enderezarlo para conseguir una visualización de las porciones más profundas y de la membrana timpánica. Para rectificar el C.A.E. en el adulto se traccionará del pabellón auricular hacia atrás y hacia arriba; mientras que en el lactante y el niño pequeño se traccionará hacia atrás y abajo. Con la mano que sostiene el espéculo se tracciona también del pabellón (figura 4), de manera que tengamos la otra mano libre para realizar diversas actuaciones (limpieza del CAE, etc).

\*La cabeza del paciente no debe estar totalmente verticalizada, sino que debe permanecer inclinada hacia el hombro contralateral para compensar la inclinación normal del CAE.

\* En ocasiones para poder llevar a cabo una correcta exploración del CAE y de la membrana timpánica, necesitamos proceder a la limpieza de distintos materiales existentes en el conducto como cerumen, descamación de la piel, material purulento o mucopurulento, placas de micosis, etc; para lo cual utilizaremos distintos procedimientos: lavado del conducto con agua a presión, utilización de ganchitos, portaalgodones, aspiradores, etc.

Seguidas estas recomendaciones estamos en perfectas condiciones de explorar correctamente el CAE, debiéndonos fijar especialmente:

–Lesiones inflamatorias en las paredes del conducto con tumefacción, enrojecimiento (otitis externa...)

–Atresias del conducto congénitas o adquiridas.

–Dermatosis: acné, eczema, micosis.

–Estenosis del CAE por exostosis, formaciones polipoideas originadas en la caja o en las paredes del conducto, tumores benignos o malignos, abombamiento de la pared posterior del conducto en las mastoiditis agudas, cuerpos extraños, etc.

–Secreciones en el CAE: estas secreciones pueden tener su origen en el propio conducto, en la caja timpánica, en el oído interno e incluso en el endocraneo. Debemos fijarnos en el tipo de secreción (purulenta, mucopurulenta, sanguinolenta, mucosa o serosa), su olor, la cantidad de esta, su color y los elementos que contienen.

### **2.3. MEMBRANA TIMPANICA**

Para la identificación de la membrana timpánica se recomienda seguir la dirección de la pared inferior del

conducto auditivo externo, ya que es a este nivel donde la diferenciación entre porción ósea del CAE y la membrana timpánica es más evidente. Los puntos claves a seguir para el adecuado estudio del tímpano son:

\*Una vez identificado el tímpano se debe observar todo su perímetro, objetivo que a veces resulta difícil sobre todo en las regiones más anteriores, debido a la protusión de la pared anterior del CAE, por lo que será necesario mover la cabeza del paciente para conseguir ver esta región.

\*Se deben identificar una serie de estructuras que son visibles en todo tímpano normal (figura 5):

–El mango del martillo que determina un relieve en la zona media del tímpano siguiendo una dirección hacia abajo y atrás.

–La apófisis corta del martillo que produce una protusión en la parte superior del relieve del mango.

–Relieve de los ligamentos tímpanomaleolares anterior y posterior, que desde la apófisis corta se dirigen hacia el anillo timpánico. Esta disposición de los ligamentos divide a la membrana timpánica en dos porciones: una superior a estos ligamentos o pars flácida, y otra inferior a los mismos y mayor a la anterior conocida con el nombre de pars tensa. Clásicamente la pars tensa se divide de forma arbitraria por una línea que sigue la dirección del relieve del mango del martillo hasta la porción inferior del anillo timpánico, y por otra perpendicular a la anterior cruzándola a nivel del extremo inferior del mango; en cuatro cuadrantes: anterosuperior, anteroinferior, posterosuperior y posteroinferior.

–Desde el ombligo timpánico (región más distal del mango del martillo) que corresponde a la región más deprimida de la membrana timpánica, toma vértice un cono luminoso, llamado triángulo luminoso, que se dirige en condiciones normales hacia el cuadrante anteroinferior, y que no es más que el reflejo de la luz utilizada para la otoscopia.

–La coloración es gris claro con escasa transparencia, y de estructura lisa salvo los relieves anteriormente descritos.

En cuanto las desviaciones del estado normal que nos podemos encontrar son:

\*Alteraciones de la coloración timpánica: Nos podemos encontrar un tímpano enrojecido (otitis media aguda), amarillento grisáceo (obstrucción tubárica), blanco mate (esclerosis timpánica), blanco rosado casi transparente (sorderas progresivas, etc), azul (hemotímpano, traumatismos craneales, etc).

\*Alteraciones de la situación: nos podemos encontrar dos situaciones opuestas. El tímpano ABOMBADO como consecuencia de la existencia de material purulento o de otro tipo ocupando la caja timpánica, o cualquier otra etiología; se pondrá de manifiesto por un alargamiento aparente del mango del martillo, disminución de la prominencia de la apófisis corta y la desaparición del cono luminoso. La situación opuesta es el tímpano DEPRIMIDO, que se produce como consecuencia de una obstrucción tubárica o por la adherencia de la membrana timpánica a la pared interna de la caja timpánica; se pone de manifiesto por acortamiento aparente del mango del martillo. Prominencia exagerada de la apófisis corta del martillo y desaparición del cono luminoso.

\*Alteraciones de la movilidad: la movilidad de la membrana timpánica se estudia mediante el espéculo de Siegle, con el cual podemos insuflar o succionar aire y observar la reacción de la membrana timpánica. La movilidad del tímpano está aumentada en el caso de tímpanos atróficos, mientras que esta disminuida en el caso de existencia de adherencias o anquilosis de la cadena oscilar.

\*Alteraciones de la superficie: Nos podemos encontrar depósitos calcáreos, lesiones bullosas, cicatrices o perforaciones. En lo que se refiere a las perforaciones deberemos fijarnos si son únicas o múltiples, su forma y dimensión, su situación (centrales o periféricas). Se dice que una perforación es central cuando afecta a la pars tensa y siempre existe un margen timpánico entre la perforación y el anillo timpánico. La perforación es marginal cuando afecta a la pars flácida o cuando afectando a la pars tensa, no existe margen de tímpano entre la perforación y el anillo timpánico.

## 2.4. EXPLORACION FUNCIONAL DE LA TROMPA DE EUSTAQUIO

La exploración de la permeabilidad de la trompa de Eustaquio es fundamental dentro de la exploración clínica del oído. Existen métodos cualitativos y cuantitativos. En este apartado solo estudiaremos los cualitativos, ya que los cuantitativos (timpanometría) serán vistos en otro capítulo. Los métodos cualitativos más importantes para la exploración de la permeabilidad tubárica son:

–PRUEBA DE VALSALVA: no necesita ningún tipo de instrumentación especial, ya que su realización es muy fácil, y consiste en invitar al paciente a que tras realizar una inspiración forzada, proceda a expulsar el aire por vía nasal, pero manteniendo la boca cerrada y la nariz tapada con los dedos, de forma que el aire de la espiración tenderá a irse por vía tubárica hacia el oído medio. Cuando la trompa es permeable el paciente percibirá un chasquido en su oído, chasquido que puede ser también objetivado por el observador mediante otoscopia. Otoscópicamente en el momento de realizar la maniobra, y si la trompa es permeable, se producirá un abombamiento del tímpano. En el 50% de los pacientes con trompa permeable esta maniobra es negativa,

de manera que cuando esta prueba fracasa, no debe deducirse necesariamente a una impermeabilidad tubárica, sino que debe comprobarse esta sospecha, realizando otras pruebas diagnósticas.

–PRUEBA DE POLITZER: se realiza mediante una pera de goma que termina en una oliva que se adapta a uno de los orificios nasales. Su ejecución es muy fácil y consiste en adaptar la oliva a una de las ventanas nasales, mientras que el explorador cierra la otra con sus dedos. El paciente permanecerá con la boca cerrada. A continuación se invita al paciente a que produzca una elevación activa del velo del paladar, pronunciando algún fonema como "cuarenta y cuatro". De esta manera se consigue aislar la nasofaringe de la orofaringe, de forma que realizando en este momento una insuflación de aire a presión mediante la pera de Politzer, conseguiremos que si la trompa es permeable se produzca el paso de aire hacia el oído medio, produciendo un chasquido que puede otauscultarse y un abombamiento de la membrana timpánica.

–CATETERISMO TUBARICO: consiste en introducir una sonda especial (sonda de Itard), en el ostium de la trompa. El cateter se introduce haciéndolo resbalar por el suelo de la fosa nasal, hasta que toque la pared posterior de la nasofaringe. Es en este momento cuando se realiza un giro de 90° y se retira lentamente la sonda hasta que penetre en el ostium tubárico. De esta manera podemos realizar insuflaciones directas y comprobar la permeabilidad tubárica.

### 3- EXPLORACION RADIOLOGICA DEL OIDO

Para realizar el estudio radiológico de los peñascos, y de las estructuras existentes en su interior, necesitamos recurrir a proyecciones radiológicas especiales que intenten evitar la superposición de dichas estructuras. Han sido descritas multitud de proyecciones radiológicas convencionales para el estudio de los distintos elementos del oído, aunque realmente solo unas pocas tienen actualmente utilidad. Las más importantes son:

–INCIDENCIA DE SCHÜLLER: También llamada proyección trastemporal o lateral de mastoides. Para su realización se coloca el oído a explorar sobre la placa y el rayo principal indice 30° inclinado hacia arriba (figura 6). Su principal utilidad es valorar el grado y la extensión de la neumatización mastoidea. Otras estructuras que se pueden observar en esta incidencia son el antro mastoideo, el seno lateral, el suelo de la fosa media, el ángulo sinodural (Citelli), el CAE y la articulación temporomandibular (figuras 6 y 7).

–PROYECCION TRANSORBITARIA DE PEÑASCOS: Conocida también como proyección de Schüller II. Su principal utilidad es estudiar ambos conductos auditivos internos (CAI) y por tanto diagnóstico de cualquier proceso expansivo a este nivel. Igualmente permite visualizar ambas cócleas y los conductos semi-circulares superior y externo (figura 8).

–PROYECCION DE STENVERS: Para su realización la cabeza del paciente se coloca de manera tal que el ángulo externo de la órbita del lado explorado forme un ángulo de 45° con la placa radiográfica. El rayo central se desplaza 10° en sentido occipital (figura 9, b y c). Sirve para valorar el conducto auditivo interno, la punta del peñasco y el laberinto (figura 9, a).

–PROYECCION DE CHAUSSE III: Es una proyección muy completa ya que permite visualizar conjuntamente los oídos externo, medio e interno; aunque su realización es muy complicada.

Actualmente estas proyecciones han perdido importancia en favor de la tomografía axial computorizada (TAC) y la resonancia magnética nuclear (RMN). Sobre todo mediante la TAC, tanto en cortes coronales como axiales, así como las reconstrucciones, se consigue una visualización perfecta de todos los elementos del oído.

### 4- ACUMETRIA. ESTUDIO DE LA AUDICION CON DIAPASONES.

La acumetría consiste en la exploración de la audición mediante el uso de diapasones. Los diapasones (figura 10) son unos aparatos de acero u otras aleaciones que al ponerse en vibración producen tonos puros. Investigan el área tonal inferior y media. Clásicamente el "set de Hartman" consta de 5 diapasones que van desde 128 a 2048 Hz de frecuencia.

Actualmente es un técnica prácticamente en desuso y su principal utilidad es la de averiguar de una manera sencilla y rápida, si ante un paciente que presenta una hipoacusia, ésta es de oído medio (conducción o transmisión) o de oído interno o de vías auditivas (neurosensorial). Otra utilidad es el control de posibles errores que pudieran aparecer en la audiometría tonal.

Las pruebas de mayor utilidad son:

–PRUEBA DE WEBER: Consiste en la comparación de la audición ósea de ambos oídos. Generalmente se usan los diapasones de baja frecuencia (128 Hz) y por tanto de mayor tiempo de vibración. Se le coloca al paciente el diapasón vibrando sobre el vertex o la frente, y se le invita a que indique el oído por el que oye el sonido más fuerte.

En el caso de que el paciente tenga una audición normal en ambos oídos o una hipoacusia simétrica (figura

11), oirá el sonido igual de fuerte en ambos oídos; se dice que la prueba de Weber es centrada o indiferente. Cuando nos encontramos que un oído oye mejor que otro, el paciente habitualmente localiza el sonido en un oído en particular. Si se trata de una hipoacusia de percepción (figura 12) el paciente oirá mejor por el oído sano o de mejor audición; se dice entonces que el Weber está lateralizado hacia el oído menos hipoacúsico. Cuando la hipoacusia es de transmisión (figura 13) el Weber estará lateralizado hacia el oído enfermo o de peor audición.

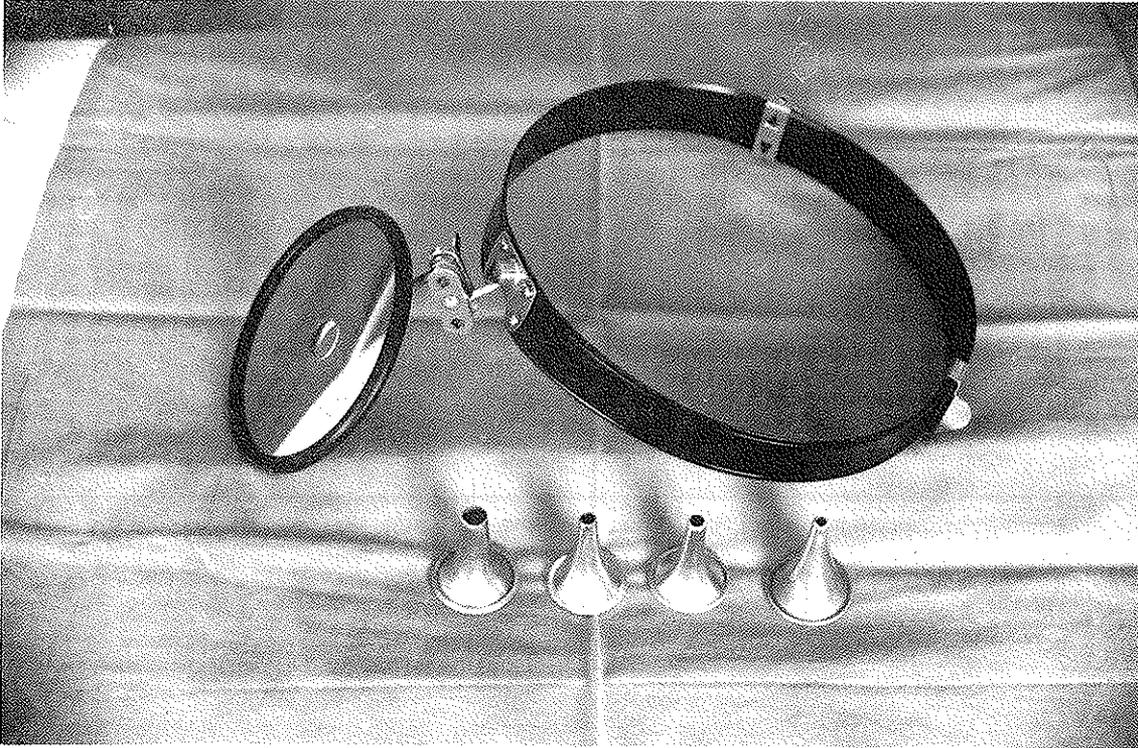
–PRUEBA DE RINNE: El propósito de esta prueba es establecer la diferencia del tiempo de audición en un mismo oído entre la vía ósea y la aérea. Al igual que la prueba de Weber se suele realizar con diapasones de baja frecuencia. La Prueba se realiza colocando el diapasón en vibración apoyado por su mango, en la mastoide del oído explorado (vía ósea). Le indicamos al paciente que realice un gesto cuando deje de percibir la vibración, y en ese momento el diapasón se traslada unos 2 cm lateralmente a la entrada del CAE (vía aérea). Si el paciente continúa oyendo el sonido por vía aérea después de dejar de percibirlo por vía ósea se dice que el Rinne es positivo (mejor audición por vía aérea que por ósea). Cuando el tiempo de audición por vía aérea es menor que por vía ósea se dice que el Rinne es negativo.

En una persona de audición normal (figura 14), el Rinne es positivo, siendo por tanto mejor la audición por vía aérea que por la ósea. En una hipoacusia de transmisión (mayor de 15 dB), al estar afectada la transmisión del sonido por vía aérea, mientras que la vía ósea se mantiene o incluso se potencia, el Rinne será negativo (figura 15). En el caso de una hipoacusia de percepción (figura 16) disminuye la audición tanto por vía aérea como por ósea, aunque el paciente sigue conservando mejor audición aérea que ósea, es decir, estará disminuido el tiempo de percepción por ambas vías aunque se conserva la misma relación que en un oído normal (vía aérea mejor que vía ósea). Se dice, por tanto, que este tipo de hipoacusias el Rinne es positivo, patológico.

El Rinne falso negativo se presenta en un paciente con hipoacusia neurosensorial unilateral muy severa o completa; en este caso, cuando se explora la vía aérea no existirá audición, pero cuando se coloca el diapasón en la mastoide para explorar la vía ósea, se producirá una transmisión tras craneana del sonido llegando a impresionar la cóclea contralateral, por vía ósea; debido a que el paciente no es capaz de localizar el sonido dirá que oye bien por vía ósea, con lo que el Rinne será negativo.

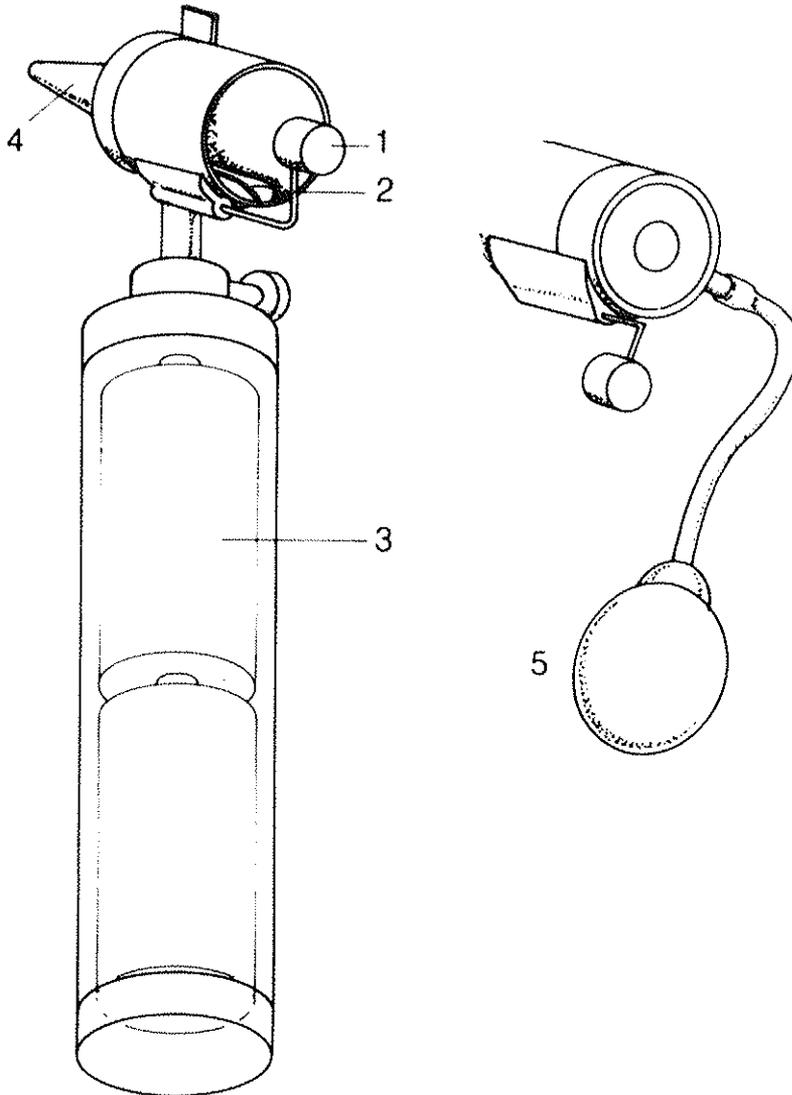
–PRUEBA DE GELLE: Se usa para valorar el estado del oído medio, y específicamente para evidenciar aquellas situaciones en las que la platina del estribo está anquilosada a la ventana oval (otoesclerosis, procesos adhesivos,...). La realización es muy sencilla, se coloca el diapasón vibrando en la mastoide, y tras transcurrir unos segundos realizamos una hiperpresión en el interior del CAE, mediante la pera de Politzer. Le preguntaremos al paciente si al realizar la hiperpresión se ha modificado la percepción del sonido. En una persona normal, al producir un aumento de la presión en el CAE, la cadena de huesecillos se pondrá en tensión y la platina se introducirá dentro de la ventana oval, produciendo una disminución en la percepción del sonido enviado por vía ósea; se dice que el Gellé es positivo. En las hipoacusias de percepción el Gellé también es positivo. En el caso de que la cadena de huesecillos se encuentre totalmente anquilosada o el estribo esté fijo al marco de la ventana oval, aunque realicemos una hiperpresión en el conducto auditivo externo no se modificará la vía ósea; se dice que el Gellé es negativo.

Figura 1



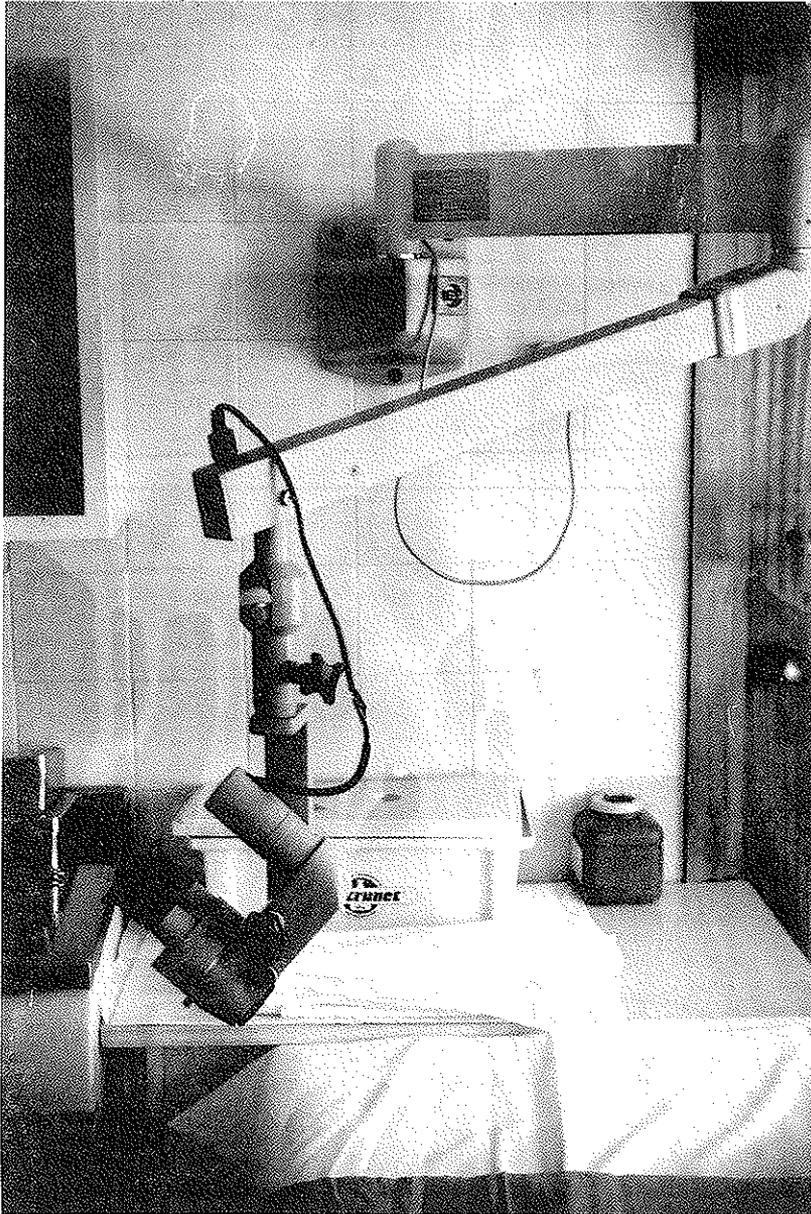
Espejo frontal y conjunto de otoscopios.

Figura 2



Otoscopio con sistema propio de iluminación o auriscopio. 1: lente de aumento; 2: bombilla; 3: baterías; 4: otoscopios intercambiables; 5: espejulo neumático de Siegle.

Figura 3



Otomicroscopio.

**Figura 4**



**Maniobra de la otoscopia. Con la misma mano que sostenemos el otoscopio, traccionamos del pabellón auricular hacia atrás.**

Figura 5

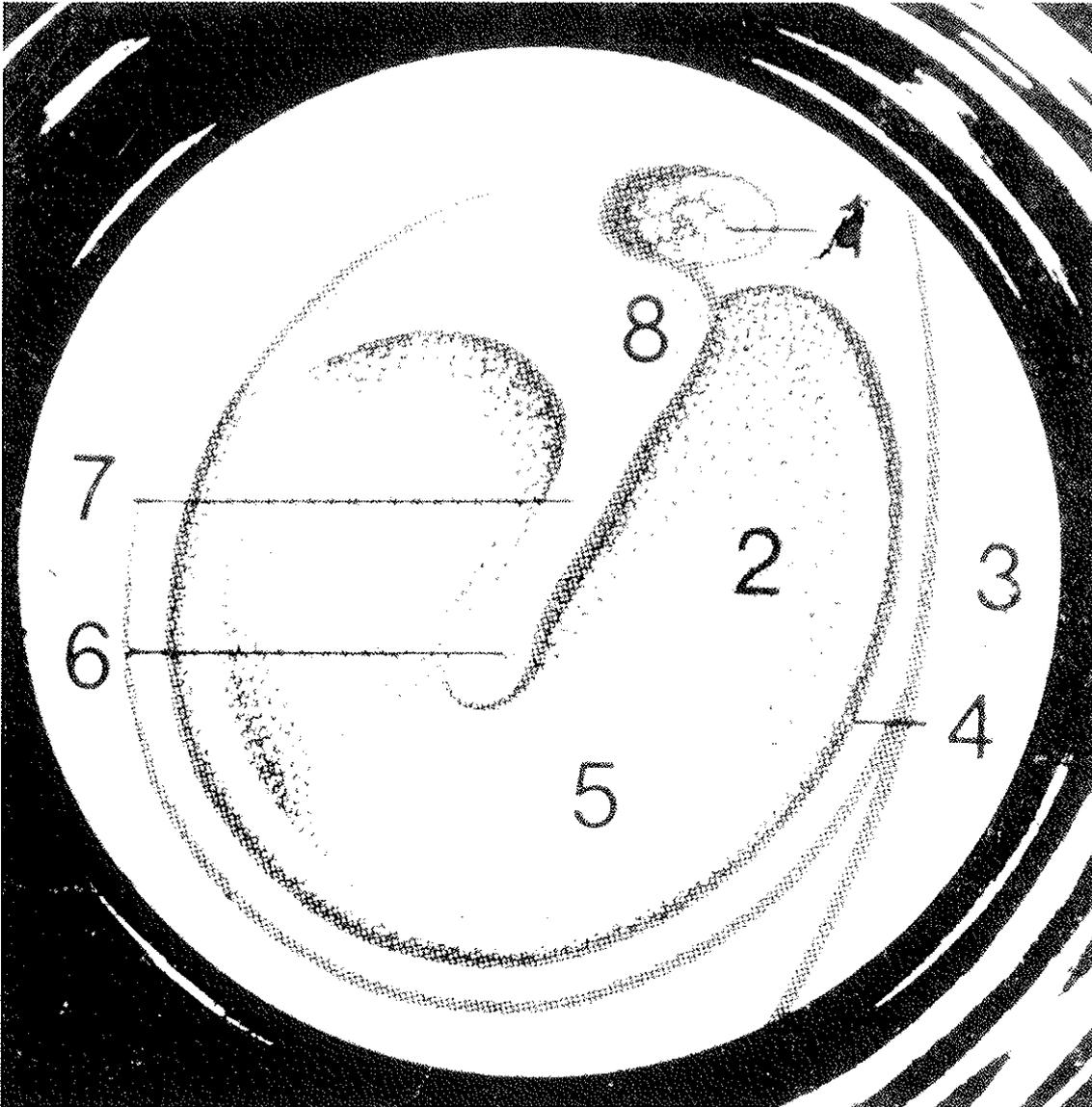
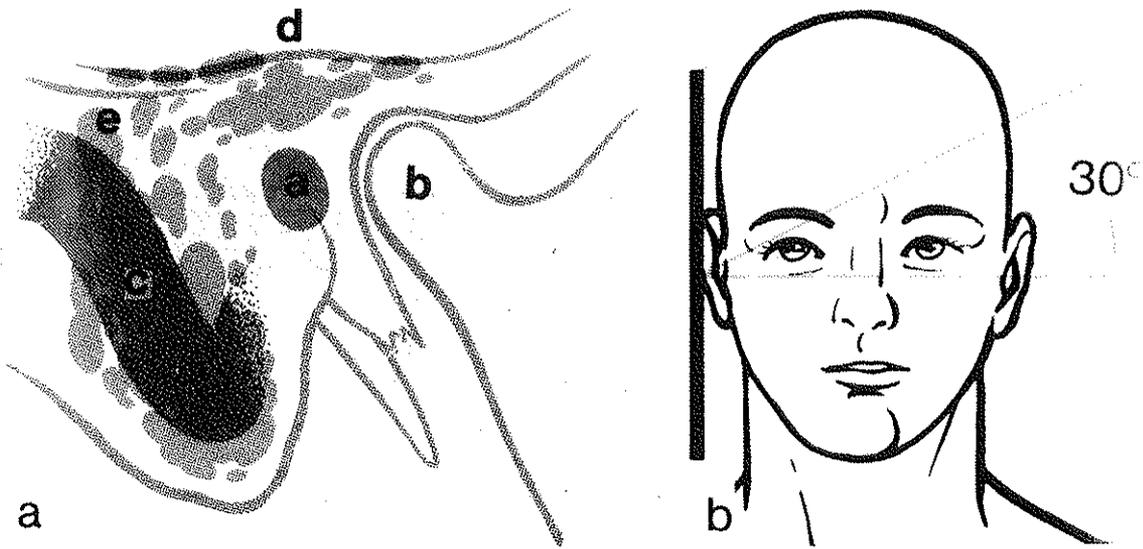


Imagen timpánica normal. 1: pars flácida; 2: pars tensa; 3: pared anterior del CAE; 4: anulus fibrosus; 5: cono luminoso; 6: umbo; 7: mango del martillo; 8: apófisis corta del martillo.

Figura 6



Proyección de Schüller. En la figura de la izquierda se aprecian las distintas estructuras que se visualizan: CAE y caja del tímpano (a), cóndilo de la mandíbula (b), seno lateral (c), suelo de la fosa cerebral media (d) y ángulo de Citelli (e) A la derecha la técnica radiológica para su realización.

Figura 7



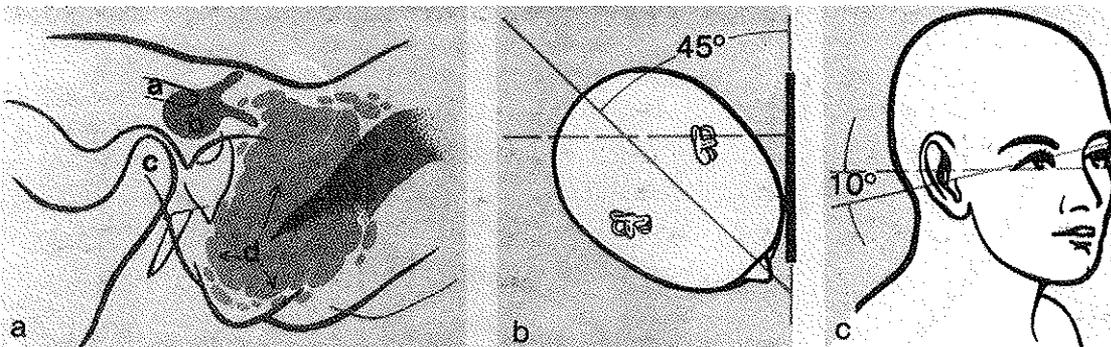
Proyección de Schüller. AC: ángulo de Citelli.

Figura 8



Proyección transorbitaria de peñascos. C:CAI; S: conductos semicirculares.

Figura 9

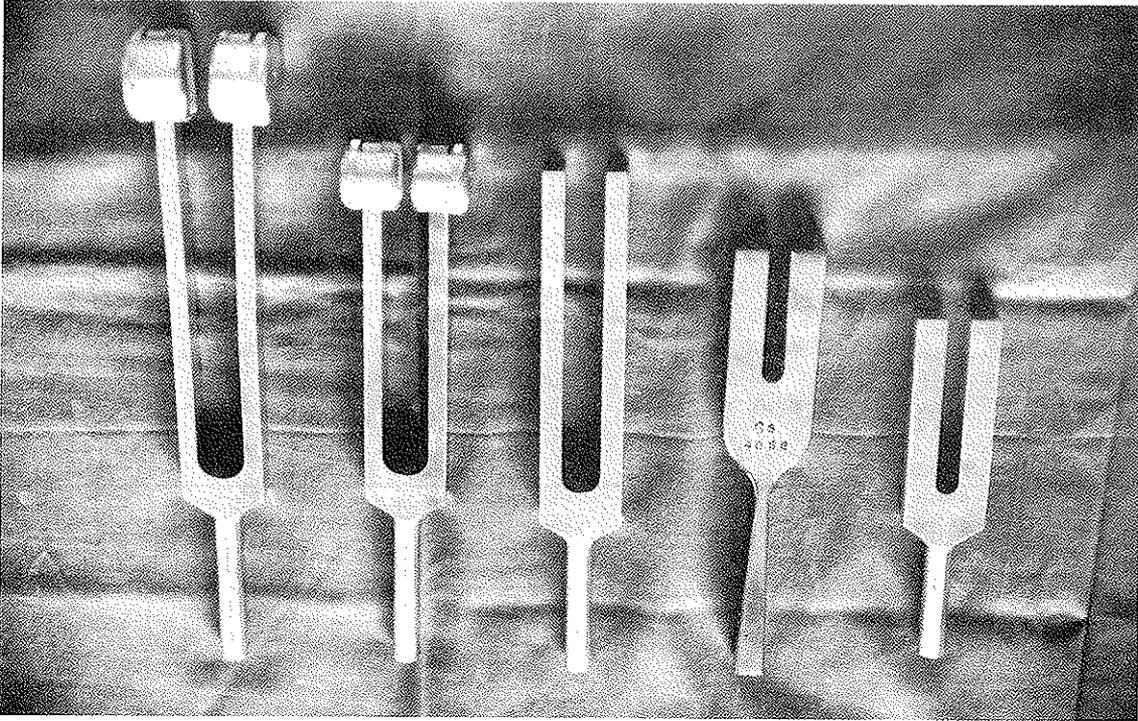


Proyección radiográfica de Stenvers.

a-a: CAI; b: laberinto y conductos semicirculares; c: cóndilo; d: sistema neumático de la mastoides; e: seno lateral.

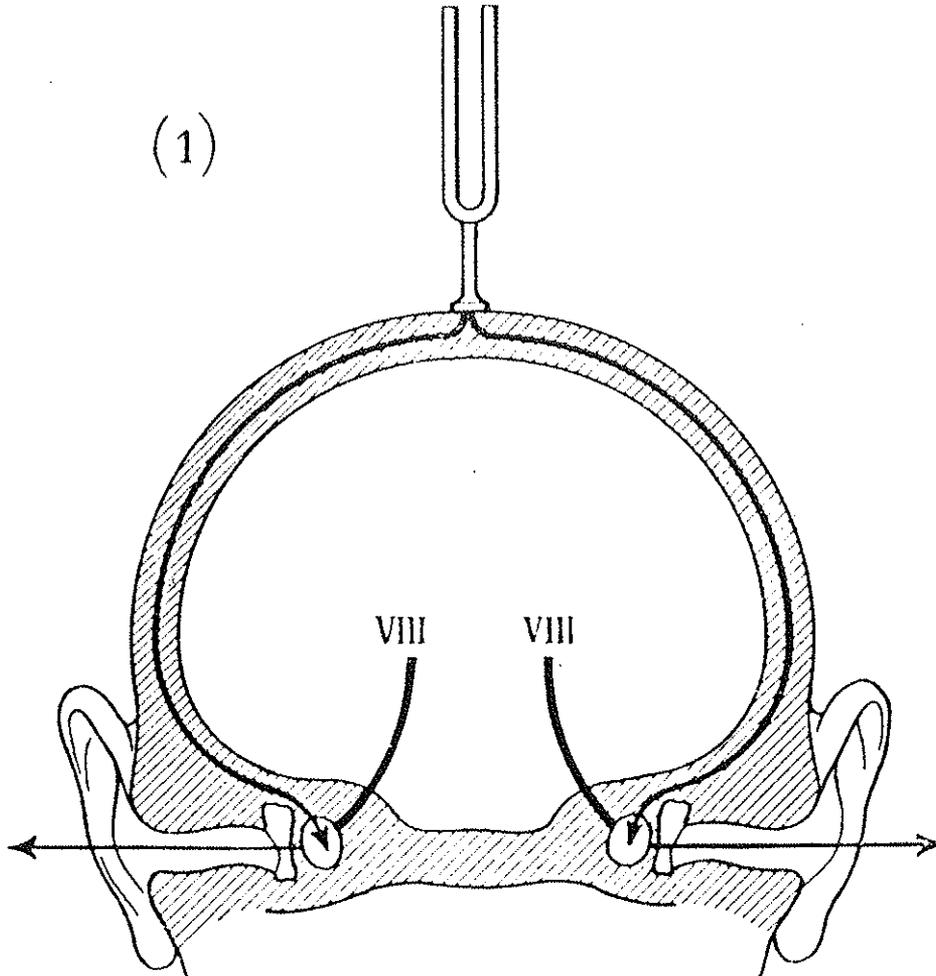
b y c: Procedimientos técnicos.

Figura 10



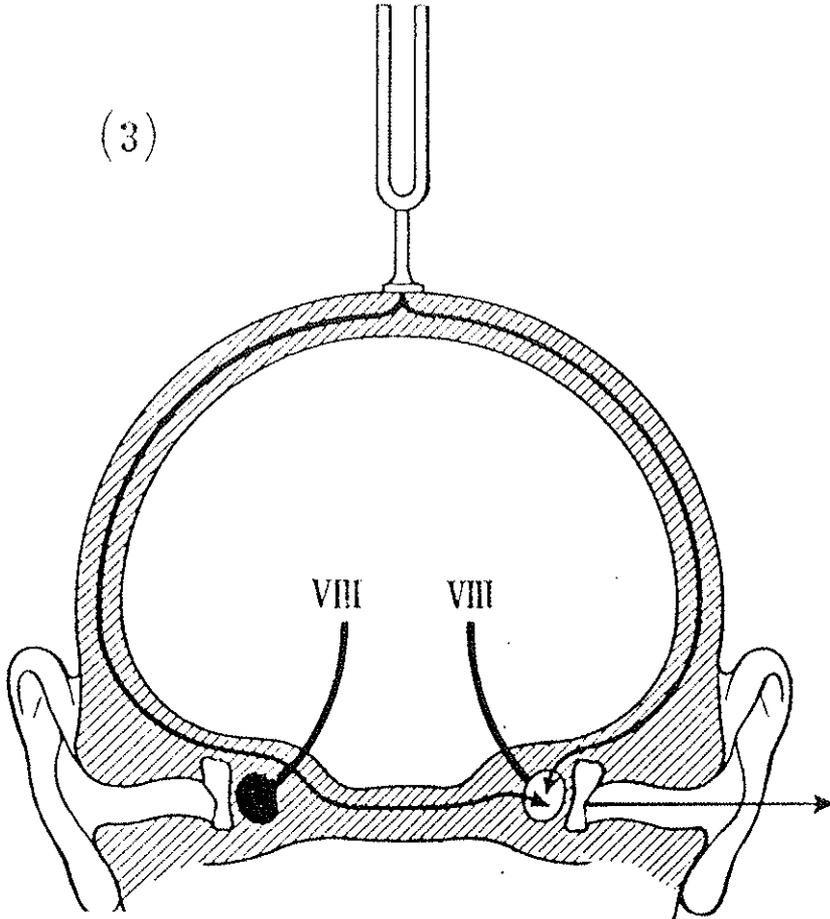
Diapasones

Figura 11



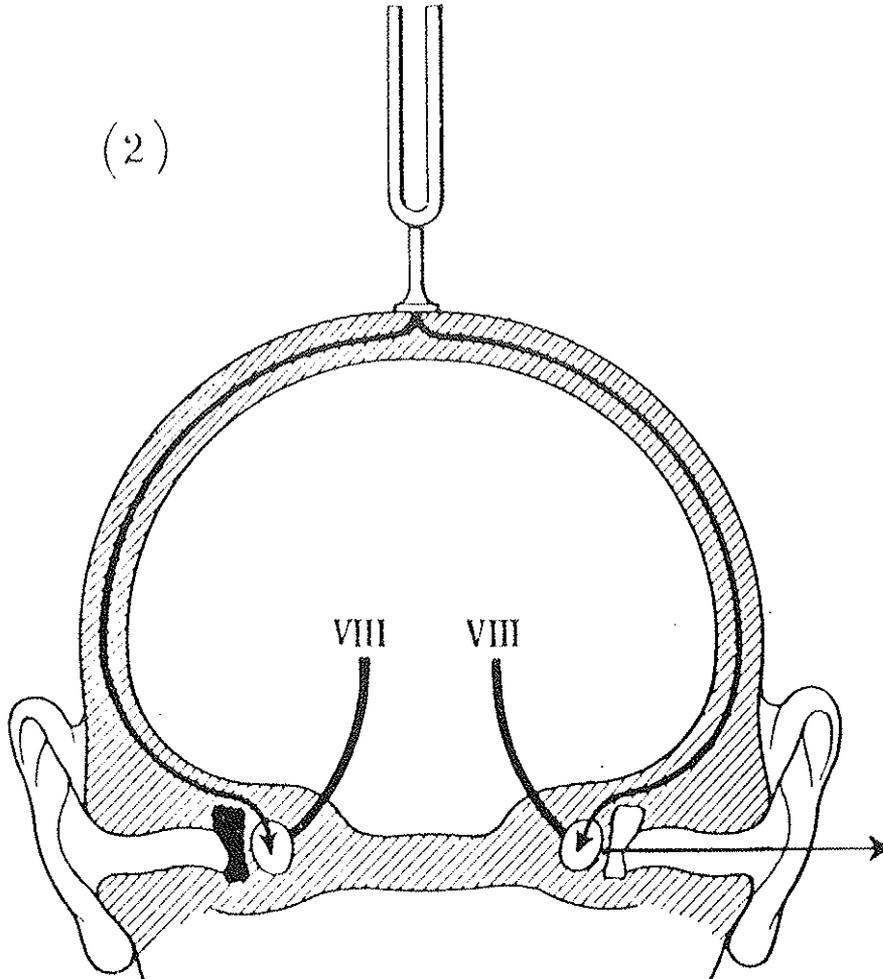
Prueba de Weber en un sujeto de audición normal. Las vibraciones del diapasón colocado en el vertex, se transmiten igualmente por vía trasponeana a ambas cócleas. Parte de estas vibraciones se exteriorizan de forma simétrica, por ambos CAE.

Figura 12



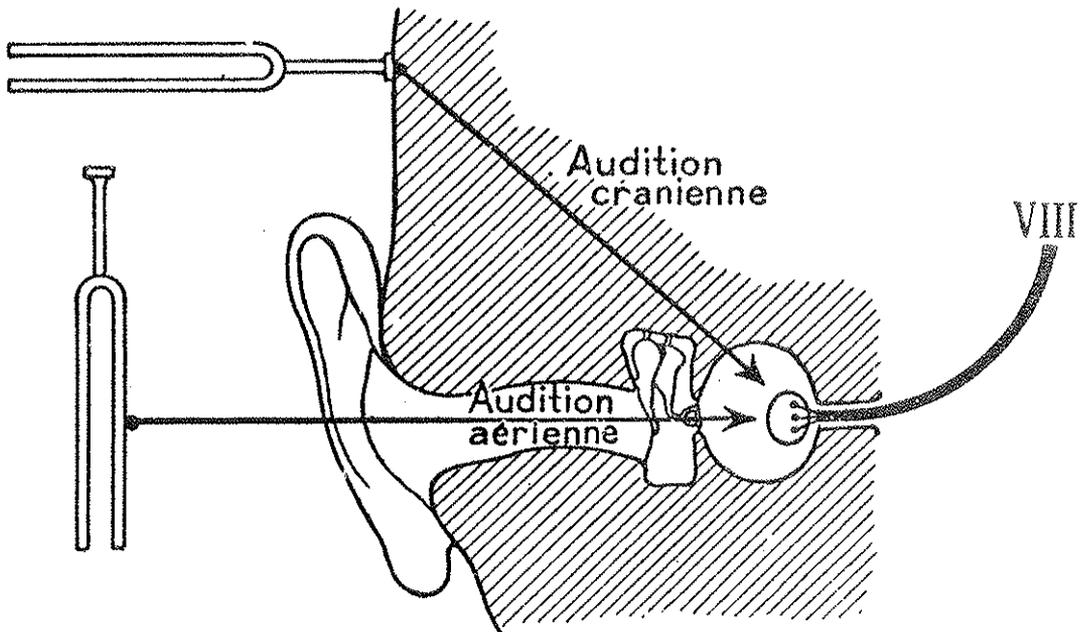
Prueba de Weber en el caso de una hipoacusia neurosensorial. Las vibraciones que parten del vertex no impresionan a la cóclea enferma, pero si a la sana, existiendo una lateralización hacia el lado sano.

Figura 13



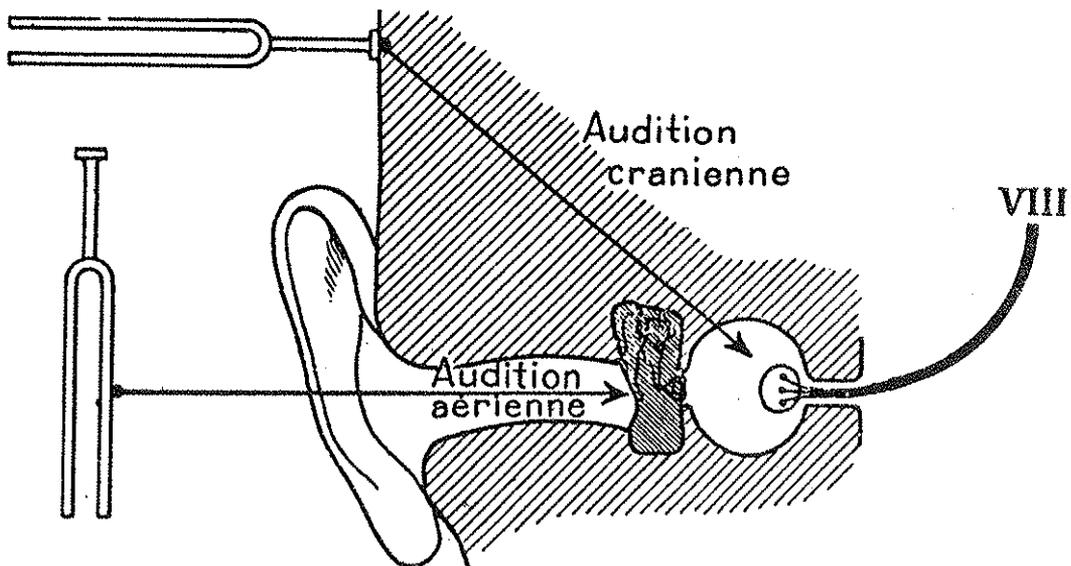
Prueba de Weber en el caso de una hipoacusia de transmisión. Las vibraciones que parten del vertex, impresionan igualmente a ambas cócleas, pero en el lado enfermo no pueden exteriorizarse por el CAE, existiendo por consiguiente un aumento de la resonancia en el lado enfermo. Existirá una lateralización hacia el lado enfermo.

Figura 14



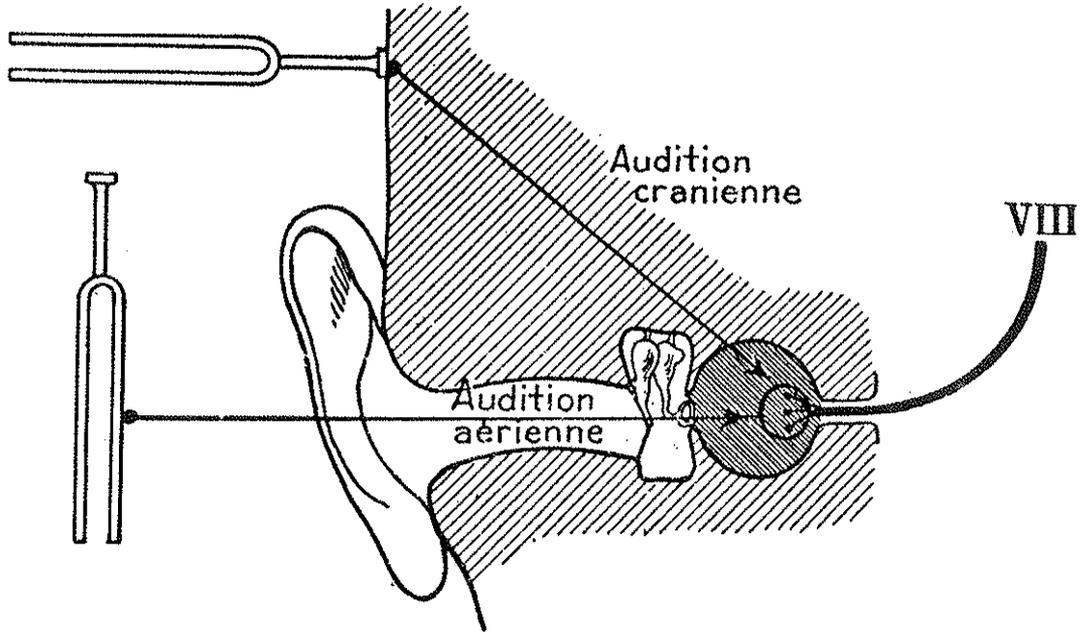
Prueba de Rinne en un sujeto normal. La audición aérea es mejor que la ósea. Es un Rinne positivo normal.

Figura 15



Prueba de Rinne en una hipoacusia de transmisión. La audición ósea es mejor que la aérea. El Rinne es negativo.

Figura 16



Prueba de Rinne en el caso de una hipoacusia de percepción. La audición aérea es mejor que la ósea, aunque ambas se encuentran disminuidas. El Rinne es positivo patológico.

## **BIBLIOGRAFIA**

PORTMANN, M., Y PORTMANN, C.: *Audiometría clínica*. Ed. Toray-masson. Barcelona, 1975

PORTMANN, G.: *L'exploration clinique en oto-rhino-laryngologie*. Ed. Masson, Paris 1948

DE SEBASTIAN, G., BADARACO, J. Y POSTAN, D.: *Audiología práctica*. Ed. Panamericana. Buenos Aires.

BECKER, W., NAUMANN, H.H., PFALTZ, C.R.: *Manual ilustrado de otorrinolaringología*. Ed. Doyma, Barcelona. 1986.

ABELLO, P., TRASERRA, J.: *Otorrinolaringología*. Ed. Doima, Barcelona. 1992.



**CAPITULO 5**

**AUDIOMETRIA TONAL**

*D. José Antonio Pérez Arcos*



## AUDIOMETRIA TONAL.

### AUDIOMETRIA TONAL LIMINAR Y SUPRALIMINAR (1)

#### Concepto

Consiste en la investigación, mediante la emisión de tonos puros, de los umbrales mínimos auditivos, es decir, la mínima cantidad de audición que pueda percibir un oído tanto para la vía aérea con ayuda de unos auriculares, como para la vía ósea mediante un vibrador óseo colocado en la mastoides.

Así podemos estudiar:

- vía aérea (V.A)
- vía ósea (V.O)
- comparar vía aérea y vía ósea (Rinne audiométrico)
- el problema del ensordecimiento

Sigue siendo la prueba clínica más útil para estudiar la función auditiva. Siendo una prueba importantísima para el diagnóstico topográfico y a veces etiológico de la sordera.

Es un test audiométrico subjetivo, es decir, requiere una respuesta consciente e inteligente por parte del individuo explorado.

Habitualmente se miden Fc. entre 125 y 8000 Hz para la V.A y entre 500 y 4000 Hz para V.O.

El "o referencia" viene referido como la audición normal.

#### Instrumental

Para tal fin empleamos el Audiómetro así como una cabina insonorizada (fig. 1). Todo audiómetro consta de 7 partes esenciales:

- 1) Oscilador: genera diversas notas puras.
- 2) Amplificador: para aumentar la intensidad de las notas puras hasta un nivel útil.
- 3) Interruptor: para iniciar y terminar la emisión de las notas puras sin clicks audibles.
- 4) Díal de nivel auditivo, para aumentar y reducir la intensidad de las notas puras en incrementos calibrados.
- 5) Auricular: para convertir en sonido real las señales eléctricas generadas por el oscilador.
- 6) Vibrador de conducción ósea.
- 7) Generador de ruidos de enmascaramiento.

#### Procedimiento

El objetivo de la Audiometría de tonos puros es la obtención de umbrales de tono a diferentes frecuencias. Siendo **el umbral como el nivel de intensidad más bajo que el paciente detecta más o menos el 50% de las veces.**

A continuación se sienta al enfermo y se le explica la prueba a realizar teniendo especial atención a la colocación de los auriculares (ya que cuando están mal centrados pueden darnos pérdidas auditivas irreales de 5 a 20 dB).

Se le explica que debe responder pulsando un interruptor o alzando la mano cuando pueda oír por muy suave que sea el sonido.

Los tonos suelen durar 2-3 segundos.

**(1) Para los aspectos básicos de la Audiometría, véase "Acústica fisiológica" en el capítulo segundo.**

Previo examen otoscópico, en el cual comprobamos que el conducto auditivo externo y membrana timpánica están expeditos, comenzamos por el oído de mejor audición en la frecuencia 1000 y le enviamos un sonido audible, explicándole que éste va a ser el sonido estudiado. Tras lo cual hay dos técnicas para investigar los umbrales auditivos:

1ª- A partir de 0 la intensidad se va aumentando de 5 en 5 dB hasta que el sujeto responde (**técnica ascendente**)

2ª- Tras un sonido confortable se va disminuyendo la intensidad de las sucesivas salvas tonales, hasta que deja de percibir el sonido totalmente y a continuación incrementamos 5 dB para confirmarlo (**técnica descendente**). Es la más empleada.

El explorador va anotando sucesivamente los valores que se recogen, en unas gráficas (previamente confeccionadas) que se denominan audiogramas, en los cuales se representan en el eje de abscisas las diferentes frecuencias a investigar (125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, y 8000 Hz) limitadas por el tipo de audiómetro a utilizar y en el de ordenadas las intensidades. Seguidamente y con idéntica sistemática examinamos las frecuencias agudas y por último las graves. Tras ello pasamos al oído de peor audición y posteriormente realizamos la misma sistemática para explorar la vía ósea.

Uniendo con trazo continuo los umbrales para la vía aérea y con trazo discontinuo los recogidos en la vía ósea.

Soliendo anotar el oído derecho en color rojo y el izquierdo en color azul.

En la literatura internacional se utilizan unos signos convencionales para representar las vías aéreas y óseas:

DERECHO		IZQUIERDO
o	v.a.	x
	V.O.	]

**Test de audiometría ósea:**

El umbral para la vía ósea es muy importante para la valoración clínica porque representa hasta cierto punto la función del oído interno (reserva coclear) así como de sus conexiones centrales.

Es por ello que todos los test de la acumetría clásica (diapasones) han sido traspasados a la audiometría, así podemos hablar de un Bing audiométrico, de un Gellé audiométrico, Rinne audiométrico.

*El Rinne audiométrico* se establece al comparar la V.A y la V.O en el mismo oído.

\*Se llama Rinne igual o positivo: la V.A es idéntica a la V.O

\*Se llama Rinne negativo: si la V. A es peor a la V.O.

**EL ENSORDECIMIENTO O ENMASCARAMIENTO**

Cualquier persona relacionada con las pruebas Audiológicas sabe que en determinadas circunstancias un sonido dado en un oído puede ser percibido por el oído contralateral.

Ello puede conllevar mal interpretaciones importantes en los resultados audiométricos (curvas falsas o "fantasmas").

El ensordecimiento supone emitir para el oído no explorado un ruido, siempre por vía aérea, de forma que esa cóclea oiga el ruido y no pueda oír el sonido de prueba para el oído que estamos explorando.

Hay dos tipos de sonidos utilizados en el enmascaramiento:

-**Ruido blanco:** Mezcla de todas las frecuencias del audiómetro emitidas al mismo tiempo y a la misma intensidad. Es el más corrientemente utilizado.

-**Ruido de banda estrecha:** En la que se utiliza una zona del ruido blanco centrada en una frecuencia determinada a estudiar.

Hay dos técnicas de enmascaramiento:

-Oído contralateral.

-En el mismo oído.

**1) Enmascaramiento del oído contralateral**

La técnica se efectúa en el oído opuesto al que se explora y dando el sonido enmascarante siempre por vía aérea.

**¿Cuándo?:** Hay dos situaciones indispensables:

A) Cada vez que la vía aérea es de 50 a 60 dB más baja que la vía ósea del lado opuesto, ya que puede tratarse de un fenómeno de lateralización, siendo esta vía aérea, el resultado de la estimulación de la cóclea opuesta por vía transcraneana.

B) Cuando la vía ósea del oído peor (testado) está 5-10 dB por debajo de la V.O del oído mejor.

**¿A qué intensidad?** El sonido enmascarante debe cumplir 2 requisitos:

\*Eficaz: para conseguir anular la audición coclear del oído a eliminar (CRITERIO DE EFICACIA).

\*No repercutir por su intensidad al oído que queremos explorar (CRITERIO DE NO REPERCUSION).

EL CRITERIO DE EFICACIA = Intensidad + "delta" + valor del Rinne (-) del oído enmascarado.

Siendo "delta" una constante y representa los dB necesarios para hacer desaparecer el sonido test, siendo de:

-15 dB para el ruido blanco.

-5 dB para ruido banda estrecha.

EL CRITERIO DE NO REPERCUSION = A la suma del sonido test dado en el oído interesado por vía ósea más 60 dB, que es la máxima intensidad que podemos enviar por V.A. sin que repercuta en el otro oído.

Criterio de NO repercusión + (Intensidad + 60 dB).

\*Puede ocurrir que la intensidad mínima eficaz esté más elevada que la intensidad máxima no repercutidora (así siempre son casos de hipoacusia de transmisión importante con Rinne muy (-) del lado a ensordecer y la eliminación del oído es imposible, teniendo que recurrir a:

## 2) Enmascarar el oído explorado

-Prueba de **Rainville**.

-La prueba más utilizada es el **SAL test** (Sensory Acuity Level) variante de la anterior.

El procedimiento es la determinación de los umbrales por vía aérea tras lo cual aplicamos un vibrador óseo en el centro de la frente, a intensidades de 70 a 100 dB y realizamos una nueva determinación de umbrales por vía aérea.

El objeto de este procedimiento se basa en el hecho de que la cóclea posee una capacidad de absorción del ruido blanco inversamente proporcional al grado de la lesión, o sea cuanto más lesionada esté la cóclea menos absorbe el ruido blanco y menor es el desplazamiento de los umbrales de la vía aérea.

Sirve para confirmar si una hipoacusia bilateral es o no es de transmisión debido a que medimos indirectamente la vía ósea.

## VALORACION CLINICA

En las interpretaciones de los audiogramas es muy importante la comparación entre la vía aérea y la vía ósea.

Existen 2 tipos fundamentales de curvas audiométricas: las de hipoacusia de transmisión y las de hipoacusia de percepción y entre ambas una amplia gama en las que coexisten ambas hipoacusias y que denominamos hipoacusias mixtas.

Ejemplo de -H. de transmisión = (I V.A. y se mantiene V.O.)

Rinne (-) (fig. 2)

-H. de Percepción = (I V.A. y de V.O. sobre todo en frecuencias agudas) (Fig. 3)

-H. Mixtas = (Coexisten ambos fenómenos) (Fig. 4)

## AUDIOMETRIA TONAL ESPECIALIZADA O SUPRALIMINAR.

Las sorderas de percepción pueden clasificarse en: cocleares y retrococleares según la lesión se localice en oído interno (cóclea) o a nivel del nervio auditivo o más centralmente. Estando necesitado el médico especialista en otorrinolaringología de recurrir a una serie de pruebas audiométricas realizadas a niveles de intensidad por encima del umbral auditivo del paciente, ya que nos van a indicar una *topografía lesional*, con importantes repercusiones en la valoración clínica y terapéutica de las sorderas.

En ella medimos dos parámetros fundamentales:

-Intensidad: Fenómeno del "Recruitment"

-Tiempo: Fenómenos de fatiga y adaptación.

## 1) Distorsión de Intensidad. ¿Que es el RECRUITMENT?

Desde tiempo atrás, era sabido que cierto tipo de sordos no soportan los ruidos intensos, ni permiten que se les hable en voz muy fuerte. Siendo en 1936 Fowler el 1º en estudiar este fenómeno conocido como "recruitment" o reclutamiento. Estando este fenómeno paradójico basado en la capacidad que poseen algunos oídos de mostrar una sensibilidad subnormal en el umbral pero que va aumentando a medida que vamos incrementando la intensidad del estímulo, es decir, serían oídos sordos para sonidos débiles y normales para sonidos intensos. Por lo que la banda dinámica auditiva aparece menos amplia de lo normal, es decir, el campo auditivo se encuentra comprimido, y es por ello que **un oído afecto de recruitment está dotado de un mejor poder discriminativo de las variaciones en los niveles de intensidad que un oído sano.**

Lo interesante del fenómeno es que aparece en lesiones cocleares (otóxicos, trauma acústico...etc) y no en las retrococleares (nervio auditivo y vías).

Existen diversas pruebas supraliminales para determinar este gran poder discriminativo que poseen los oídos con "recruitment", siendo las más comunmente empleadas:

### -Test. binauricular de Fowler-

Fue el primer test en usarse. Consiste en comparar para la misma frecuencia una igualdad de nivel de intensidad sonora entre los dos oídos. Para ello emitimos una señal calibrada por los dos auriculares al mismo tiempo o alternado de un oído a otro.

En un individuo normal al dar dos sonidos juntos se percibe como uno, pero si separamos sus intensidades de un oído con respecto al otro, cuando la diferencia sea de 1 y 1/2 de dB es cuando se perciben como dos sonidos diferentes.

En el individuo afecto de Recruitment se llega a percibir esta diferencia con 1/2, 1/4 o 1/3 de dB. entre ambos oídos La prueba requiere:

-Audición normal en 1 oído o con gran diferencia respecto al otro (< 60 dB: lateralización y curvas fantasmas)

### -Test. de Lusher y Zwislocki-

Menos empleado.

Se mide en un solo oído la sensibilidad diferencial a un sonido modulado 2 ó 3 veces por segundo que varía de nivel de intensidad.

Elegimos una frecuencia determinada a una intensidad general de 30-40 dB por encima del umbral mínimo y se va aumentando la amplitud de modulación hasta que el paciente identifica el sonido como modulado.

Cuando el valor mínimo de modulación detectado es menor de 0,7 dB es anormal y sugerente de Recruitment.

### -Prueba de S.I.S.I. (Short Increment Sensitivity Index)

Es la más empleada en la actualidad. Consiste en hacer oír un sonido puro continuo a 20 dB por encima del umbral durante 2 minutos.

Cada 5 segundos la intensidad aumenta en 1 dB y el paciente debe señalarnos este aumento cada vez que lo perciba.

-Si percibe < 20% de este incremento = Recruitment (-)

-Si percibe 20-60% = Recruitment dudoso

-Si percibe > 60% = Recruitment (+)

En las sorderas profesionales es típico que el porcentaje sea alto a las frecuencias agudas, propias del escotoma.

Existen otros medios y métodos para identificar el "recruitment" que se comentarán más ampliamente en lecciones posteriores, sólomente nombrarlas:

-Audiometría verbal- Presenta curva verbal en campana.

-Audiometría automática- Se corresponde con los tipos II de Bekesy.

-Impedanciometría- Test de Metz: cuando hay Recruitment (+), el umbral del reflejo estapedial se presenta a una intensidad < de 60 dB por encima del umbral de audición en esa frecuencia.

## DISTORSION DE TIEMPO

### A) Fatiga: Prueba de Peysers.

Es muy útil cuando se estudia a las personas que trabajan en ambiente ruidoso, para saber si son válidas

para dicho trabajo.

Se comentará más ampliamente en un próximo capítulo.

Solo decir que en ella se trata de valorar el desplazamiento del umbral después de someter un cierto tiempo a un estímulo intenso y su vuelta a la normalidad tras un plazo de recuperación.

### **B) Adaptación: (Tone-Decay test)**

Se trata de una disminución de la sensibilidad auditiva en el umbral, tras percibir un estímulo cierto tiempo.

Emitimos un sonido en el umbral y si en menos de 1 minuto no lo oye se aumenta en 5 dB y así sucesivamente hasta 1 minuto.

Si el deterioro del umbral es  $>$  o igual de 15 a 20 dB en 1 minuto se dice que el Tone-Decay es positivo e indica clínicamente un trastorno retrococlear y por tanto del VIII par. Con el impedanciómetro también podemos poner de manifiesto este fenómeno y lo define de forma objetiva la NO permanencia del reflejo estapedial que decae con el tiempo.

## **INVESTIGACION DE LA SIMULACION AUDITIVA**

**Es de creciente importancia en el momento actual, debido a sorderas provocadas por accidentes (tráfico, laborales...) y en enfermedades profesionales.** Es por ello que se hace necesario poder no solamente realizar un despistaje de simulación sino apreciar el exacto valor funcional de un oído, dado que a veces puede tratarse de "exageraciones" de una hipoacusia real.

Los medios puestos a nuestro alcance son muy numerosos, pero debido al progreso de la electrosacústica los métodos clásicos han dado paso a métodos modernos.

Los test podemos clasificarlos en:

### **1º SUBJETIVOS: Audiometría ordinaria.**

–Test de audiometría tonal

Algunos sujetos entrenados dan curvas ficticias, casi siempre horizontales, tanto para la vía aérea como para la vía ósea en todas las frecuencias. Ante la sospecha de simulación podemos investigar alternativamente el umbral de una frecuencia aguda después de una frecuencia grave, siendo necesario a veces el paso rápido de un oído a otro obteniendo a veces umbrales diferentes de 10 ó 15 dB en la misma frecuencia.

Otra forma de investigar al posible simulador, sería repitiendo la audiometría a los 3-4 días; una diferencia  $>$  dB permite afirmar una simulación.

–Test de audiometría vocal.

Mediante pruebas de inteligibilidad es fácil desenmascarar a un simulador. Dado que el sujeto en general dará unas respuestas bastante mejores en la audiometría vocal que en su audiometría tonal.

–Test con sonidos enmascarante (Test de Azzi, Test de Lombard, Test de Doerfler-Stewart) más complejos.

### **2º OBJETIVOS.**

Son los más eficaces y por ello los más corrientemente empleados, dado que no precisan la colaboración por parte del sujeto. Para ello nos valem de:

Impedanciometría = Reflejo estapedial

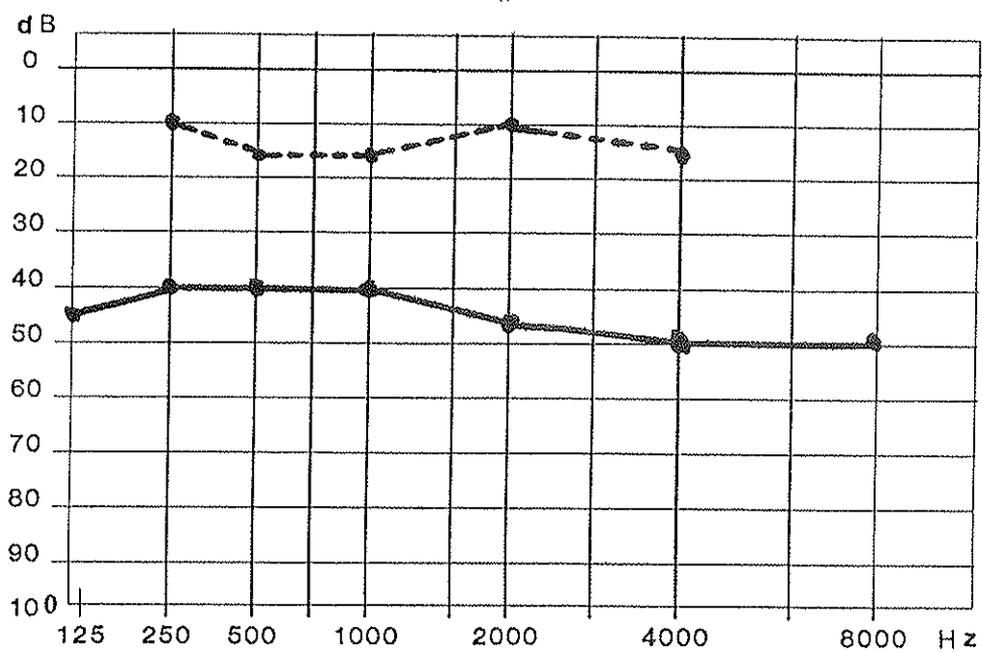
Métodos electrofisiológicos: = Electrocoqueografía = P.E.A.T.C.

Fig. 1



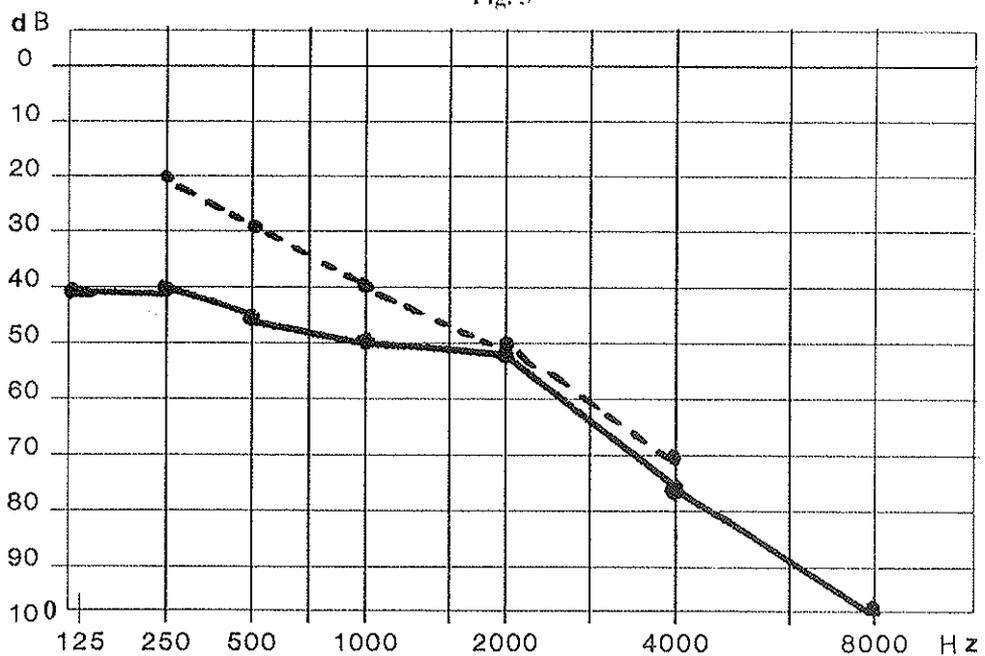
**Cabina audiométrica insonorizada y audiómetro convencional.**

Fig.2



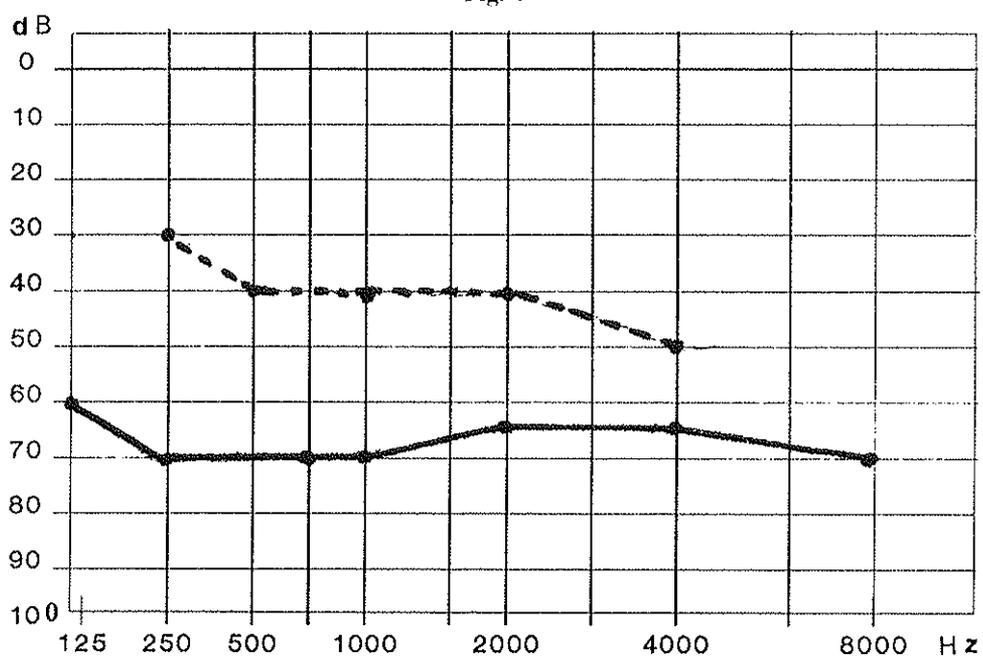
Hipoacusia de transmisión. Observamos el descenso de la vía aérea y la conservación de la vía ósea.

Fig. 3



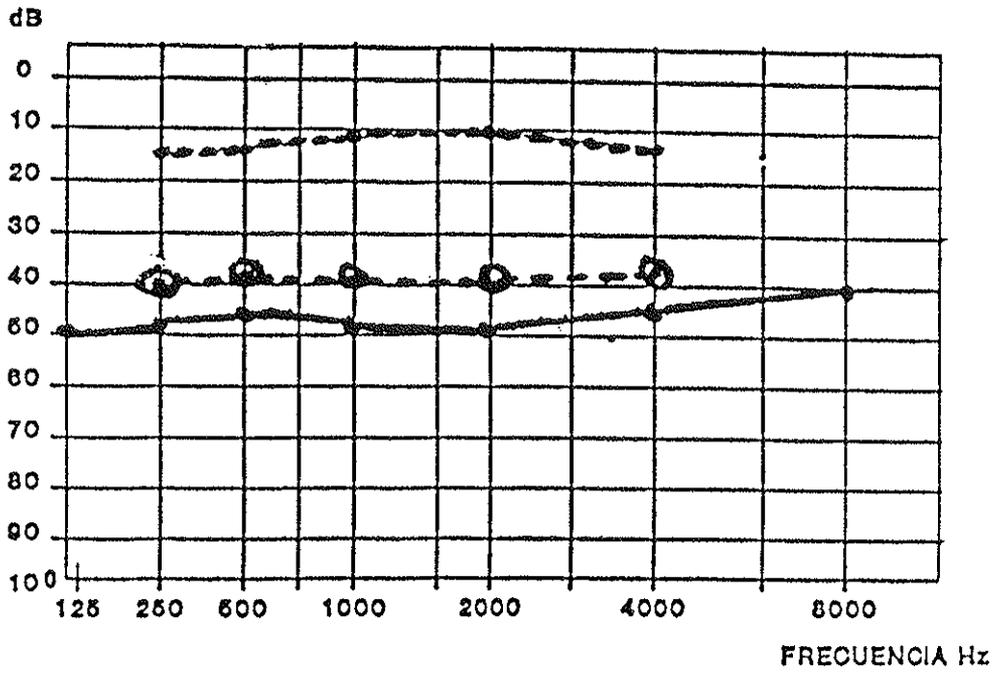
Hipoacusia de percepción. Hay un descenso de ambas vías, ósea y aérea a la misma intensidad. Es más importante sobre todo en las frecuencias agudas.

Fig. 4

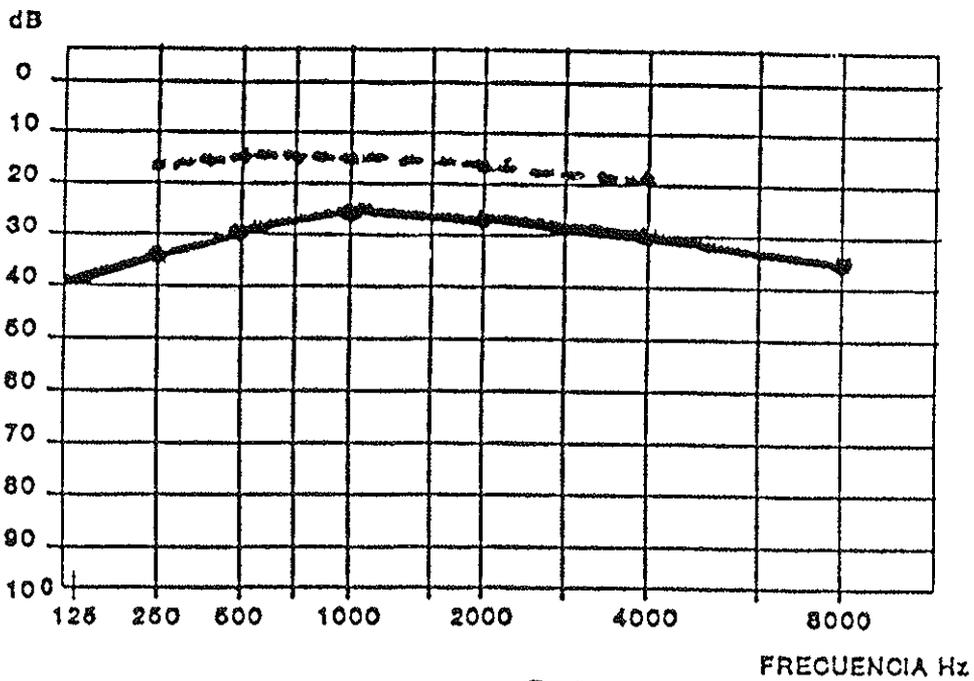


Audiograma con hipoacusia mixta. Vemos una pérdida de audición en ambas vías, pero a distintas intensidades

Fig. 5



O D



O I

Audiometría bilateral con ensordecimiento del oído izquierdo, dada la diferencia de las dos vías en oído derecho

## **BIBLIOGRAFIA**

- PORTMAN. *Audiometría clínica*. Segunda edición.  
ABELLO Y TRASERRA. *Otorrinolaringología*. 1992.  
QUIROS Y D'ELIA. *Introducción a la audiometría*. 1982  
PAPARELLA-SHUMRICK. *Otorrinolaringología* Segunda edición.  
CLINICAS EN O.R.L. DE NORTEAMERICA. Vol 2/1991.

**CAPITULO 6**

**AUDIOMETRIA VOCAL.  
AUDIOMETRIA AUTOMATICA  
IMPEDANCIOMETRIA**

*D<sup>a</sup>. Asunción Carmona Marinetto*



## **AUDIOMETRIA VOCAL. AUDIOMETRIA AUTOMATICA. IMPEDANCIOMETRIA.**

### **AUDIOMETRIA VOCAL.**

Para la comunicación humana la audición del lenguaje oral y la comprensión de la palabra son fundamentales.

La Audiometría Tonal no nos proporciona información sobre la capacidad de audición del oído para el lenguaje hablado. Solo podemos obtener de ella una aproximación de las dificultades que un oído hipoacúsico presenta para "captar" la palabra, ya que conocemos que la voz humana se encuentra entre las frecuencias 500, 1000, y 2000 Hz.

Pero no es lo mismo oír que escuchar, ni es lo mismo que comprender. Oír es percibir el sonido aunque no se le preste atención, escuchar es oír prestándole atención, si entendemos lo que estamos escuchando entonces comprendemos.

La Audiometría Vocal se ocupa de averiguar la captación de los fonemas y el entendimiento de las palabras.

En audiometría vocal se utiliza como material fonético listas de palabras mono y bisilábicas que serán testadas en grupos de 10 en 10 (para cada intensidad explorada) y que el enfermo debe repetir para poder establecer el % de aciertos.

Para que las palabras del listado sean útiles deben disfrutar de : 1º Significado para el paciente. 2º Diferenciación fonética, que no deben confundirse entre sí. 3º Proporcionalidad entre los diferentes sonidos que componen el idioma, es decir fonéticamente balanceadas. 4º Igual audibilidad, de manera que todas las palabras tengan la misma probabilidad de ser captadas por el oído.

Para realizar la prueba se introduce al enfermo en una cámara audiométrica común y se le explica que debe avisarnos cuando comience a oír la voz aunque no la entienda y que repita las palabras en cuanto crea entenderlas.

Las listas de palabras pueden ser emitidas directamente por el audiometrista o mediante una cinta grabada.

La prueba suele comenzar a una intensidad de 0 dB y se va aumentando de 10 en 10 dB, o bien se puede comenzar por el umbral tonal de la vía aérea para la frecuencia 1024 Hz si disponemos de una audiometría tonal previa.

Los resultados se transcriben a un eje de coordenadas en el que abcisas se anotan las intensidades y en ordenadas los porcentajes de aciertos.

Formamos con los datos obtenidos el audiograma vocal que está representado por una curva que para un oído normal tendrá la forma de una "S" y de la que podemos obtener cuatro umbrales:

Umbral de DETECTABILIDAD de la VOZ. Es la intensidad a la que la voz se oye pero no se entiende. En un oído normal se encuentra alrededor de 13 dB.

Umbral de DETECTABILIDAD de la PALABRA. Es la intensidad a la que contesta correctamente la primera palabra.

Umbral de captación o INTELIGIBILIDAD. Es la intensidad a la que se contesta correctamente al 50% de las palabras. Este umbral tiene un gran valor social pues captando la mitad de las palabras de un idioma las restantes se suplen mentalmente y se puede mantener una conversación normal. En el oído normal es de 17.33 dB.

Umbral de DISCRIMINACION o máxima comprensión. Es la intensidad a la que el individuo normal llega al 100% de aciertos y suele ser de 56 dB. Para un hipoacúsico este umbral es la intensidad a la que contesta

correctamente el mayor número de palabras.

Si alcanzado el umbral de discriminación o de máxima compresión seguimos aumentando la intensidad el individuo normal al principio seguirá acertando el 100% de las palabras, pero si seguimos aumentando de intensidad la curva se satura de manera que a 100 dB decae por distorsión de la voz, produciéndose curva en campana.

Esta saturación o curva en campana que se conoce también como "efecto de vuelco o volteo", se presenta en ciertas hipoacusias aunque a menores intensidades y nos orienta hacia la existencia de recruitment.

La forma y los umbrales de esa curva en "S" obtenida para un oído normal varía en el hipoacúsico.

En las hipoacusias de transmisión la curva mantiene su forma pero se desplaza a la derecha.

En las hipoacusias de percepción la curva no solo se desplaza a la derecha si no que cambia su forma aplanándose en la parte superior y no alcanzando el 100% de discriminación e incluso al ir aumentando la intensidad desciende dando una curva en campana.

Mediante audiometría vocal podemos conocer aproximadamente la pérdida tonal de un oído, se corresponde con los dB de la intersección de la curva vocal con la línea del 50% de respuestas acertadas. Pero además nos ayuda a:

Determinar la audición verbal de oídos hipoacúsicos y valorar las posibilidades de mejorar la audición con una prótesis o una intervención quirúrgica.

Localizar las hipoacusias de percepción mediante la existencia o no de recruitment.

Diagnosticar las hipoacusias centrales o corticales en las que al estar alterada la función integradora de los centros de la audición va a existir una discordancia entre los resultados de las audiometrías tonal y vocal.

## **AUDIOMETRIA AUTOMATICA**

La audiometría automática es un método audiométrico en el que el propio enfermo controla y mide su percepción auditiva. Se necesita un audiómetro especial siendo el más usado el ideado por Bekesy y perfeccionado por Reger.

El enfermo con sus auriculares puestos controla la prueba a través de un botón. Cuando aprieta el botón de control el sonido, que hace un barrido frecuencial, baja de intensidad y si lo suelta se eleva en escalones de 2 dB. Las variaciones se van inscribiendo automáticamente por una aguja sobre un gráfico enrollado en un tambor; se obtiene una línea quebrada que representa un máximo y un mínimo sobre el umbral, quedando inscritos cada uno en su frecuencia correspondiente que viene señalada en el papel que hace de gráfico.

Los trazos considerados verticalmente corresponden al umbral diferencial para una frecuencia determinada.

Cuando no existe recruitment estos umbrales fluctúan entre 4 y 6 dB, cuando los umbrales se acercan a 2 dB o menos se obtienen unos trazos verticales menores de lo normal lo que indica que existe recruitment.

Se realiza también esta prueba con sonido discontinuo observándose que este se percibe mejor y durante más tiempo.

Si exploramos un mismo oído primero con sonido continuo y luego con sonido discontinuo (entrecortado) podemos comparar ambas exploraciones.

Jerger relacionó estos diferentes trazos según su patología:

En las hipoacusias de transmisión ambas curvas van unidas desde las frecuencias graves hasta las agudas (tipo I).

En las hipoacusias de percepción con recruitment, cocleares, salen juntas y se mantienen juntas en los graves pero se separan en las frecuencias agudas (tipo II).

En las hipoacusias retrococleares, neuromas del acústico y otros tumores del ángulo pueden salir brevemente unidas para caer pronto y bruscamente el trazo correspondiente al tono continuo (tipo III), o bien desde su salida ambas curvas están muy separadas y se mantiene sí a lo largo de todo el barrido frecuencial (tipo IV)

## **IMPEDANCIOMETRIA**

Sabemos por fisiología que la membrana timpánica, la cadena de huesecillos con sus articulaciones y ligamentos, los músculos de la caja del tímpano, las dos ventanas y los líquidos laberínticos ofrecen una resistencia al paso del sonido que es la impedancia.

Como toda impedancia se mide en Ohms y en nuestro caso serán ohms acústicos.

La propiedad física contraria a la resistencia (impedancia) es la complacencia, o compliancia. Compliancia o complacencia timpánica es la facilidad que posee el tímpano para dejarse modificar por la presión sonora y se mide en centímetros cúbicos de aire.

Desde el punto de vista audiológico es lo mismo hablar de impedancia (Ohms) que de compliancia (centí-

metros cúbicos de aire) siempre que tengamos en cuenta a qué nos estamos refiriendo.

La impedanciometría es una técnica de exploración que nos permite el diagnóstico funcional del sistema de transmisión sonora. Se realiza con un aparato, impedanciómetro, que mide la compliancia.

Del impedanciómetro sale una sonda auricular de material semirrígido que debe ajustarse bien a las paredes del conducto auditivo externo (C.A.E.) mediante un adaptador. Esta sonda tiene tres orificios. Por uno se envía un tono puro de 220 Hz hacia el tímpano donde una parte atraviesa el sistema tímpanosicular y otra parte es reflejada y recogida por el segundo orificio que lo lleva de vuelta a un micrófono y mediante un control de amplitud que contiene filtro y amplificación se mide esta energía. El tercer orificio está conectado a un manómetro de agua y provoca cambios de presión en el oído externo que pueden oscilar entre + 200 mm de H<sub>2</sub>O y - 400 mm de H<sub>2</sub>O., por lo que para realizar una impedanciometría es necesario que el tímpano no tenga grandes cambios estructurales como son las perforaciones timpánicas.

Mediante el impedanciómetro podemos explorar:

a) Estado de la trompa de Eustaquio.

A través de la sonda colocada en el oído se envía una presión de + 200 mm H<sub>2</sub>O y se le ordena al paciente tragar dos o tres veces, si la trompa es permeable se verá descender brevemente la presión con las degluciones, si es impermeable no variará.

Esta prueba puede realizarse en oídos perforados y en ello radica su máxima importancia. Cuando la trompa, de un oído perforado, es permeable generalmente no es posible mantener las presiones ni alta (+) ni baja (-). Cuando un oído perforado coge presión y ésta no desciende con los movimientos deglutorios la permeabilidad tubárica no es normal.

Esta exploración debe realizarse antes de practicar una tímpanoplastia ya que del estado de la trompa de Eustaquio va a depender en gran parte el éxito de la intervención.

b) Timpanometría.

El tímpanograma es la gráfica de los distintos grados de compliancia obtenidos variando la presión sobre el tímpano.

Se aplica una presión de + 200 mm de H<sub>2</sub>O con lo que se deprime el tímpano y se hace rígido el sistema tímpano-oscilar; en estas condiciones la energía que se absorbe es baja y la que se rechaza alta (nos encontramos en un punto de mínima compliancia) a partir de este punto comenzamos a medir. De forma automática la bomba de presión se mueve hacia las presiones negativas pasando por los 0 mm de H<sub>2</sub>O, punto en el que el oído normal tiene su máxima compliancia (es de 0.6 a 1.4 cc de aire). La bomba sigue disminuyendo la presión hasta -200 mm de H<sub>2</sub>O momento en el que un oído normal alcanza de nuevo una mínima compliancia; puede sin embargo alcanzar los -400 mm de H<sub>2</sub>O de presión.

Estas variaciones de compliancia van siendo medidas y transcritas sobre una gráfica.

A partir del patrón timpanométrico normal podemos distinguir diferentes tipos patológicos: Cuando el tímpano está hundido por mal funcionamiento de la trompa el pico se desplaza hacia la izquierda, hacia las presiones negativas.

Cuando el oído medio está lleno de líquido, como en las otitis serosas, la compliancia máxima es menor que la normal, resultando una gráfica aplanada y desplazada a las presiones negativas.

Cuando existe una rigidez en la cadena de huesecillos, como en la otosclerosis, la compliancia máxima está reducida hasta un tercio de lo normal pero las presiones en caja y C.A.E. están igualadas por tanto el trazado es igual al normal pero con valores muy bajos de compliancia.

Cuando a nivel de la cadena de huesecillos existe una interrupción el tímpano se mueve más libre obteniéndose picos muy altos y centrados en 0 mm de H<sub>2</sub>O, esto indica una compliancia exagerada.

Como vemos la timpanometría es de gran utilidad diagnóstica ya que los distintos trastornos del oído medio (O.M.) alteran el tímpanograma de una forma característica.

c) Reflejo timpánico o estapedial, o impedancia relativa.

El sistema tímpano-oscilar actúa como mecanismo de protección ante grandes ruidos que pueden dañar la cóclea. Este consiste en la contracción refleja de los músculos del martillo y estribo provocando un aumento de la impedancia.

Solo se estudia el reflejo estapedial que se desencadena ante estímulos de 70 y 80 dB de intensidad, ya que para provocar la contracción del músculo del martillo se necesitan grandes intensidades de sonido.

Se trata de un arco reflejo acústico-facial constituido por una vía acústica estimulada y una vía facial efectora: se inicia en la cóclea y sigue por el nervio auditivo y núcleo coclear, el núcleo olivar superior, y núcleo motor homolateral y contralateral del facial, siendo precisamente los nervios estapedianos las primeras ramas motoras del Facial. Gracias a las conexiones cruzadas el reflejo es bilateral y simultáneo, así podemos investigar el reflejo estapedial ipsi-y contralateral.

Para realizar la prueba colocamos un auricular por el que mandamos el estímulo sonoro y una sonda por la que recogemos la respuesta; si cada uno se coloca en un oído diferente estudiamos el reflejo contralateral, si sonda y auricular son colocados en el mismo oído recogemos el reflejo ipsilateral.

Previamente habremos realizado un timpanograma pues el reflejo debe ser explorado en la máxima compliancia.

La frecuencia del estímulo es de 1000 Hz y la intensidad de 70 a 90 dB por encima del umbral tonal para esta frecuencia.

En un oído normal un estímulo de 85 dB provoca en la aguja que marca los cambios de compliancia un desplazamiento que dura tanto como dure el estímulo. Este es el umbral de reflejo estapediano.

Los resultados del reflejo pueden ser ambiguos pero junto con el timpanograma y la audiometría tonal aportan una información diagnóstica valiosa.

El estudio del reflejo nos interesa para conocer: El estado de la cadena osicular. En caso de anquilosis, interrupción de la cadena, líquido en la caja, etc. algo que impida o dificulte la transmisión, el reflejo está abolido o disminuido. En estos casos para no llegar a un error diagnóstico es imprescindible el haber realizado previamente un timpanograma.

El recruitment. Un oído con recruitment se caracteriza por presentar una sensibilidad por debajo de lo normal para intensidades bajas de sonido y una sensibilidad normal para intensidades elevadas. En una hipoacusia de percepción cuando el umbral de reflejo aparece a una intensidad inferior de 50-60 dB por encima del umbral tonal significa que existe recruitment (Test de Metz +). Al contrario en toda hipoacusia de percepción el umbral de reflejo normal nos indica ausencia de recruitment.

Desenmascarar simuladores. Al tratarse de un reflejo inconsciente, si en un enfermo que dice no oír obtenemos un umbral de reflejo de 70-80 dB no hay duda de que o está mintiendo o tiene una hipoacusia con recruitment que debe ser descartada.

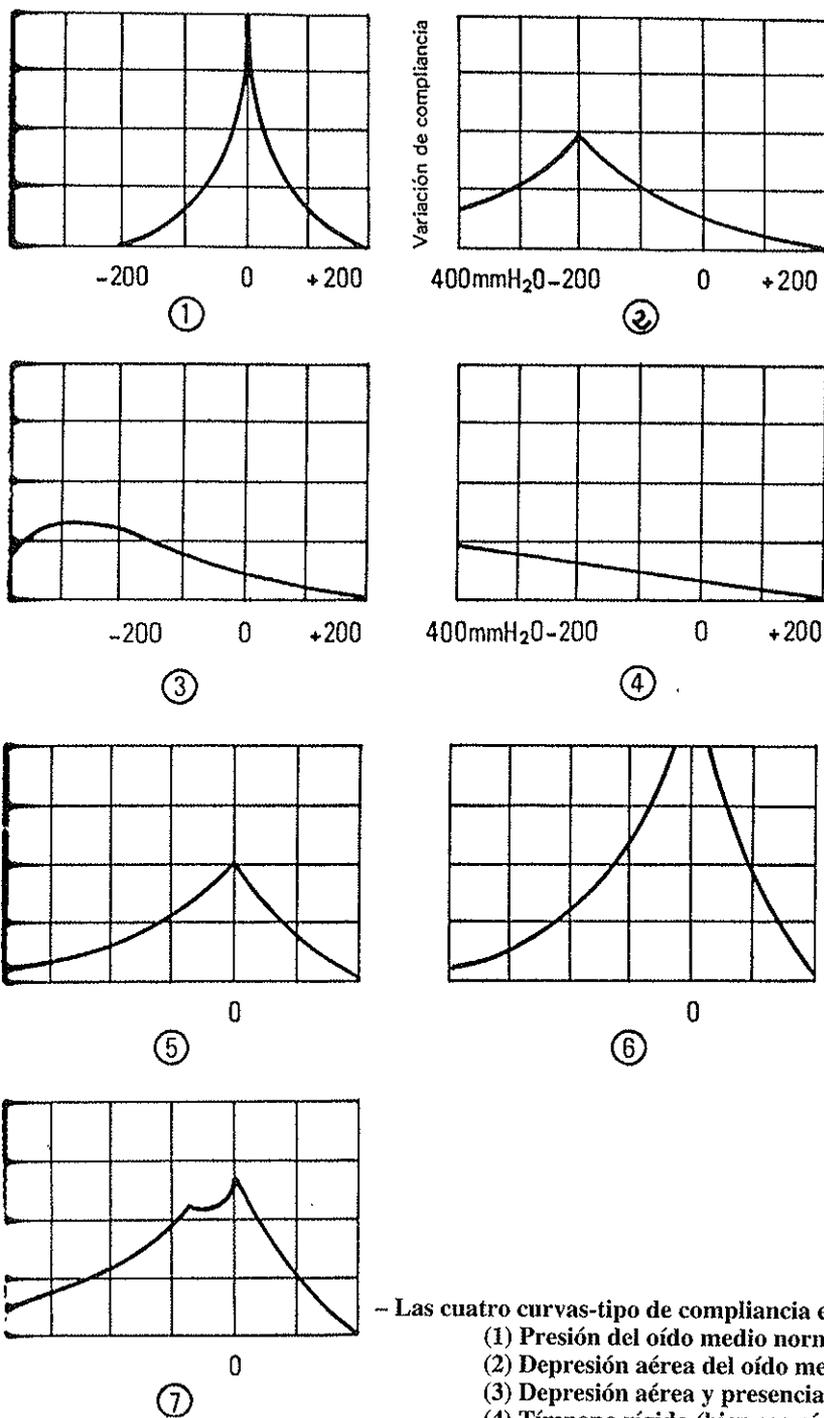
Diagnóstico topográfico de lesiones en el nervio facial. Ante una parálisis facial el reflejo estará abolido si la lesión se localiza por encima del nervio estapediano y será normal si se produce después de la salida de dicha rama.

La adaptación acústica o Reflex decay Test. Conocido el umbral del reflejo, esta prueba consiste en provocarlo a 10 dB por encima del umbral y durante 10 segundos. Se considera positivo (patológico) cuando la amplitud del reflejo disminuye a más de la mitad en los primeros 5 seg y es indicativo de lesiones retrococleares por lo que forma parte de la batería diagnóstica de tumores del acústico.

Diagnóstico de Glomus Yugularis. Ante un tumor vascular endotimpánico la aguja de presiones oscilará con el pulso del enfermo, pero si apretamos la Carótida de ese lado estos impulsos decrecen.

La impedanciometría con todas sus pruebas forman un método práctico para el diagnóstico otológico.

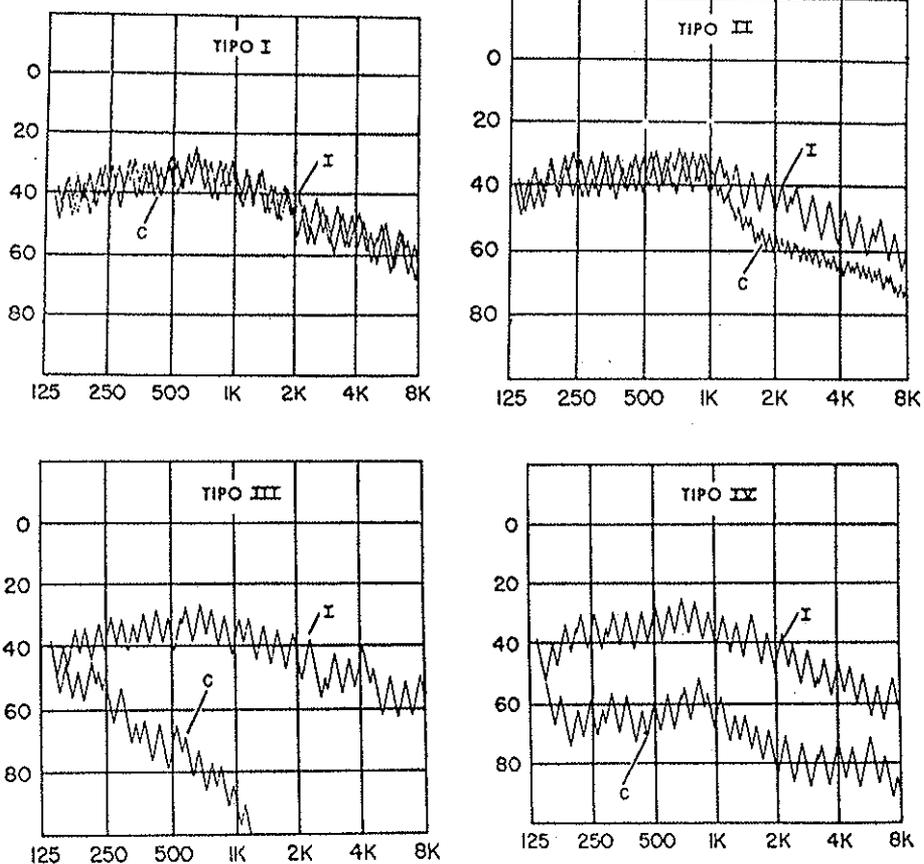
Fig. 1



- Las cuatro curvas-tipo de compliancia en la timpanometría.

- (1) Presión del oído medio normal.
- (2) Depresión aérea del oído medio (aquí - 211 mm H<sub>2</sub>O).
- (3) Depresión aérea y presencia de secreciones en el oído medio.
- (4) Tímpano rígido (bien sea oído medio enteramente obstruido por secreciones, bien sea tímpano esclerocicatricial).
- (5) Otospongiosis. Disminución simple de la compliancia.
- (6) Aumento del pico de la compliancia.
- (7) Dos picos indican dos rigideces diferentes de dos partes de un mismo tímpano.

Fig. 2

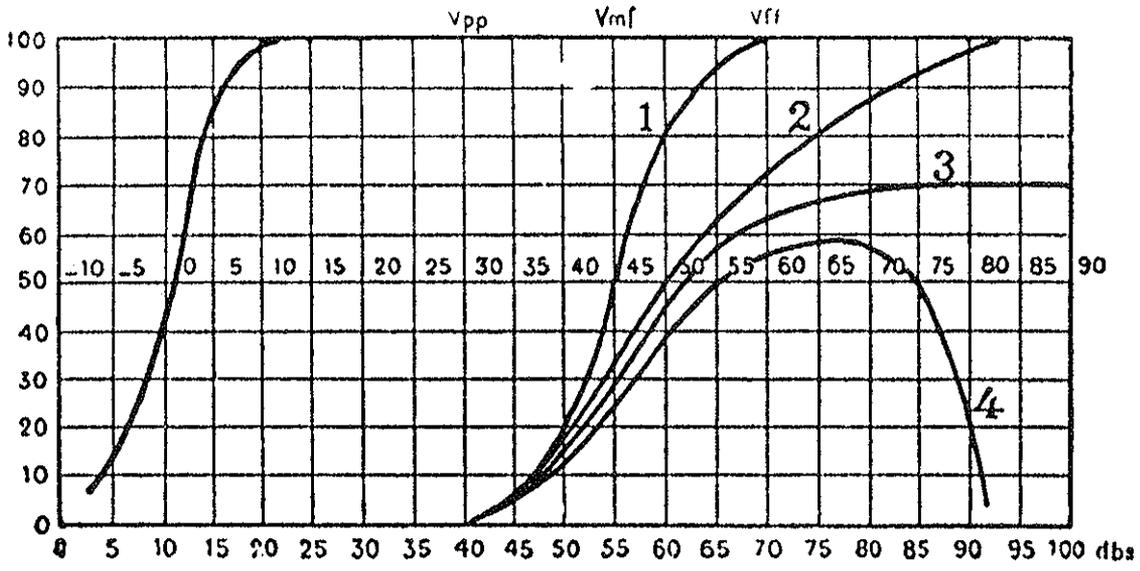


- Los cuatro tipos fundamentales de las curvas de Békésy, C sonido continuo, I sonido discontinuo según Jerger.

Tipo I (arriba a la izquierda).  
Tipo II (arriba en la derecha).

Tipo III (abajo a la izquierda).  
Tipo IV (abajo en la derecha).

Fig. 3



Tipos de Curvas en Audiometría Vocal

- 1. Curva paralela a la normal, propia de una hipoacusia de transmisión.
- 2.3 y 4 Curva que indican hipoacusia de percepción

**BIBLIOGRAFIA.**

AUDIOMETRIA CLINICA. *Portmann-Portmann. 3ª edición. 1979.* Edit. Toray-Masson, S.A..

AUDIOMETRIA PRACTICA. *Gonzalo de Sebastián. 4ª edición.* Edit. Panamericana.

OTORRINOLARINGOLOGIA. *Papparella-Shumrick. 2ª edición. 1987.* Edit. Panamericana.

**CAPITULO 7**

**AUDIOMETRIA POR POTENCIALES EVOCADOS**

*D. Manuel Sainz Quevedo.*



## AUDIOMETRIA POR POTENCIALES EVOCADOS AUDITIVOS

El estudio de los potenciales evocados auditivos constituye sin duda uno de los capítulos más importantes dentro de la audiología moderna por sus intereses, tanto como método objetivo de exploración funcional auditiva como por su fiabilidad en la determinación de las alteraciones neurológicas que interesen la vía acústica desde la cóclea hasta la corteza.

En esencia los potenciales auditivos constituyen la actividad eléctrica generada desde la cóclea hasta la corteza en respuesta a un estímulo sonoro.

Aunque el conocimiento de esta actividad es antiguo en el campo experimental, su estudio en la clínica solo ha sido posible después de que los ordenadores empezaran a introducirse en la instrumentación médica. El principal problema consistía en separar los potenciales generados en los distintos núcleos y centros de la audición de lo que se conoce con el nombre de ruido de fondo y que va a ser debido a diversos factores: unos biológicos como los potenciales miogénicos o neurogénicos espontáneos y otros instrumentales o ambientales.

La base para poder realizar este análisis es simple. Un potencial evocado solamente se producirá guardando una relación temporal con el estímulo sonoro, en el caso de los potenciales auditivos, que le ha dado origen. Por el contrario el resto de la actividad eléctrica es al azar o lo que es lo mismo no está relacionada con dicho estímulo.

En la figura 1 podemos ver esquemáticamente lo antes comentado. Los trazados a y b corresponden a dos registros de un sujeto a continuación de recibir un sonido. Como se puede ver existen una serie de ondas eléctricas que se repiten en ambos trazados y que representan en el gráfico los potenciales evocados. Es evidente una coincidencia perfecta entre la aparición de las ondas del potencial evocado y la presentación del estímulo auditivo.

Este hecho es la base para poder realizar el análisis. La actividad eléctrica de fondo no guarda relación con el estímulo, lo que significa que no existirá coincidencia en su polaridad en uno y otro trazado.

Por medio del ordenador, cuando estudiamos un determinado potencial eléctrico evocado, se promediará un número variable de trazados, después de un estímulo sonoro. La actividad eléctrica de fondo que nos enmascara el potencial auditivo desaparecerá al no coincidir temporalmente, mientras este último persistirá manteniéndose aislado en la promediación final.

Como decíamos anteriormente tenemos la posibilidad de registrar en la clínica la actividad eléctrica que se genera en la vía auditiva desde la cóclea hasta la corteza. La selección la haremos acortando o alargando el tiempo después de cada estímulo que queramos estudiar. Así los potenciales cocleares se producirán inmediatamente estimulado el receptor coclear, por lo que el tiempo de análisis será muy corto: unos cuantos milisegundos son suficientes. No ocurrirá lo mismo con los potenciales corticales al tener que recorrerse mayor trayecto para la llegada del mensaje auditivo a la corteza, será pues preciso un período de análisis más largo: en este caso cientos de milisegundos.

Ya tenemos pues, otro concepto introducido: La ventana de análisis o tiempo de análisis y que consistirá en el período de tiempo que seleccionamos, para su análisis, después del estímulo.

El tiempo en que aparece un determinado potencial evocado, después del estímulo medido en milisegundos, se conoce con el nombre de latencia y es uno de los parámetros más importantes a valorar en la clínica.

El otro parámetro que estudiaremos es la amplitud. La amplitud, en microvoltios, de los potenciales evocados, es muy variable; desde varios microvoltios, en el caso de los corticales, hasta fracciones de microvoltio, en los del tronco cerebral.

La amplitud va a depender de numerosos factores, entre otros, de la mayor o menor proximidad del lugar donde se genere un determinado potencial y los electrodos para su registro.

Previamente al estudio de una determinada señal bioeléctrica nosotros debemos conocer su amplitud media, para programar una mayor o menor multiplicación, en el amplificador del equipo.

## CLASIFICACION DE LOS POTENCIALES EVOCADOS

Por orden de aparición, una vez llegado a la cóclea el estímulo auditivo que los produce, los potenciales eléctricos auditivos son los siguientes:

### 1.- Microfónicos cocleares (fig. 2)

Se conocen con este nombre por reproducir la señal acústica que llega a la cóclea de forma similar a la que realiza un micrófono, es decir, convirtiéndola en una actividad eléctrica. Son, por lo tanto, una serie de potenciales de corriente alterna, que están generados a nivel de las células ciliadas del órgano de Corti y aparecen en el momento en que la onda sonora estimula este receptor.

### 2.- Potencial de sumación (fig.3)

Señal eléctrica de tipo continuo que también es generada en el receptor sensorial, una vez estimulado.

### 3.- Potencial de acción compuesto del nervio auditivo (fig 4)

Constituye la suma de los potenciales de acción del nervio coclear, en respuesta a una señal capaz de producir una descarga sincrónica de las fibras de dicho nervio. Su latencia oscila entre 1 y 4 milisegundos, y está en función de la frecuencia del estímulo y de su intensidad.

### 4.- Potenciales evocados auditivos del tronco cerebral (fig. 5)

Estos potenciales traducen la actividad eléctrica de los núcleos de la vía auditiva, a este nivel, y del nervio coclear. Aparecen en los primeros 10 milisegundos y la latencia varía, igualmente, en función de la intensidad y frecuencia del estímulo.

### 5.- Potenciales de latencia media (fig. 6)

Sin conocerse con exactitud su origen parecen provenir del tálamo, radiaciones tálamo-corticales y de la corteza auditiva primaria.

### 6.- Potenciales corticales de larga latencia.

Originados en la corteza auditiva y sus áreas de asociación.

Desde el punto de vista clínico el interés del estudio de los potenciales evocados auditivos es muy variable. En el campo que nos ocupa los más empleados son los potenciales del tronco, la electrococleografía y los potenciales de latencia media por este orden.

Es importante considerar aquí en que se basa este hecho. Cuando tratamos de explorar a niños poco colaboradores es preciso utilizar la anestesia general para evitar los artefactos producidos por los movimientos de este durante la prueba. Los anestésicos suelen producir alteraciones muy variables en los potenciales evocados, salvo en el caso de los del tronco y de la electrococleografía.

En los potenciales del tronco el umbral de la respuesta se separa del subjetivo del enfermo en tan solo 10 dB por término medio. Es una respuesta fiable fácilmente identificable y reproducible. En el niño puede obtenerse con una anestesia ligera desde el mismo momento del nacimiento, aunque con una configuración distinta del adulto por la inmadurez de la vía auditiva (fig. 7).

La electrococleografía permite un registro del potencial de acción compuesto del nervio coclear claro y de gran voltaje, si empleamos como electrodo de registro una aguja introducida sobre el promontorio a través de una pequeña perforación timpánica. Tiene el inconveniente de ser un método más agresivo y de requerir una anestesia más profunda (fig. 8) y de dar una información más limitada de la vía auditiva.

Ambos métodos tienen el inconveniente de que suministran una información poco selectiva sobre la audición para cada frecuencia y en particular para las frecuencias graves.

Los potenciales de latencia media permiten una información más detallada en cuanto a frecuencias pero se ven afectados por la anestesia.

La estrategia a seguir en el caso de un niño sería en nuestra opinión la siguiente:

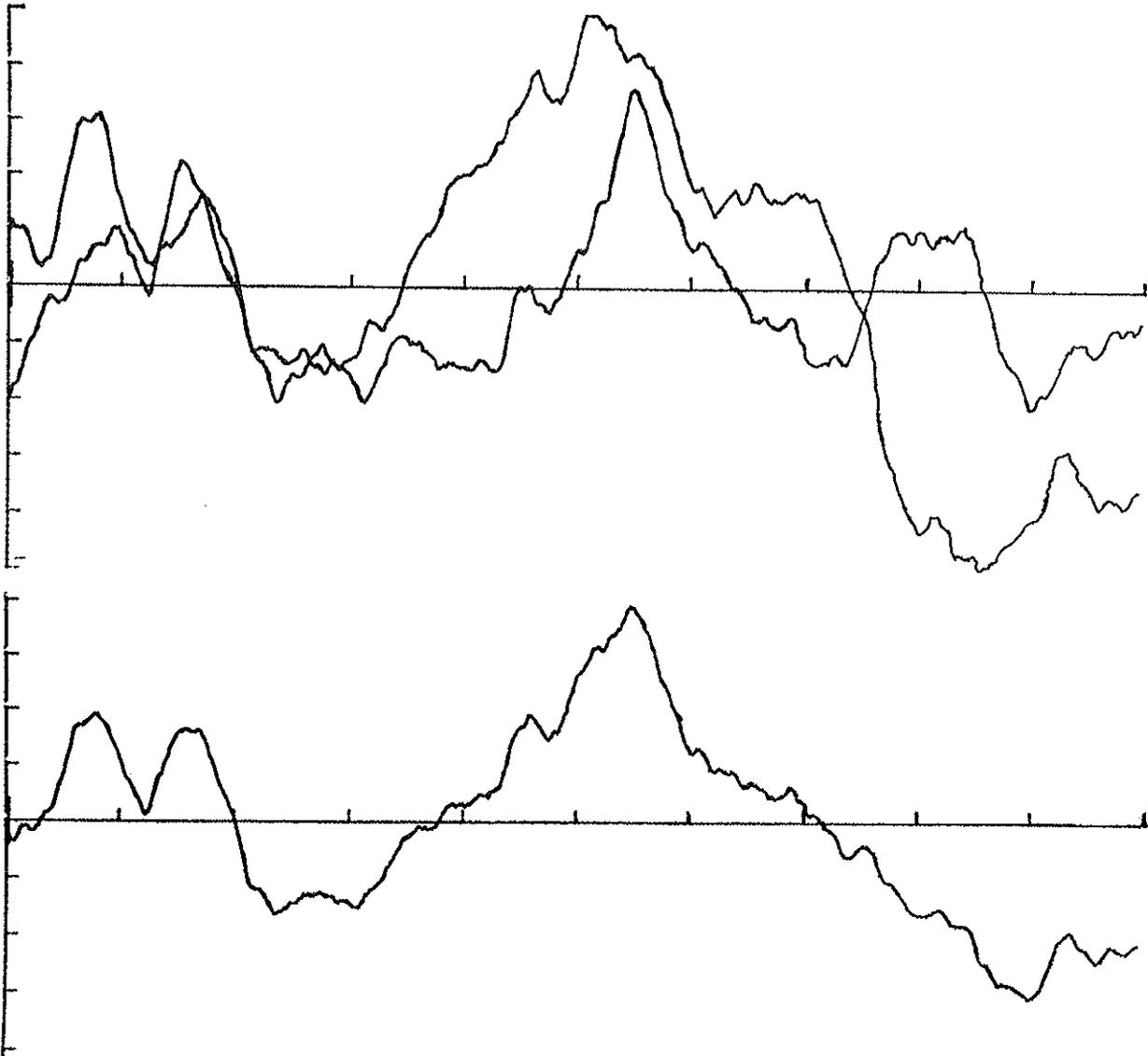
Potenciales del tronco.....exploración inicial en adición a la audiometría convencional e impedanciometría.

Electrococleografía.....negatividad de la anterior o dudas sobre el topodiagnóstico de la lesión.

Potenciales de latencia media. Discordancia entre la audiometría subjetiva y objetiva

Es importante reseñar que la audiometría objetiva debe ser siempre un segundo paso después de la convencional y nunca una exploración aislada, ya que en estos casos los errores diagnósticos son muy frecuentes.

Fig. 1



En la parte superior de la figura se pueden ver dos trazados bioeléctricos superpuestos registrados en respuesta a un estímulo sonoro. En la parte inferior el resultado de la promediación de ambos. Compruébese como los componentes que no coinciden en polaridad y fase de ambos trazados se anulan al realizar la promediación.

Fig.2

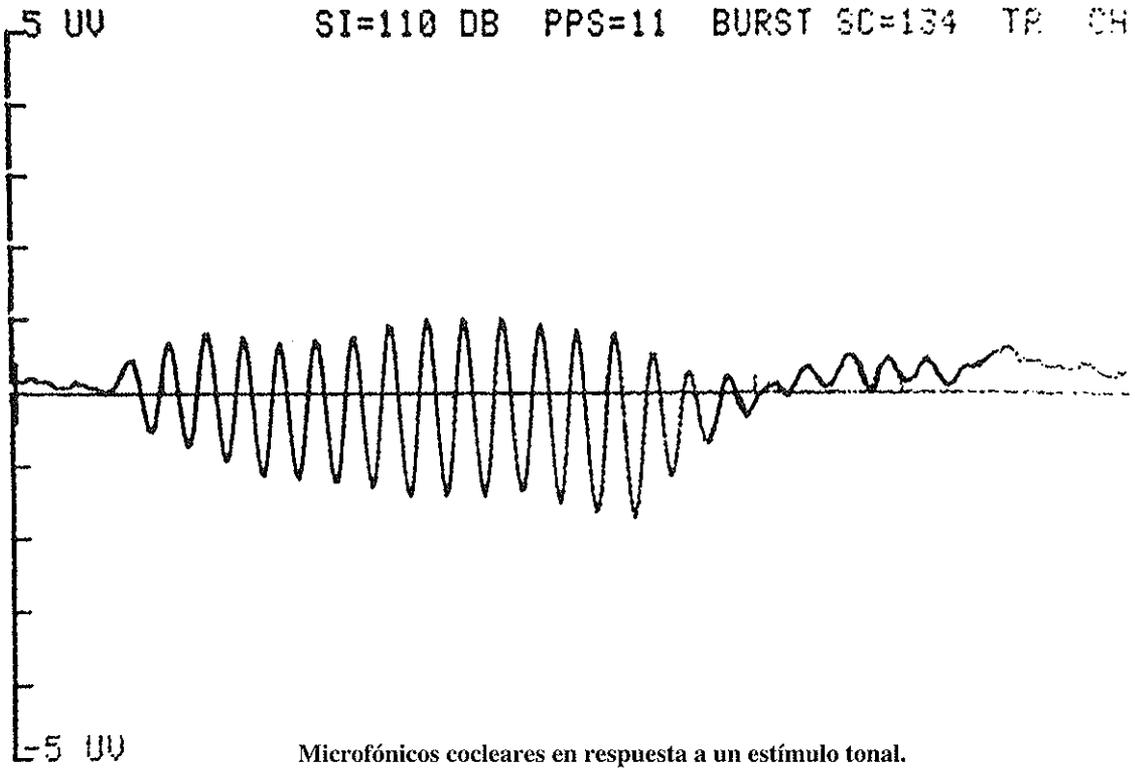
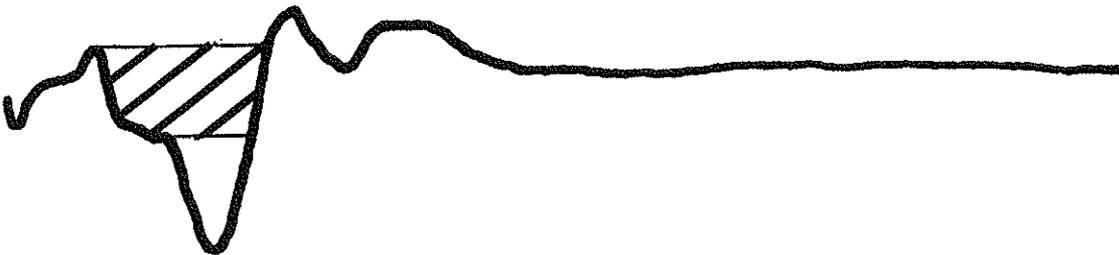
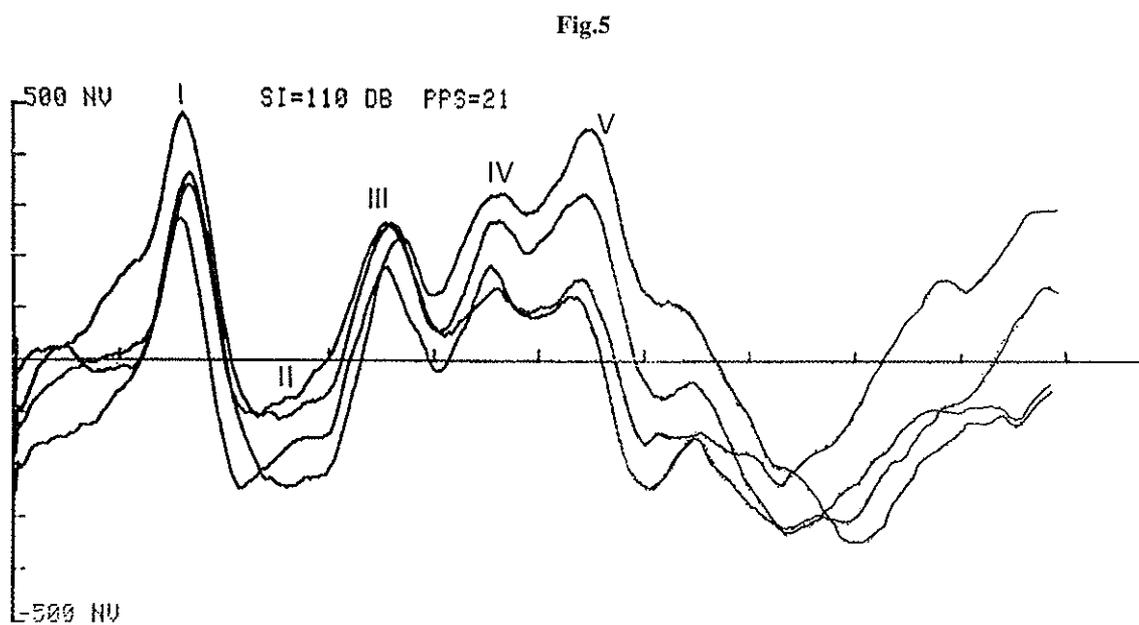
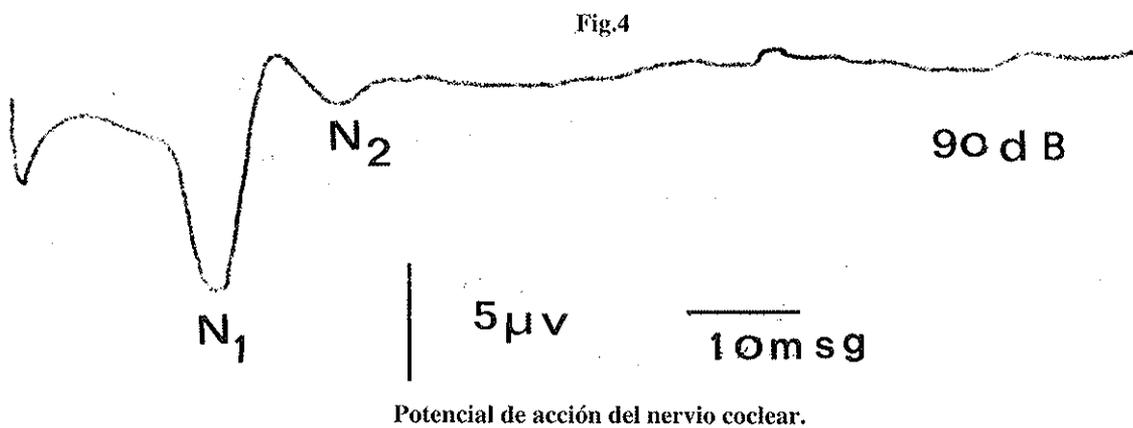


Fig.3

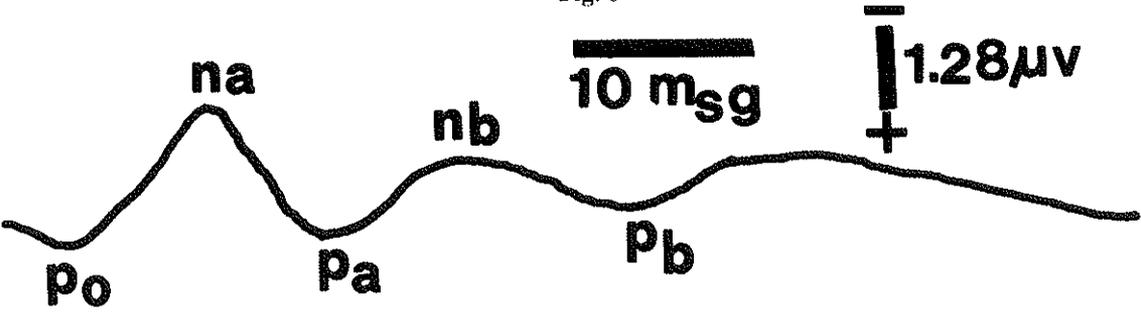


Potencial de sumación conjuntamente con el potencial de acción del nervio coclear. El sombreado corresponde a la participación del potencial de acción en el conjunto de las dos respuestas tal y como en la clínica.



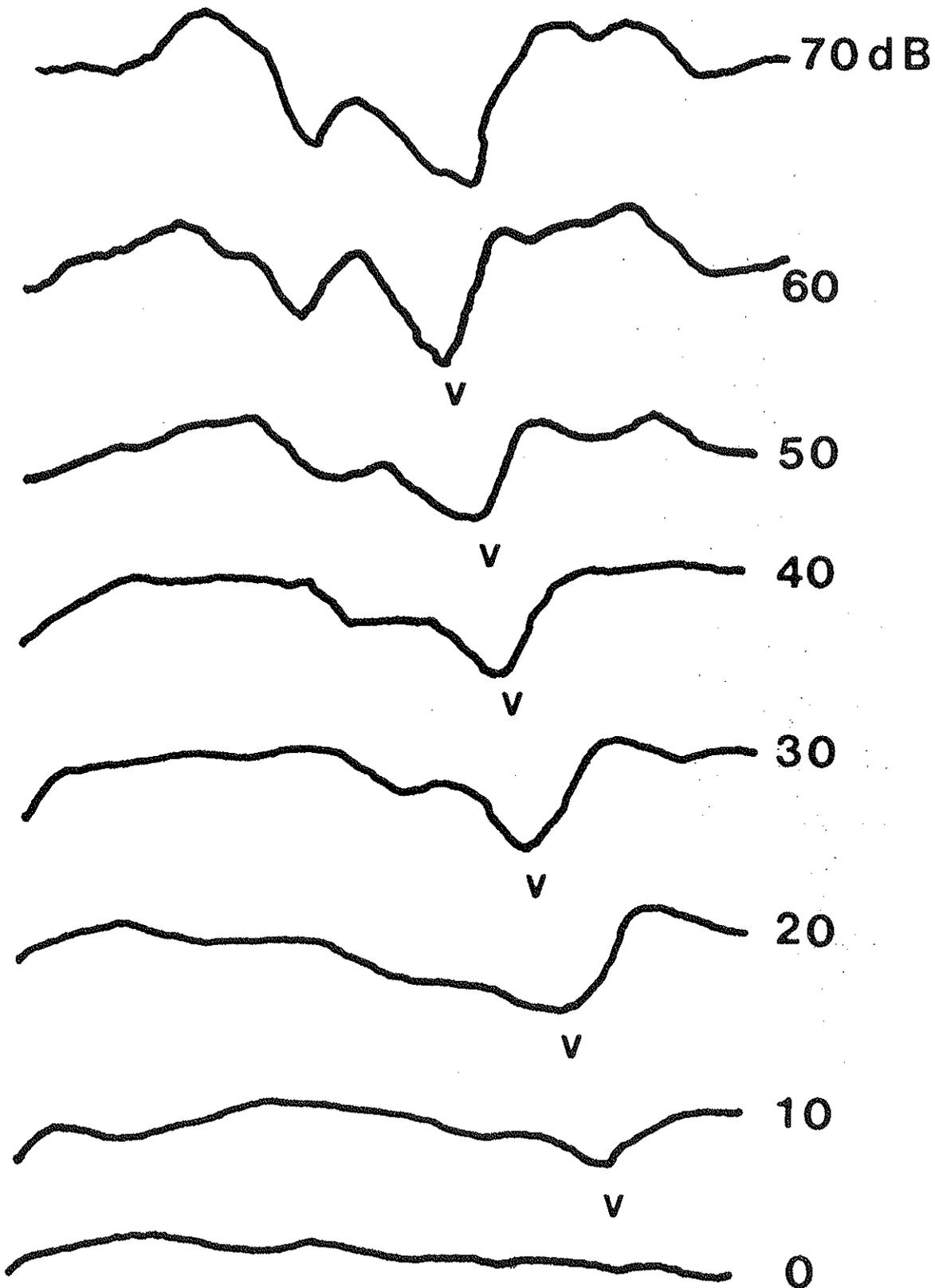
Potenciales del tronco. En números romanos la denominación de las distintas ondas. En la gráfica se pueden apreciar cuatro trazados consecutivos superpuestos.

Fig. 6



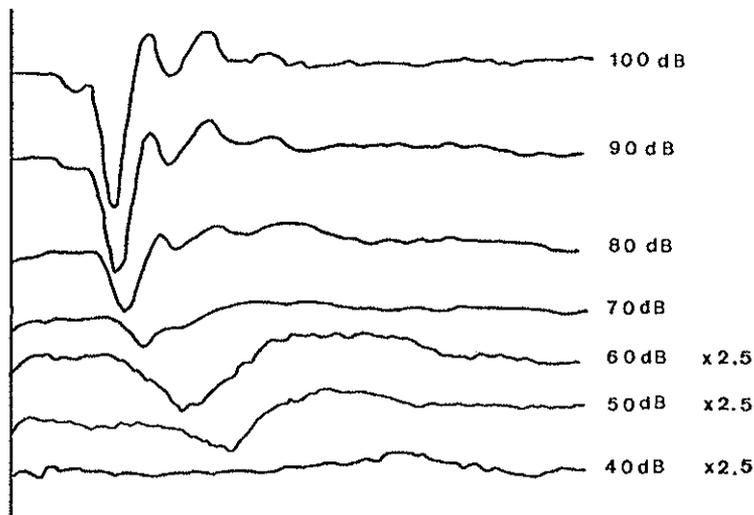
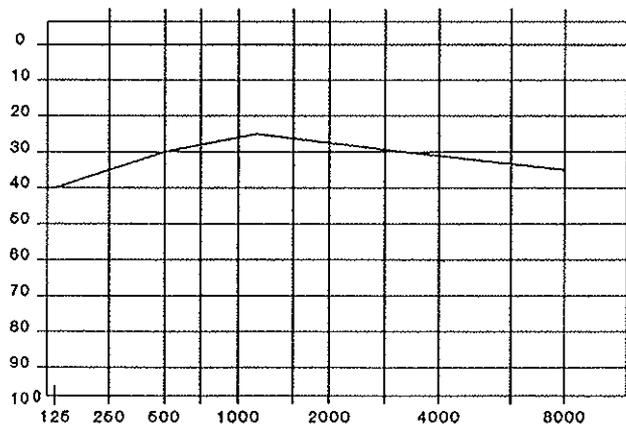
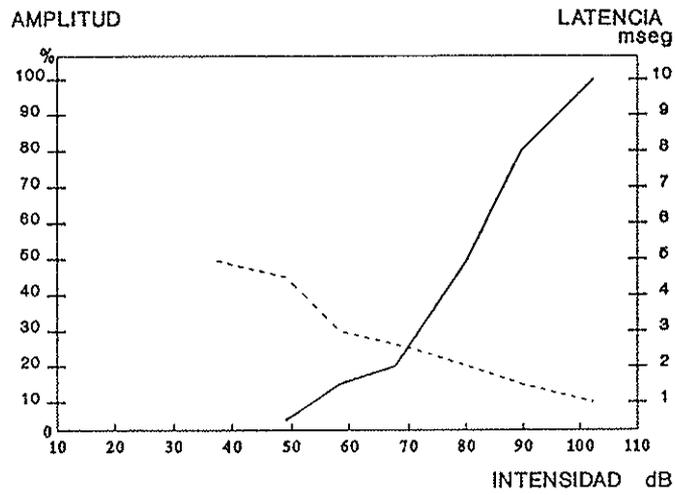
Potenciales de latencia media.

Fig. 7



Determinación del umbral de audición mediante potenciales del tronco. En la figura se pueden apreciar las respuestas a intensidades decrecientes. Compruébese el aumento de la latencia y la disminución de la amplitud al descender la intensidad. La onda V es la más fácilmente identificable en esta condición.

Fig. 8



Determinación del umbral de audición mediante electrocoqueografía. Registro del potencial de acción a intensidades decrecientes.

## **BIBLIOGRAFIA**

- Ciges, M.; Artieda, J.; Sainz, M.; Stíngl de Méndez. Potenciales evocados. Gráficas Anel. Granada. 1992.
- Gibson W.P.R. Essentials of clinical electric response audiometry. Churchill Livingstone. Londres 1978.



**CAPITULO 8**

**TRAUMA SONORO AGUDO**

*D<sup>a</sup>. María Victoria González Méndez*



## TRAUMA SONORO AGUDO

Entendemos por trauma sonoro o acústico toda hipoacusia provocada por ruido. Es, el ruido sin duda, uno de los tributos que el hombre ha de pagar por el progreso, ya que en efecto, los avances de la civilización han ido acompañados por actividades cada vez más ruidosas.

Históricamente, y aunque se conocía desde antes, fue Fosbrouk en 1830 quien publicó un primer trabajo sobre la sordera de los caldereros. Posteriormente, la gran expansión industrial de la segunda mitad del siglo pasado fue la que de forma indirecta hizo que esta entidad morbosa tomara interés.

En 1906, Haberman pudo examinar la autopsia del oído de un anciano calderero, y comprobó histológicamente la existencia de lesiones y modificaciones degenerativas en el órgano de Corti, ganglio espiral y VIII par, que puso en relación con el trauma acústico. Hasta entonces pensaban que estas lesiones más que por el ruido eran producidas por la sífilis, tuberculosis y otras infecciones, y no pensaban que eran producidas por el ruido.

Fue en 1911 que Foehne, publica los resultados obtenidos en la exploración de 61 oficiales de artillería, encontrando un escotoma auditivo selectivo para la frecuencia 4.096 Hz, que hizo que se conociera también a la afección como hipoacusia lacunar. Desde entonces, la enfermedad ha ido en interés creciente, convirtiéndose a veces en una verdadera enfermedad profesional. En el momento presente, el ruido es un serio problema pues rebasa los límites del mundo laboral y lo invade todo: impide nuestro reposo, amenaza nuestra estabilidad psíquica y puede hacernos enfermar.

Bajo el punto de vista social, dividiríamos los ruidos en dos apartados arbitrarios de gran transcendencia real: los ruidos necesarios y los innecesarios. Los primeros son los de la producción industrial y los segundos, los engendrados por los medios que la industria pone en manos de la sociedad de consumo.

Debemos comenzar diciendo que el trauma sonoro se puede dividir en dos grandes grupos: el agudo y el crónico. El resultado patológico de cualquier agresión sonora, es como se puede comprender, una hipoacusia. A estas hipoacusias se las conoce casi universalmente bajo la denominación de "hipoacusias inducidas por ruido". Se reserva, dentro de ellas la expresión "trauma sonoro" para la aguda. La crónica, que será objeto de otro apartado de esta monografía, se confunde con la "hipoacusia profesional".

Para explicar la dinámica de estas lesiones se han tenido en cuenta dos mecanismos de acción: la agresión física o mecánica y el agotamiento metabólico.

Los primeros estudios experimentales que son ya muy antiguos (de Wittmaack y Siebermann) demostraban profundas anomalías en el órgano de Corti, verdaderas destrucciones, luxaciones masivas de ciertas porciones del mismo, lo que hizo pensar en el primer mecanismo. Pero conociendo que el sonido de una u otra forma hace vibrar el elemento receptor, era lógico pensar que una violenta estimulación condujera a vibraciones tan exageradas que supusieran una destrucción. Por otra parte en muchos traumas acústicos hay asociada una importante sobrecarga mecánica como es el caso de las explosiones. En estos casos se producirán lesiones no solo del oído interno, sino también del medio.

El primer mecanismo es el que admitimos en los traumas sonoros agudos.

El TRAUMA SONORO AGUDO caracteriza como hemos dicho a la audición de un sonido intenso y de corta duración.

Etiológicamente pueden ser simples o asociados, siendo estos últimos los que conocemos como blast auricular.

**Patogenia:** Los estudios de esta patología se han centrado en llegar a precisar el mecanismo de acción de

la onda sonora sobre el órgano de Corti, y a tratar de justificar porqué siempre el trauma provoca la hipoacusia en las frecuencias entre 4.000 y 6.000 Hz.

Aproximadamente a 1 hora de la exposición al ruido, aparece un edema de la estría vascular que puede permanecer varios días. SCHUKNECHT (1976) observa modificaciones degenerativas con desaparición de células ciliadas externas del canal coclear en la región comprendida entre 9 y 13 mm a partir de la base.

Ya más antiguamente, se habían propuesto varias teorías para explicar esta predilección topográfica, y Fowler en 1939 dice que esta zona de la cóclea es la menos vascularizada, ya que ahí la arteria coclear, rama de la auditiva interna se bifurca para dar la rama basal y la medio – apical, quedando esta zona con una vascularización más frágil. Esta es la teoría de la irrigación de Larsen.

Conocemos también la hipótesis de Bekesy, que pensaba que ante la onda sonora se produce una onda de líquido que rompe, produciendo un remolino en determinado lugar de la cóclea, que a su vez dependerá de la frecuencia que tenga el ruido estimulante. Ante sonidos de gran intensidad, parece ser que se engendran dos ondas diferentes. Si el sonido es agudo, dicha onda va a ir de la base al apex, y si el sonido es grave, será al revés. El punto de confluencia se sitúa precisamente a nivel coclear, donde se perciben las frecuencias 4.000 a 6.000 Hz.

### CARACTERISTICAS DEL RUIDO TRAUMATIZANTE

Hay que empezar diciendo que el trauma sonoro es casi siempre creado por el hombre. Existen muy pocos ruidos traumatizantes en la Naturaleza salvo los propios de catástrofes naturales.

La onda sonora traumatizante se va a caracterizar por:

- su intensidad,
- su duración,
- su espectro,
- su percepción accidental o repetida,
- su periodicidad en el segundo caso.

Es suficiente, por ejemplo, un ruido de duración muy breve si la intensidad es muy fuerte para determinar un traumatismo sonoro. La fórmula de Wheeler calcula lo nocivo del ruido en función de la intensidad y del tiempo. Su expresión es: déficit auditivo =  $i \times t$ .

Los sonidos puros son muy raros, y lo más común es que los sonidos sean complejos, y que aunque pertenezcan a la gama de sonidos audibles, conllevan a menudo componentes inaudibles en el terreno, ya sea de los ultra o de los infrasonidos. Los primeros son poco nocivos, pero los infrasonidos se muestran muy traumatizantes a intensidades altas, aumentando con la duración de la exposición.

Entre las etiologías más frecuentes están las de los deportistas o traumatismos de aficiones u ocio: tiradores aficionados (tiro a carabina, a fusil, etc). Igualmente los cazadores, aunque sea al aire libre, pero no suelen llevar cascos de protección. La explosión de petardos o cohetes de feria también puede ser una causa relativamente frecuente. Fuertes explosiones pueden cursar la rotura de la membrana del tímpano, e incluso luxación de la cadena osicular del oído medio o hemorragia en el oído interno, es el llamado "blast auricular", que al trauma sonoro suma la onda expansiva, y que no vamos a tratar en este estudio.

La música puede ser así mismo fuente de traumatismos sonoros, sobre todo la música que no es de orquesta y que es ampliada de modo artificial. La primera produce intensidades máximas generalmente inferiores a 100 dB, mientras que los grupos de música moderna, llegan a pasar los 120 dB.

Hay que diferenciar la audición en campo libre o con cascos, siendo con los auriculares tipo "walkman" el riesgo muy marcado.

Existen también los **traumatismos iatrógenos**, antes por los golpes producidos por el escoplo o la gubia quirúrgica y hoy día por las fresas mecánicas, se puede producir un trauma sonoro entre 110 y 120 dB. Hay autores como Palva (1979) que incluso en el oído opuesto a la otitis crónica que se está interviniendo encuentran a veces una pérdida de unos 20 dB en las frecuencias agudas.

El ruido de los aspiradores de oído se ha cifrado entre 100 y 140 dB para los más gruesos. Se han observado algunos traumas sonoros por la simple aspiración de líquido seromucoso.

**FACTORES PREDISONENTES:** Se ha visto en repetidas ocasiones que para que un oído resulte traumatizado, es importantísima la susceptibilidad individual. Un traumatismo sonoro aislado puede provocar trastornos graves en unos sujetos, mientras que en otros no provocará ningún síntoma. El patrimonio hereditario dota a cada individuo de una fragilidad coclear que le es propia. Igualmente, una patología anterior en el oído va a hacer que reaccione de modo diferente a los ruidos.

Anatomopatológicamente, van apareciendo alteraciones finas (a microscopía electrónica) progresivamente

en función de la intensidad, a nivel del citoplasma y de los orgánulos de las células ciliadas.

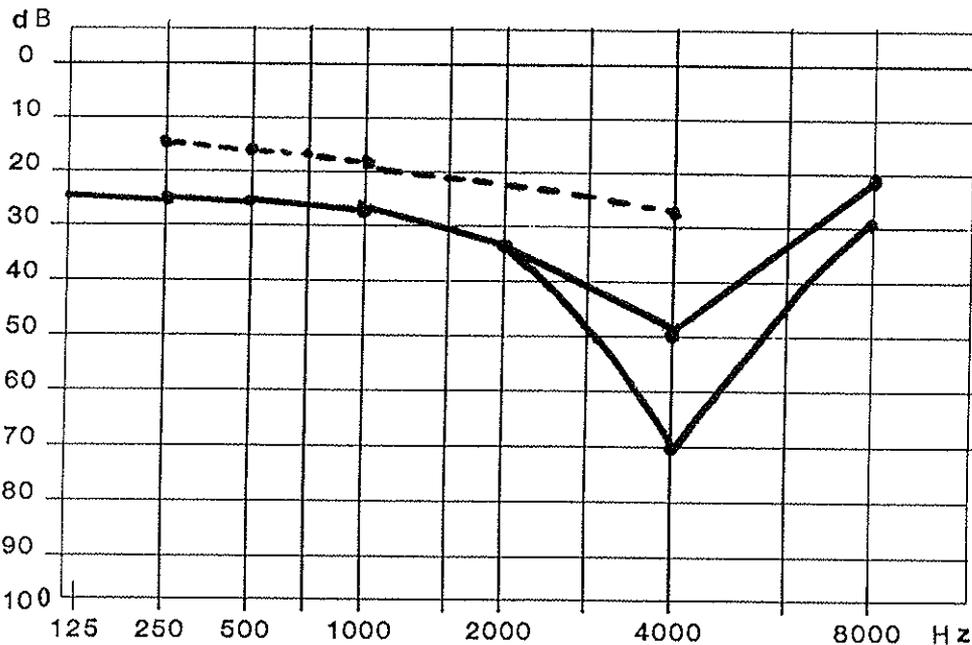
Spoendlin, Lim y Melnick (1971) hicieron un estudio muy preciso a microscopio, en función de la naturaleza de los ruidos y la duración de la exposición.

**CLINICA:** Solo comentaremos en este apartado el blast auricular, ya que tiene datos comunes al trauma sonoro propiamente dicho. Como síntoma principal aparecerá la sordera, la cual es inmediata y sentida de forma dramática por el hecho de su brutalidad. Casi siempre el paciente la nota como total durante los primeros minutos o las primeras horas. Los síntomas que la separan del trauma sonoro aislado son: La otorragia (por la ruptura del tímpano), la otálgia, los acúfenos (que son constantes) y que desaparecen al cabo de varias semanas. Transtornos del equilibrio se observan en un 5% de los pacientes, pero son transitorios. En la audiometría se puede ver una afectación sobre todo de las frecuencias agudas.

En cuanto al tema que nos ocupa, el trauma sonoro, a veces su clínica debuta con *acúfenos*, y la *hipoacusia* no la señala en paciente hasta que la frecuencia 2.000 no empieza a estar afectada. Se suele diagnosticar más tardíamente que las hipoacusias profesionales, ya que no tienen controles sistemáticos de Medicina del Trabajo. A menudo no acuden a la consulta más que cuando a los efectos del trauma se añaden los efectos de la senectud (cazadores, tiradores, músicos, etc).

Su curva audiométrica mostrará una hipoacusia de percepción con una caída fuerte en la frecuencia 4.000 Hz como vimos, que será como una V en proporción directa al traumatismo. (Fig. 1)

Fig. 1



**Imágenes características del trauma sonoro agudo, dependiendo de la intensidad del ruido traumatizante.**

**TRATAMIENTO:** La evolución espontánea de este daño coclear hace a veces que se produzca una recuperación de la hipoacusia y una atenuación de los acúfenos al cabo de varios meses.

En el estadio inicial se pueden prescribir un tratamiento vasodilatador, para favorecer la vascularización del oído interno durante la recuperación y reducir los fenómenos de edema a este nivel. Este tratamiento se debe seguir varios meses. Se han observado a veces recuperaciones al cabo del año. Cuando persisten los acúfenos son la secuela más desagradable.

Igualmente, podemos asociar antiinflamatorios tipo corticoides y complejo vitamínico B.

**PREVENCIÓN:** La protección individual constituye el único medio. Sería indispensable ponerse un casco

anti-ruido para los deportes de tiro. Como se comprende, es difícil convencer a los cazadores de esta prevención, ya que constituiría una pérdida de atractivo de su propia afición. Igualmente sucede con los aficionados a la música, para convencerles que reduzcan el volumen a niveles no nocivos.

Se debe hacer una vigilancia regular de la función auditiva, sobre todo en sujetos cuyos antecedentes familiares muestran una predisposición, para así poder hacer un diagnóstico precoz y limitar los riesgos, sobre todo en los casos de exposición voluntaria.

**BIBLIOGRAFIA.**

CHOBAUT, J. CL. Y LAFON, J.CL. *Traumatismes acoustiques*. Enciclopédie Médico Quirurgicale Française.

CIGES, M. Y LABELLA, T. *Comunicación personal*.

POTMANN, M. Y PORTMAN, CL. *Audiometría clínica*. Barcelona



**CAPITULO 9**

**TRAUMA SONORO CRONICO  
SORDERAS PROFESIONALES**

*D.<sup>a</sup> Matilde Sánchez Garzón.*



## **TRAUMA SONORO CRONICO. SORDERAS PROFESIONALES.**

### **TRAUMA SONORO CRONICO**

El trauma sonoro crónico es el resultado de una agresión sonora. Hoy día es muy frecuente y tiene gran interés debido a la sordera profesional, ya que a medida que aumenta la industrialización, es cada vez más frecuente y plantea muchos problemas médico-legales.

"DEFINICION DE SORDERA PROFESIONAL".- Se entiende como tal un trastorno de la audición determinado por las condiciones habituales de trabajo. Esto excluye toda sordera producida por accidente de trabajo.

Una etiología un poco particular es la ligada a la actividad militar.

### **ETIOLOGIA**

**PRODUCTOS TOXICOS:** Se han señalado, en efecto, los déficits favorecidos por la atmósfera química en la cual trabajan algunos obreros. Así los gases de combustión y de escape pueden alcanzar un tenor bastante elevado en productos tóxicos, tal como el gas carbónico que afectan al VIII par y dan lugar a una sordera de percepción pura, con caída en las frecuencias agudas.

**RUIDOS:** Es lo que más a menudo produce sordera profesional. Esta corresponde la mayoría de los casos al **TRAUMA SONORO CRONICO**.

El trauma sonoro entra en el gran número de los casos en el vasto cuadro de la **ADAPTACION** y de la **FATIGA**. Si la **ADAPTACION** puede ser considerada como un mecanismo protector del aparato auditivo. La **FATIGA** es ya la consecuencia de una alteración celular momentánea y el **TRAUMATISMO SONORO CRONICO** es el estado irreversible del mismo fenómeno. Su aparición está ligada:

- A.- La influencia de las cualidades físicas del ruido traumatizante.
- B.- Factores individuales.

#### **A.- INFLUENCIA DE LAS CARACTERISTICAS FISICAS DEL RUIDO TRAUMATIZANTE:**

Las características físicas del ruido traumatizante son:

1.- Las cualidades del sonido:

**INTENSIDAD**

**FRECUENCIA**

**RITMO**

2.- La duración del ruido.

3.- Influencia de las condiciones materiales del trabajo.

#### **1.- CUALIDADES DEL SONIDO:**

**INTENSIDAD.** Se considera traumático todo ruido superior a los 80-85 dB. Generalmente los límites de las industrias ruidosas se sitúa entre los 90-135 dB. El nivel crítico según HOOD es del orden de 90 dB.

**FRECUENCIA.** Los ruidos agudos son más nocivos que los graves. En realidad, la mayoría de las industrias tienen ruidos agudos y graves.

**RITMO.** Un ruido discontinuo, intermitente es más nocivo que uno continuo regular.

2.- DURACION DEL RUIDO: Juega un rol muy importante que condiciona prácticamente las sorderas profesionales. Es necesario un tiempo de exposición para que se produzca un trauma sonoro crónico. Ese tiempo es variable según las circunstancias. Una exposición cotidiana de muchas horas durante años va a crear progresivamente "Lesiones definitivas".

3.- CUALIDADES AMBIENTALES DE TRABAJO: En locales cerrados y con fuerte reverberación, la acción del ruido es más nociva, que si el trabajo se realiza al aire libre, o en grandes locales, o si existe cierta amortiguación en ellos.

Las paredes lisas y rígidas reflejan el sonido, mientras que si están recubiertas de material blando o presentan irregularidades se evita la reflexión sonora.

#### B.- FACTORES INDIVIDUALES:

1.- LA EDAD. Es el factor más importante pero el más variable. En general el aparato auditivo se muestra más vulnerable después de los 40 años. El oído es más frágil a partir de esta edad.

2.- Enfermedades del oído antiguas: Estas juegan un rol importante en la predisposición al trauma sonoro, a pesar de que las conclusiones de numerosos trabajos efectuados sobre estos sujetos sean bastante contradictorios (SIEBELMANN, TAMKIN, PEYSER). Existen, no obstante algunas reglas generales:

\*\* Las lesiones del oído interno favorecen las lesiones profesionales.

\*\*La otosclerosis con fuerte predominio de percepción u operada predispone al trauma sonoro. Por contra las sorderas de transmisión protegen el oído interno de los efectos nocivos del ruido. Aunque esto es muy discutible hoy día (1).

3.- SUCEPTIBILIDAD individual: ciertos sujetos presentan cierta "Hipersensibilidad innata, mal conocida que es difícil de prevenir y de poner en evidencia (2)

#### MECANISMO DE ACCION

El mecanismo de producción de esta hipoacusia es semejante al trauma sonoro agudo, pero en este no podemos invocar un mecanismo meramente traumático sino más bien de "Naturaleza Bioquímica".

Las distintas fases del metabolismo, de las células ciliadas, se ven alteradas por la excesiva exposición al ruido, es lo que llamamos "Agotamiento Metabólico".

La célula ciliada del Organismo de CORTI, que es sobre la cual va a actuar el sonido, como todas las células del organismo, es un auténtico laboratorio en donde se producen una serie de reacciones químicas, de carácter anabólico y catabólico. Tales reacciones son comunes a las de toda célula viva, pero además, muchas de ellas están implicadas en el fenómeno auditivo y muy concretamente en la transformación de la energía mecánica que es el sonido, en energía eléctrica o impulso nervioso. Actualmente, no se conocen bien, ni los fenómenos metabólicos que tienen lugar en el seno de la célula ciliada en actividad como elemento vivo y primera unidad estructural, ni los fenómenos específicamente relacionados con la función auditiva.

Es lógico pensar, que la célula ciliada en actividad consume una energía, por lo que debe disponer de elementos energéticos. También, que debe atender a la recuperación de sus elementos gastados. Todo ello requiere un complejo proceso químico a nivel celular. Cuando la estimulación sea sostenida, hay que admitir una FATIGA sino dispone la célula de los períodos necesarios de reposo y a la larga, un auténtico daño que puede ser irreversible. No podemos olvidar que la célula sensorial del Organismo de CORTI es una célula nerviosa y como tal, incapaz de regeneración.

La dinámica clínica de la hipoacusia inducida por ruido, apunta claramente hacia el mecanismo de agotamiento metabólico que estamos comentando.

Cuatro fases podemos estudiar desde la estimulación fisiológica al trauma sonoro:

- 1) Adaptación auditiva.
- 2) Cambio temporal del umbral: Fatiga Auditiva de Grado I.
- 3) Cambio persistente del umbral: Fatiga Auditiva de Grado II
- 4) Cambio permanente del umbral: Trauma Sonoro.

1) La primera fase es completamente normal y en todos los órganos sensoriales se observa. Afecta a las frecuencias vecinas al sonido estimulante, inmediatamente inferiores y superiores y está en relación con la "Ley de Weber-Fechner" válida para todos los órganos sensoriales. La ADAPTACION pasa prácticamente desapercibida al sujeto y se recupera inmediatamente.

2) Cambio temporal del umbral o FATIGA grado I. Es la disminución de la agudeza auditiva que tiene

lugar solo ante estimulaciones intensas y sostenidas. Es fisiológica y a diferencia de la ADAPTACION se detecta perfectamente a nivel subjetivo.

Si el estímulo se reitera hasta el punto de impedir el reposo suficiente se pasa al siguiente estadio.

3) Cambio persistente del umbral. FATIGA auditiva grado II. Durante esta fase no existe una hipoacusia permanente, pero los valores temporales de recuperación no pueden considerarse normales. No obstante es difícil precisar, cuando termina la FATIGA fisiológica y cuando empieza la patológica. Se ha considerado arbitrariamente que el límite debe situarse en las 40 horas. A esta situación se podrá llegar por un doble camino:

- Por una sobreestimulación
- O por debilidad constitucional.

Las pruebas audiológicas de FATIGA, permiten precisar esta eventualidad.

Si la sobreestimulación se mantiene, podrá llegarse a una falta permanente de recuperación, es decir a una hipoacusia y llegaremos pues a la cuarta fase, "Trauma Sonoro Crónico" (1).

## ANATOMIA PATOLOGICA

Las lesiones varían en función de la intensidad y la duración del ruido.

\*Con una sola exposición de 130-138 dB, durante un minuto, aparecen importantes Lesiones Estructurales. Lo mismo ocurre para una exposición menor de 125 dB, durante más minutos.

\*Después de una exposición de 110 dB durante 24 horas, existen alteraciones Metabólicas esencialmente que pueden dar lugar a una disminución de la función coclear.

La intensidad de 120-125 dB parece situar el límite del tipo de lesión.

### 1.- Lesiones Estructurales Inmediatas:

Estas lesiones se sitúan de forma máxima a nivel de la espira basal a una distancia de 8 a 11 mm de la ventana redonda (Ch. W. STOCKWEL et coll)

El Organó de Corti presenta importantes deformaciones:

- Las células ciliadas externas presentan paredes irregulares y deformadas.
- Los cilios presentan fuerte inclinación como si estuviesen rotos y siempre en la misma dirección, hacia el exterior.
- Las dendritas situadas en la base de las células ciliadas internas están netamente aumentadas de volumen.
- La lámina que tapiza la pared inferior de la membrana basilar desaparece casi completamente.
- Las células ciliadas internas son expulsadas al espacio endolinfático.

De forma general podemos decir que las alteraciones se presentan esencialmente sobre las estructuras altamente diferenciadas y que las células de soporte están relativamente intactas.

### 2.-Lesiones estructurales Tardías:

Hacia el cuarto día aparecen las lesiones de DEGENERACION, particularmente en las células ciliadas externas que tienden a desaparecer. Las células ciliadas internas persisten. Las fibras nerviosas cocleares están afectadas por los procesos de degeneración. Las lesiones de los cilios sensoriales persisten.

## CLINICA

I.-ASPECTOS CLINICOS. Signos Subjetivos:

a) En los primeros días de exposición al ruido, el sujeto presenta al terminar la jornada laboral:

- Acúfeno agudo.
- Sensación de oído ocupado
- Sensación de lasitud y fatiga intelectual.

Estos fenómenos desaparecen progresivamente con el reposo, más adelante se hace continuo.

-Un fenómeno de adaptación persiste de forma intermitente, sobre todo presente a la salida de un medio ruidoso y se atenúa o desaparece con el reposo.

b) A continuación comienza un segundo período llamado de LATENCIA, donde el solo signo objetivo es el ESCOTOMA sobre la frecuencia 4000 H. (Fig. 1), pero que no tiene o sólo muy poco de traducción subjetiva:

- Acúfeno agudo intermitente.
- Pequeñas distorsiones de la selectividad en el ruido.
- Pequeños fenómenos de distorsión al escuchar la música.

Este período puede ser más o menos largo, muchos meses, muchos años según los individuos.

Después, progresivamente, las distorsiones de la selectividad aumentan y acarrear una molestia de la inteli-

gibidad más y más marcada, sobre todo para la voz cuchicheada (Fig. 2)

– Los acúfenos reaparecen y se hacen más intensos.

Generalmente estas distorsiones tienden a atenuarse con el reposo y serán menos marcadas los lunes por la mañana, a la entrada al trabajo.

c) Al final de un nuevo lapso de tiempo:

– Una hipoacusia marcada, se instala, dando lugar a una molestia social importante.

– No es raro, que el sujeto se queje particularmente de sus acúfenos. Una estabilización de todos estos fenómenos tiende a aparecer con la retirada definitiva del medio ruidoso.

## II.- ASPECTO AUDIOMETRICO:

El examen audiométrico tonal, es indispensable. Pone de manifiesto el "ESCOTOMA bilateral y simétrico a nivel de los 4000 Hz", signo característico de la sordera profesional (Fig. 3).

Este examen permite afirmar que se trata de una hipoacusia de percepción de origen endococlear:

– Las curvas aéreas y óseas se confunden.

– Los fenómenos de reclutamiento están presentes.

La importancia del ESCOTOMA a nivel de los 4000 Hz está en función del grado de agresión.

Este aspecto audiométrico se va a modificar progresivamente con la evolución. Progresivamente, el "escotoma" inicial se va a extender como la mancha de aceite (Fig. 4): La frecuencia 8000 Hz estará poco a poco afectada. Igualmente la frecuencia 2000 Hz se elevará progresivamente. En un cierto tiempo, la frecuencia 500 Hz estará igualmente afectada. Es decir la V del escotoma se va abriendo con el tiempo.

## III.- EVOLUCION

La agravación progresiva de la sordera por trauma sonoro se para cuando se retira al individuo del medio sonoro que es el traumatizante. Este hecho constatado audiométricamente seis meses después de cesar la actividad profesional traumatizante es considerado como un elemento importante de diagnóstico. Existen indiscutiblemente Formas Evolutivas diferentes que las vamos a estudiar en el capítulo de las formas clínicas.

## FORMAS CLINICAS:

Un cierto número de variantes clínicas y audiométricas con respecto al esquema que acabamos de establecer, son posibles. Estas formas las podemos agrupar siguiendo tres aspectos:

1.- Audiométrico.

2.- Evolutivo.

3.- Militar.

1.- FORMAS AUDIOMETRICAS: Se caracterizan por una modificación del esquema habitual, un poco individualizado.

a) Forma de Predominio Unilateral. Se da ante todo en los pilotos de aviación, debido a la situación física del asiento del piloto, en los cazadores y tiradores de fusil, en estos últimos predomina sobre todo en el oído opuesto al lado del hombro donde se ponen el fusil.

b) Forma sin Escotoma (descrito por G. CERVELLERA y A. CARDUCCI), caracterizado por una alteración concomitante de frecuencias 2000, 4000 y 8000 Hz con curva audiométrica aplanada hacia la derecha (Fig. 5).

c) Forma con Escotoma sobre la frecuencia 1000 Hz. Aparece con ciertos ruidos donde los componentes acústicos son muy particulares, como los reactores.

2.- FORMAS EVOLUTIVAS: Este grupo representa la HIPOACUSIA por trauma sonoro que va a continuar agravándose después de retirar al sujeto del medio ruidoso.

Es comúnmente admitido que después de retirar al individuo del medio ruidoso la hipoacusia por trauma sonoro se establece y no evoluciona más. De hecho, la Ley sobre las "Sorderas Profesionales" no reconoce el derecho a esta categoría si existe una agravación en los tres meses que siguen a la retirada del medio ruidoso. Esto parece ser que debe revisarse en función de un cierto número de argumentos.

"Sobre el plano Clínico", la agravación después de la retirada del medio ruidoso es una constatación relativamente frecuente, no solamente en sujetos de edad avanzada donde se puede poner en duda el que sea debido a una PRESBIACUSIA asociada (Fig. 6), sino también en sujetos menores de 40 años.

"Sobre el plano de la Investigación Experimental" una estabilización después de parar el trauma sonoro no ha sido demostrado totalmente.

Actualmente se admite que las lesiones cocleares realizan un proceso degenerativo sucesivo a cambios metabólicos y por tanto sobre las células ciliadas externas, después las internas, las fibras nerviosas y el gan-

glio de Scarpa. No está prohibido pensar y además es una "Noción de fisiología nerviosa conocida: que esta degeneración prosiga hacia los centros, disminuyendo el potencial de integración del mensaje auditivo.

El hecho comúnmente admitido de la intervención de factores sobreañadidos para explicar la agravación no modifica los aspectos del problema de forma muy importante. En efecto, parece lógico pensar, al contrario, y al menos en un cierto número de casos, que el TRAUMA SONORO no ha encontrado su plena evolución que parece que existe en particular en un "Suceptibilidad" auricular; pero es igualmente difícil de poner en evidencia.

3.- FORMAS MILITARES: Estas formas se dan esencialmente en los jóvenes reclutas del servicio militar, sometidos a ejercicios de tiro de instrucción. Han sido bien estudiadas por P. PAZAT y P. GRATEAU. Se trata sobre el plano etiológico, de una exposición brutal y a menudo intensa, sobrevenida, bastante a menudo, en medio cerrado.

La tabla o alteración funcional está representada por la triada:

\* Otaglia fugaz.

\* Acúfeno agudo.

\* Hipoacusia.

De los tres elementos solo persiste el acúfeno, el cual es a menudo mal tolerado, agravado por el ruido. En estas formas el porcentaje de asimetría para el escotoma sobre los 4000 Hz es relativamente frecuente, alrededor del 19%, igualmente el de una alteración unilateral es muy frecuente 41% (P. GRATEAU).

### DIAGNOSTICO DE SORDERA PROFESIONAL

El diagnóstico se basa en los siguientes elementos:

- \*\* Existencia del escotoma sobre los 4000 Hz.
- \*\* Presencia de recruitment a nivel de las frecuencias dadas.
- \*\* El déficit bilateral y, el más a menudo, simétrico.
- \*\* La alteración del tipo de percepción pura.
- \*\* La mala discriminación en audiometría vocal.
- \*\* La irreversibilidad de las lesiones.
- \*\* La no evolución después de la retirada del medio ruidoso.

Mientras tanto, las dificultades pueden aparecer: J.E. FOURNIER señala, entre otras, que la sordera por trauma craneano del tipo de conmoción laberíntica y la sordera por senectud son muy parecidas, y que sólo la evolución puede permitir tener una opinión: La sordera por trauma tiende a regresar, la Presbiacusia evoluciona por ella misma y el Trauma Sonoro se estabiliza. No obstante hay que tener en cuenta, como ya lo hemos visto en el capítulo de las formas clínicas:

-Que el escotoma sobre los 4000 Hz que se cree es el signo patognomónico del trauma sonoro, puede faltar en algunos casos.

-Que puede igualmente existir una alteración netamente asimétrica.

-Que la sordera profesional es posible que evolucione después de retirar al individuo del medio ruidoso.

### TRATAMIENTO

El tratamiento curativo de una sordera profesional instalada, es ilusorio e ineficaz. La sola solución es el DIAGNOSTICO PRECOZ que nos permite retirar al individuo del medio ruidoso que es la solución ideal. Pero esto no siempre es posible, pues algunos individuos no aceptan, con frecuencia, cambiar de profesión.

Podemos tratar de limitar la evolución de la sordera administrando vitamina A asociada a ácido fólico, pero no es seguro que sea eficaz.

En realidad la terapéutica de la sordera profesional es únicamente preventiva (4).

### TRATAMIENTO PREVENTIVO

Comienza con el reconocimiento previo, mediante estudio audiométrico de los candidatos a trabajar en medio ruidoso. Parece indispensable eliminar de este medio de trabajo a todos los individuos que presentan ya en la audiometría previa, signos de afectación coclear, sobre todo si se trata de gente joven. Igualmente hay que rechazar a los individuos que hayan tenido tratamiento previo con estreptomomicina o con medicamentos análogos y personas que presenten una sordera hereditaria.

En realidad, lo más difícil es poner de manifiesto la suceptibilidad individual, puesto que por una parte se necesitan unos medios de estudio muy sofisticados, que el médico de medicina del trabajo, no tiene normalmente y por otra parte la dificultad real que existe para ponerla de manifiesto puesto que la fatiga auditiva varía no solamente de un individuo a otro, sino en un mismo individuo de un momento a otro (H. DAVIS).

Para analizar la susceptibilidad individual al ruido tenemos la "Prueba de PEYSER" o cualquier otra variante. Esta prueba consiste en determinar el UMBRAL de audición a 1000 c/seg. Se estimula por vía aérea dicha frecuencia de 1000 Hz a 100 dB durante 3 minutos, reposo de 15 seg. y nueva obtención del UMBRAL de la misma forma:

–Se considera NORMAL, cuando el umbral obtenido tras el reposo varía entre 0 y 5 dB del obtenido previamente.

–Los individuos que acusan una pérdida de más de 10 dB, se considera que tienen una hipersensibilidad al ruido, por lo que deben ser apartados del trabajo en el medio ruidoso al que aspiran.

–Los sujetos que acusan una pérdida entre 5 y 10 dB se consideran dudosos, por lo que hay que vigilarlos mediante control más estricto del habitual. Normalmente debe hacerse un control periódico de los sujetos que trabajan en medios ruidosos cada seis meses, si antes no existe ninguna manifestación clínica.

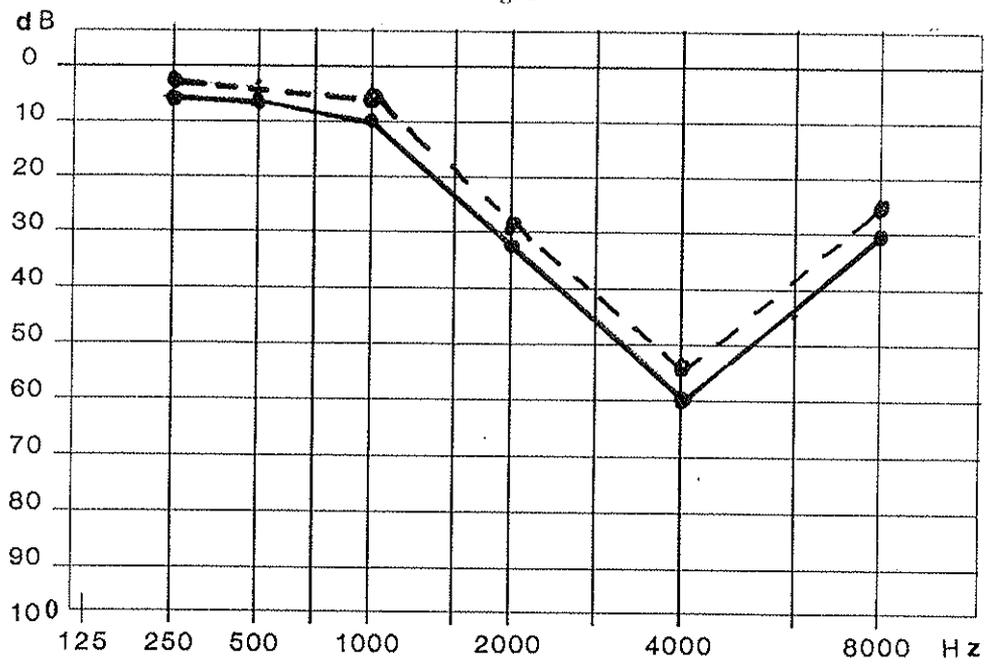
Hoy día se dispone de audiómetros automáticos que nos permiten realizar la exploración de un gran número de sujetos en un corto espacio de tiempo, mediante la realización de una audiometría colectiva, que se conoce como el Test de Boston.

Las medidas de protección deben ser individuales y colectivas.

En cuanto a las individuales, estas van a depender de la intensidad del ruido ambiente, pues para pequeñas intensidades (80-90 dB) podrá ser necesario unos tapones especiales de oído hechos de celulosa sintética que aíslan entre 15 y 20 dB, o tapones de algodón empapados en vaselina o parafina. Para medios de trabajo con intensidades mayores, serán necesarios cascos protectores especiales cuya capacidad aislante es mayor. Estos suelen llevar una lámina de plomo y al ajustar perfectamente al oído, suministran una protección más eficaz.

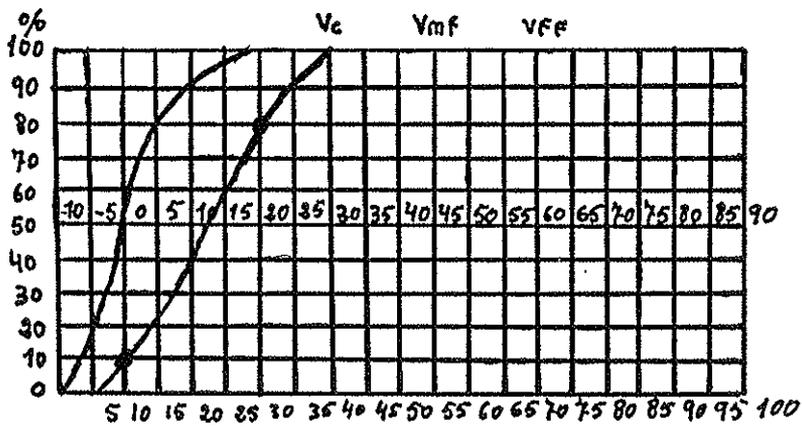
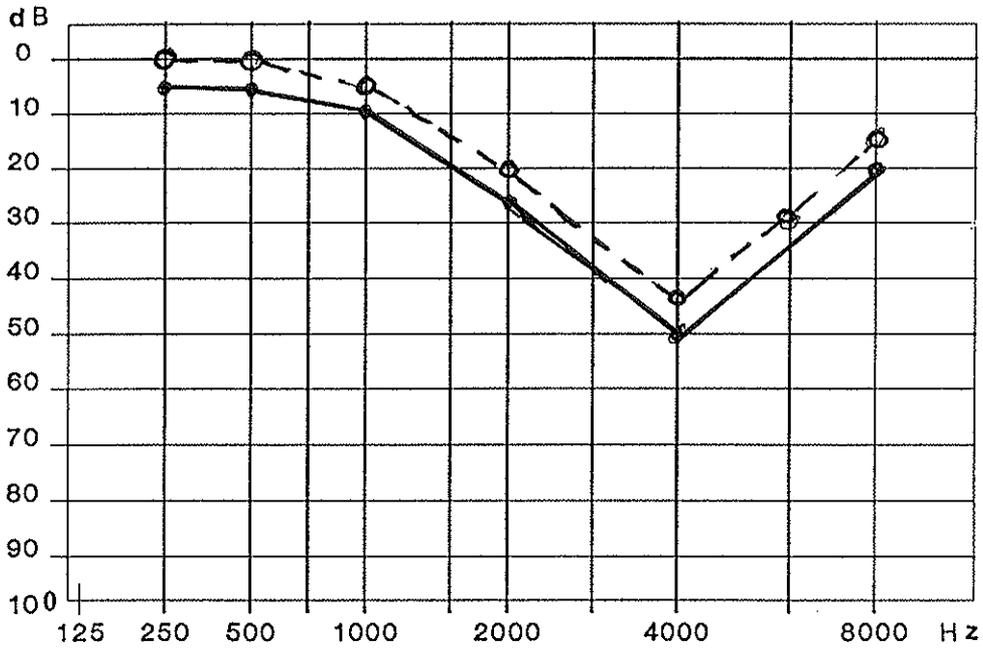
En cuanto a los medios colectivos, estos suelen ser de tipo tecnológico y suelen rebasar las posibilidades reales del médico, porque caen dentro del campo de la ingeniería y la arquitectura. Sólo mencionaremos que los locales ruidosos deberán ser amortiguados con diferentes medios, como pueden ser el colocar cortinas sobre las paredes o recubrirlas de algún material acolchado para evitar la reverberación del sonido, de esta manera se puede insonorizar la sala. Por otra parte debemos aislar las máquinas ruidosas con corazas protectoras y separar estas lo más posible del local de trabajo, etc.

Fig. 1



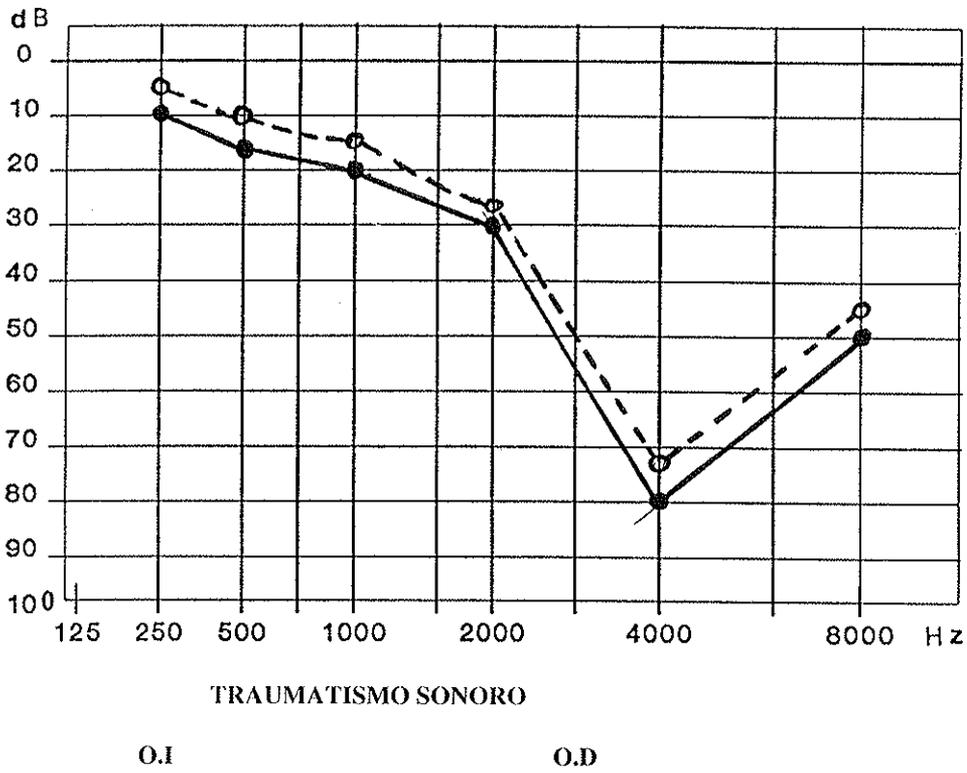
Escotoma en la frecuencia 4000 Hz patognomónico de SORDERA PROFESIONAL.

Fig. 2

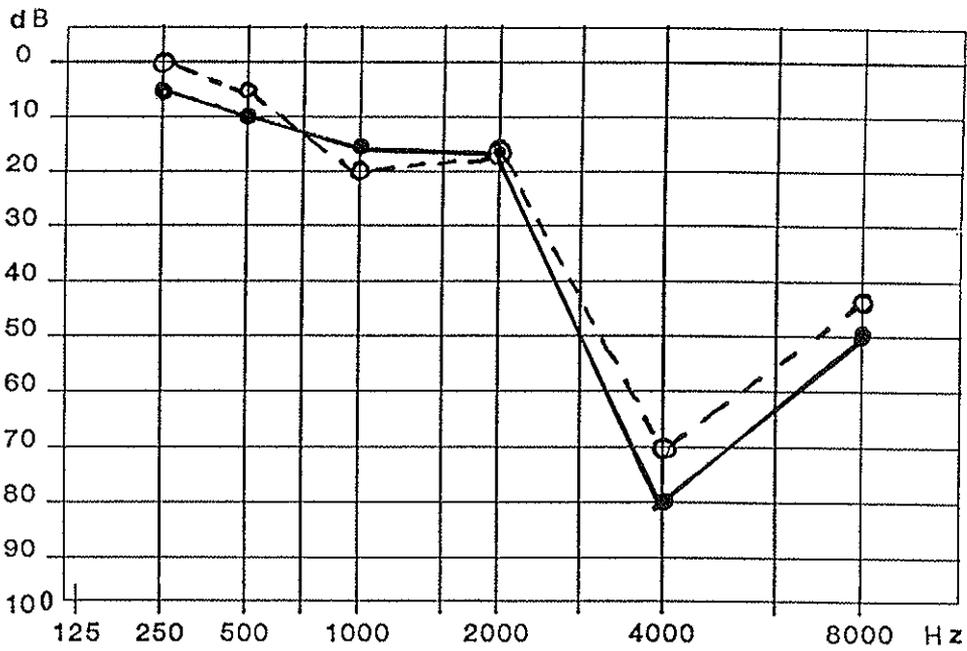


Deficit de inteligibilidad. Se observa como la curva se va aplanando en forma de campana.

O. I



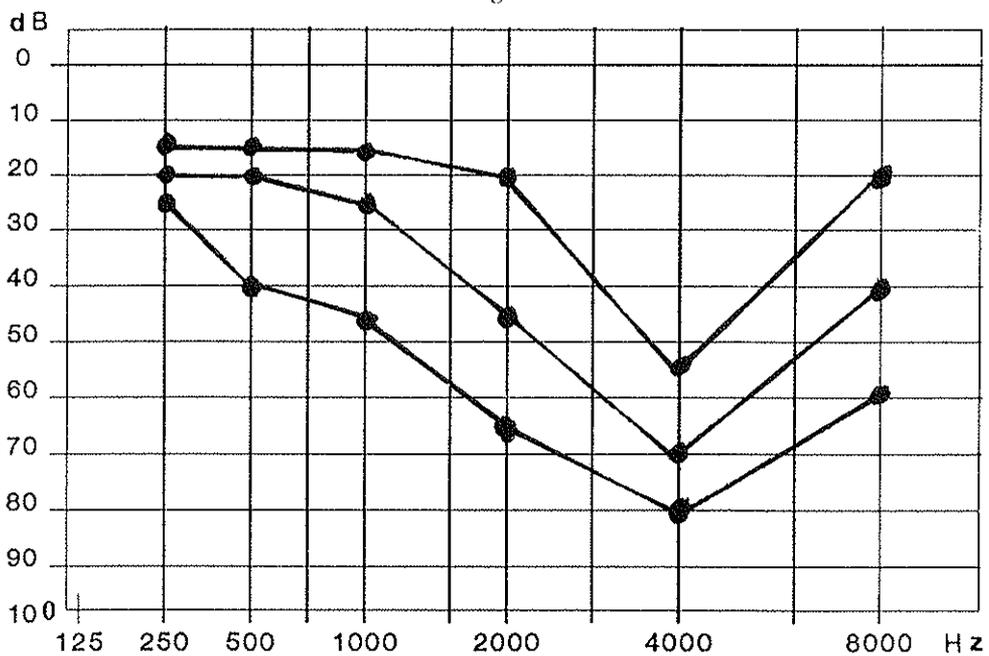
O. D



Escotoma bilateral y simétrico a nivel de los 4000 Hz.

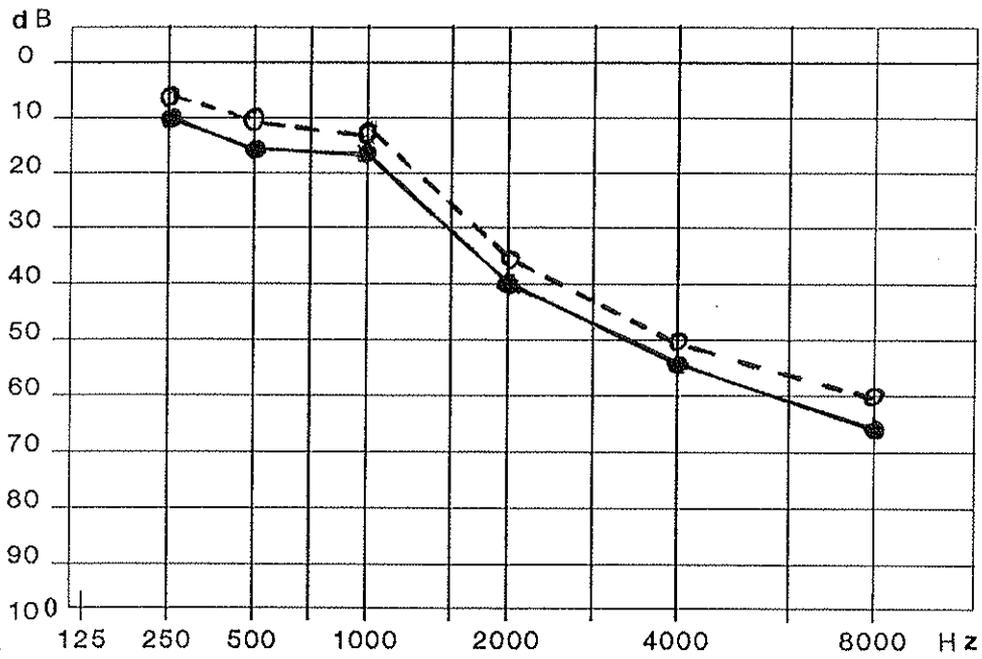
Fig 3.

Fig. 4



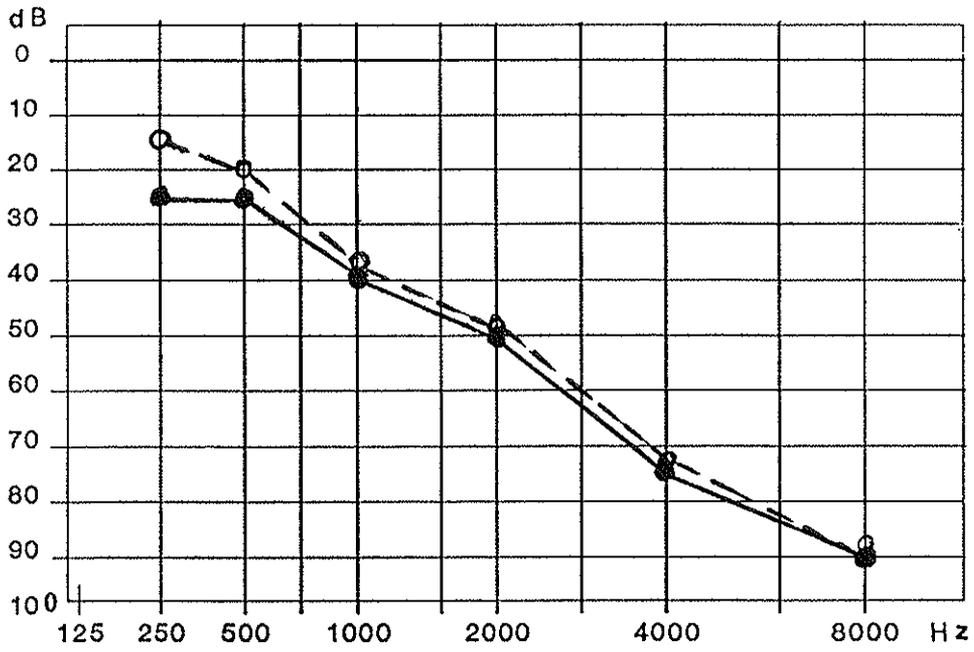
Escotoma extendiéndose como la mancha de aceite. La V del escotoma se va abriendo haciéndose cada vez más ancha.

Fig. 5



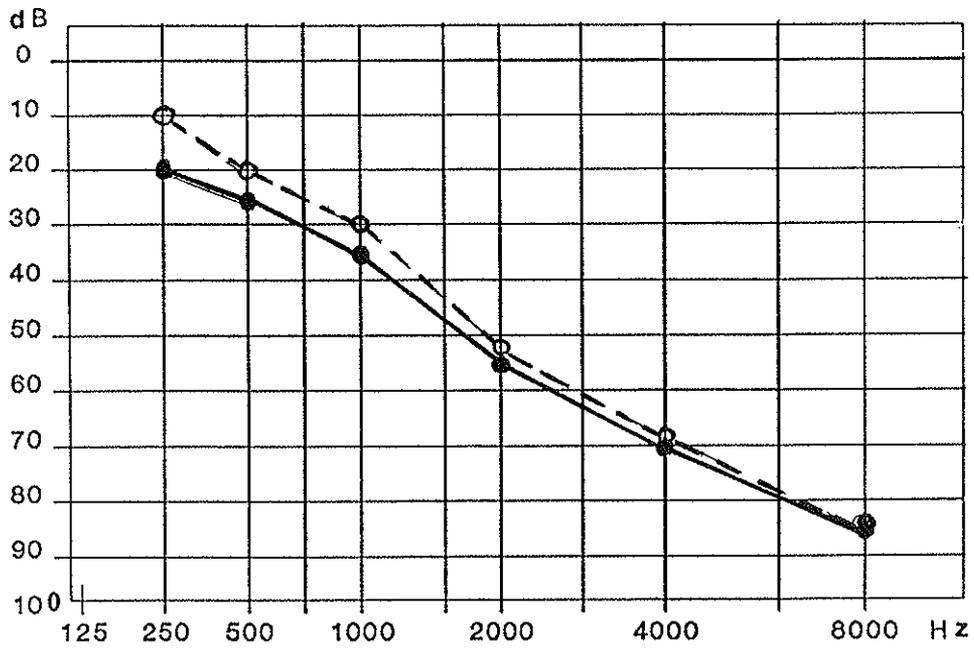
Forma sin escotoma. Alteración concomitante de las frecuencias: 2000, 4000 y 8000 Hz.

O.I



O.D

Fig. 6



PRESBIACUSIA

O.I

O.D.

Presbiacusia

## **BIBLIOGRAFIA**

LABELLA, T. Y CIGES, M.: *"Bioquímica del trauma sonoro"*. Comunicación personal.

PORTMANN, M. Y BEBEAR, J.P.: *Traumatismes acoustiques. Ency. Méd. Chir. PARIS. Oto-Rhino-Laryngologie*, 2- 1975, 20185<sup>10-10</sup>

PORTMANN, M. Y PORTMANN, C.: *Interés de la audiometría en medicina legal e industrial. Audiometría clínica*. 3ª edición. Ed. Toray-Masson, s.a.; 245-247.1979

PIALOUX, P.; GAVIGNEAUX, A. et RAINVILLE, H.J.: *Surdités professionnelles. Ency. Méd. Chir. Paris. Oto-Rhino-Laryngologie*, 1 -1974, 20199<sup>A-10</sup>



**CAPITULO 10**

**EPIDEMIOLOGIA DE LA SORDERA PROFESIONAL.  
CASOS PRACTICOS**

*D.<sup>a</sup> Dolores Soto Barragán*



## **EPIDEMIOLOGIA DE LA SORDERA PROFESIONAL.**

### **PROTOCOLOS DE INVESTIGACION. CASOS PRACTICOS.**

Este estudio que se realizó en el año 92 en la provincia de Granada, en el C.S.H.T. de dicha ciudad, fué dirigido a las empresas que entraban dentro de la clasificación nacional de actividades económicas, con el epígrafe 31. (Figura 1).

El estudio duró cuatro meses y consistió en investigar el factor de riesgo "Ruido", a través de una encuesta específica que se le pasó individualmente a los trabajadores, (por un médico), y audiometría aérea.

La media del número de trabajadores por empresa es de 6, por lo que pertenecen al grupo de la mediana y pequeña empresa, normalmente empresas poco sensibilizadas a los factores de riesgo que originan y menos aún a sus posibles medidas de protección. (Figura 2).

En concreto podemos decir que el 78% de las empresas tienen entre 1 y 10 trabajadores, un 19% entre 11 y 30 trabajados, y un 3% más de 30 trabajadores.

Aunque la actividad 31 engloba varios tipos de empresas a la campaña acuden dos tipos de actividades muy concretas, por un lado los talleres de automóvil, representando un 88% del estudio y por otro la carpintería metálica, representando el 12% restante.

Los trabajadores reconocidos en este Centro pertenecen a empresas instaladas en toda la provincia de Granada, no sólo la capital.

Las profesiones o puestos de trabajo de estos trabajadores en la fecha del reconocimiento son las siguientes: mecánicos, carpinteros metálicos, electricistas del automóvil, pintores de coches, soldadores, cerrajeros, caldereros, torneros, personal de oficina y venta.

Se sabe que sobre el número total de empresas citadas no todas acuden al reconocimiento, y estas lo hacen en un 76% del total. A su vez no vienen el 100% de los trabajadores de dichas empresas sino el 62%, lo que corresponde en cifras absolutas a 140 trabajadores sobre los que se hace el estudio.

Una vez que los trabajadores se encuentran en el Centro, se empieza el reconocimiento médico que consiste en un análisis de sangre (hemograma y bioquímica) y orina, control visión, audiometría, electrocardiograma y espirometría en el caso que fuera pertinente, historia clínica y exploración médica, y aparte se les pasó un protocolo específico sobre el ruido, realizado por un médico, esta encuesta fué realizada por el Centro Nacional de Condiciones de Trabajo de Barcelona perteneciente al Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, donde llevan muchos años abordando el tema de estudios epidemiológicos aplicados a la sordera profesional.

Volviendo otra vez a la población del estudio vemos que la distribución según los grupos de edades es la siguiente: (Figura 3).

Se deduce que es una población joven, el grupo mayor corresponde al comprendido entre 26 y 35 años.

De todos los trabajadores estudiados como ya he dicho antes no todos pertenecen al grupo de riesgo (sometidos a ruido), en este sentido el grupo de oficinas y ventas representa el 30% de este estudio, en consecuencia si los representamos en una tabla 2 \* 2, en la que aparece exposición o no al ruido y enfermos o no enfermos (en este caso pensemos en hipoacusias producidas por ruido), los resultados son los siguientes: (Figura 4).

Si aplicamos la clasificación de audiometrías (Figura 5) según el protocolo del Centro Nacional de Condiciones de Trabajo de Barcelona, obtenemos los siguientes resultados: globales de normalidad en el 62%, de patología por ruido 34%, y de otras patologías el 4%. (Figura 6), (Figura 6-A)

Si nos fijamos en la distribución de la hipoacusia según la exposición al ruido los resultados son los

siguientes:

Los trabajadores expuestos presentan un 46,4% de hipoacusia, frente a un 9,3% en los no expuestos, por tanto podemos hablar de una clara asociación entre factor de riesgo e hipoacusia. (Figura 7)

Respecto a la aceptación de los trabajadores de la protección al riesgo en el puesto de trabajo, observamos que hay una mala aceptación frente a un 62% que nunca se protege, hay un 23% que lo hace a veces y solamente un 15% que siempre se protege.

Si nos fijamos en el tipo de protección que es más aceptada, vemos que los auriculares, son mejor acogidos con un 74% frente a los tapones. (Fig.8)

Otro aspecto importante de la protección personal con respecto a la exposición laboral al ruido, es ver si ésta es eficaz, y aunque en muy poca proporción debido al pequeño porcentaje de trabajadores que la utilizan observamos que realmente los que se protegen tienen menor número de hipoacusias que los que no lo hacen. (Figura 9)

Investigando otras fuentes de exposición al ruido extralaboral vemos que el 39% de estos trabajadores presentan este riesgo, que hay que decir que se sumaría a la propia exposición laboral, aunque la intensidad de esta exposición es una mínima expresión en la causa de la hipoacusia, pero que siempre hay que tener en cuenta. Podemos decir que de este 39% de los trabajadores sometidos a ruido extralaboral, tenemos un 39% de cazadores, asiduos a discoteca más de 3 horas semanales un 37%, aficionados al motorismo (trial) un 18%, y otros (mili, submarinismo, etc.) un 5%. (Figura 10)

Los resultados por preguntas específicas del protocolo son las siguientes:

#### EXPOSICION AL RUIDO

-Actual		93%
-Otro puesto de trabajo anterior		-7%

#### PRESENCIA DE ACUFENOS

		Hipoacusia	8%
-Expuestos	10%	Normales	2%
-No expuestos	0%		

#### PRESENCIA DE VERTIGOS

		Hipoacusia	4%
-Expuestos	5%	Normales	1%
-No expuestos	2%		

#### OTALGIAS

		Hipoacusia	3%
-Expuestos	4%	Normales	1%
-No expuestos	0%		

#### ¿EN CONVERSACIONES SE HACE REPETIR CON FRECUENCIA?, (PRESBIACUSIA)

		Hipoacusia	78%
-Expuestos	14,5%	Normales	22%
-No expuestos	0%		

#### RECRUITMENT + ( H. COCLEAR)

¿Oye mejor las conversaciones cuando hay ruido?

¿Le molestan los ruidos intensos?

		Hipoacusia	41%
-Expuestos	64%	Normales	59%
-No expuestos	11%		

## OTOSCOPIA

–Expuestos	15% Patológica
	85% Normal
	14% Patológica
–No expuestos	86% Normal

Para validar la capacidad de la audiometría como un procedimiento de uso masivo, hemos considerado 3 aspectos epidemiológicos: sensibilidad, especificidad y valor predictivo del test.

La sensibilidad de un método sabemos que es la capacidad que tiene para identificar correctamente a quienes tienen la enfermedad entre un grupo de individuos, cuando se le aplica el test, en este caso aparece una sensibilidad del 50%, hablaría en favor de que esta es una prueba de screening, no es una prueba diagnóstica absoluta, esto daría paso a otras pruebas más específicas como audiometría ósea, o remitirlo a su especialista para investigar más a fondo, sabiendo que del total el 50% son enfermos seguros.

Pasando a la especificidad, como ya sabemos, es la capacidad de indentificar correctamente a quienes no poseen la enfermedad, es decir a los sujetos sanos, hemos encontrado que esta prueba tiene el 90% de especificidad, por lo que considero que es bastante buena, en un screening, esta especificidad aumentaría considerablemente, si la audiometría aérea fuese siempre acompañada de ósea, aunque ya sabemos que un test no puede alcanzar nunca el 100% de especificidad, ni de sensibilidad.

El valor global de la eficiencia del test nos da una idea general del procedimiento empleado y en este caso hemos encontrado un 60%, que es muy valorable a favor de las audiometrias tonales como método de screening en los reconocimientos laborales de los trabajadores.

## CONCLUSIONES

1º) El 34% de los trabajadores estudiados presenta una clara patología debida a la exposición al ruido en su puesto de trabajo.

2º) En el grupo de trabajadores expuestos al ruido aparece un 46% de hipoacusia, frente al 9% que presentan los no expuestos, esta asociación de exposición al riesgo-enfermedad debe ser en consecuencia tenida en cuenta.

3º) Respecto a la distribución de la hipoacusia por grupo de edad, podemos decir, que se confirma, que la hipoacusia aumenta con el tiempo de exposición y lógicamente con la edad de los trabajadores. (Fig.11)

4º) La protección individual en el ámbito laboral no es bien aceptada, pues frente a un 15% que sí se protege, nos aparece un 85% que nunca se protegen o solo a veces, aquí aparece una meta que está por ganar, y queramos o no, se incluye en lo que llamamos Medicina del Trabajo y en concreto de sus especialistas, que uno de los primeros y principales cometidos de esta medicina es la prevención dentro del ambiente laboral, y en escasa medida la Medicina Asistencial.

5º) Partiendo del principio que lo primero que se debe hacer para proteger al trabajador del ruido es aislarlo del foco ruidoso, la realidad es que en España, los empresarios nunca han exigido de una máquina la potencia acústica que desarrolla, en el sentido de que más tarde podían encontrarse con el problema de proteger a sus trabajadores, por lo tanto, partiendo que es más cara una máquina silenciosa que otra ruidosa, también es muy caro aislar las máquinas, y frente a esto, no tiene ninguna presión social por parte de sus trabajadores para que los proteja del ruido, tenemos que la realidad hoy día es que los trabajadores asumen su enfermedad profesional con toda normalidad, es decir, ellos piensan que es propio de determinadas profesiones quedarse sordo cuando se llevan unos años en dicha profesión.

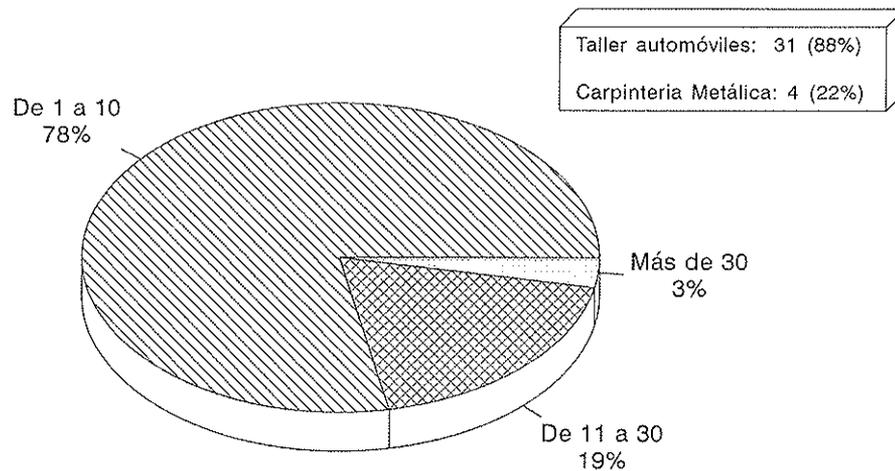


### 3- INDUSTRIAS TRANSFORMADORAS DE LOS METALES. MECANICA DE PRECISION

- 31. Fabricación de productos metálicos (excepto máquinas y material de transporte).
- 311. Fundiciones.
  - 311.1. Fundición de piezas de hierro y acero.
  - 311.2. Fundición de piezas de metales no férreos y sus aleaciones.
- 312. Forja, estampado, embutición, troquelado, corte y repulsado.
- 313. Tratamiento y recubrimiento de los metales.
- 314. Fabricación de productos metálicos estructurales.
  - 314.1. Carpintería metálica (puertas, ventanas, etc.).
  - 314.2. Fabricación de estructuras metálicas.
- 315. Construcción de grandes depósitos y calderería gruesa.
- 316. Fabricación de herramientas y artículos acabados en metales, con exclusión del material eléctrico.
  - 316.1. Fabricación de herramientas manuales y agrícolas.
  - 316.2. Fabricación de artículos de ferretería y cerrajería.
  - 316.3. Tornillería y fabricación de artículos derivados del alambre.
  - 316.4. Fabricación de artículos metálicos de menaje.
  - 316.5. Fabricación de cocinas, calentadores y aparatos domésticos de calefacción, no eléctricos.
  - 316.6. Fabricación de mobiliario metálico.
  - 316.7. Fabricación de recipientes y envases metálicos.
  - 316.8. Fabricación de armas ligeras y sus municiones.
  - 316.9. Otros talleres mecánicos n.o.c.p.
- 319. Talleres mecánicos independientes.

(Fig. nº 1).

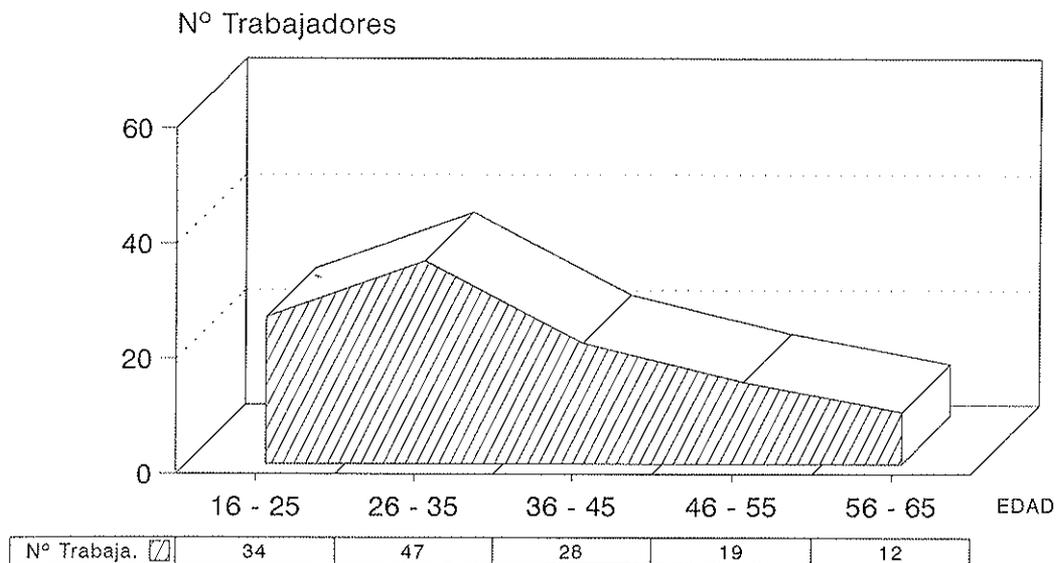
# DISTRIBUCION DE LAS EMPRESAS POR NUMERO DE TRABAJADORES



C.S.H.T. Granada 1992

Figura 2.

## DISTRIBUCION DE LA POBLACION POR GRUPOS DE EDAD



C.S.H.T. Granada 1992

Figura 3.

Figura 4

	EXPUESTOS	NO EXPUESTOS	TOTALES
ENFERMOS	45	4	49
NO ENFERMOS	52	39	91
TOTALES	97	43	140

ESQUEMA DE CLASIFICACION DE AUDIOMETRIAS

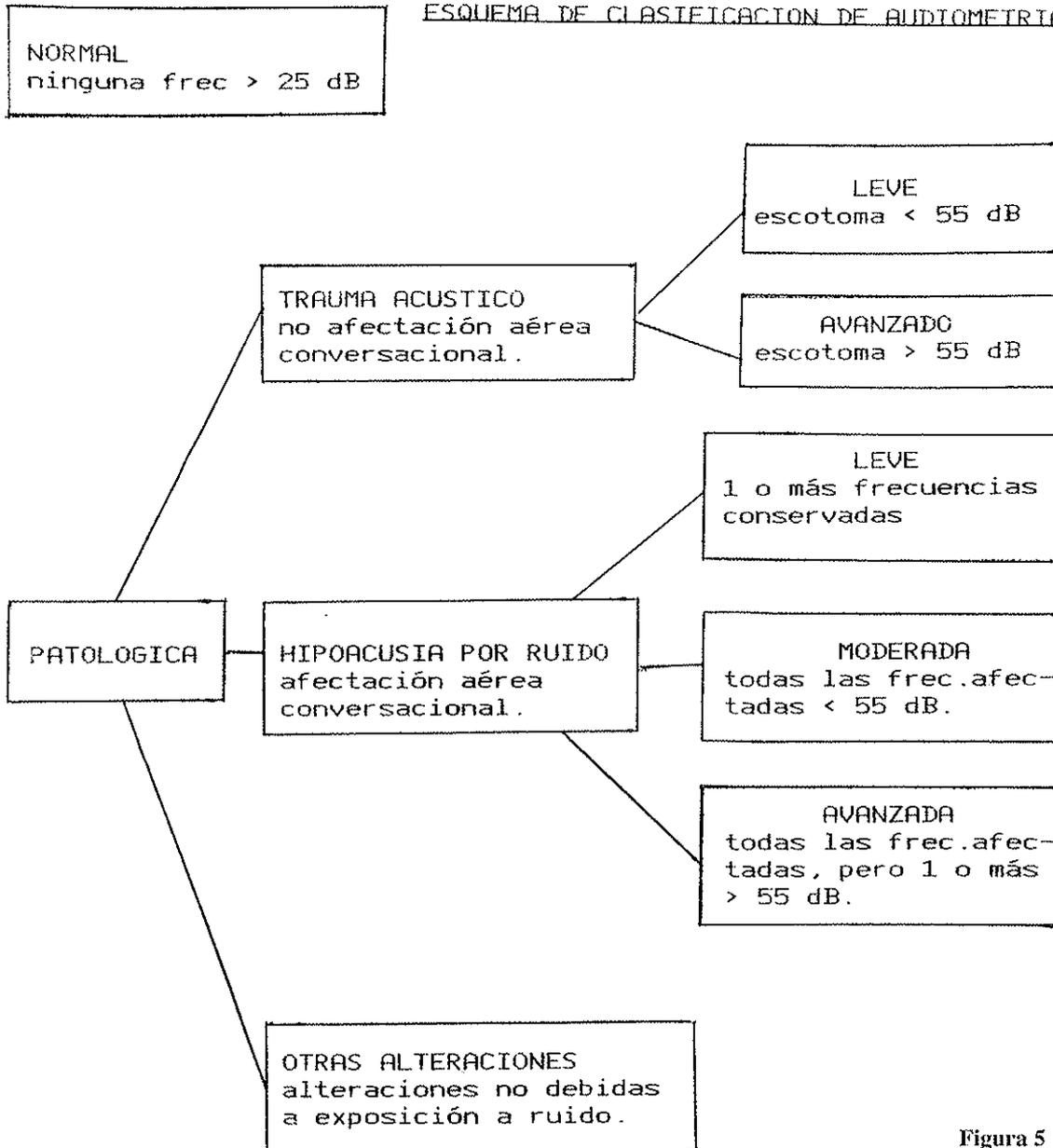
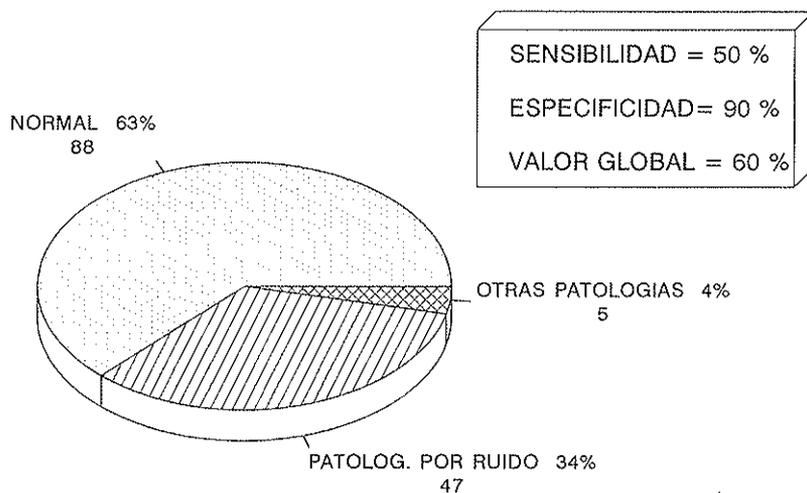


Figura 5

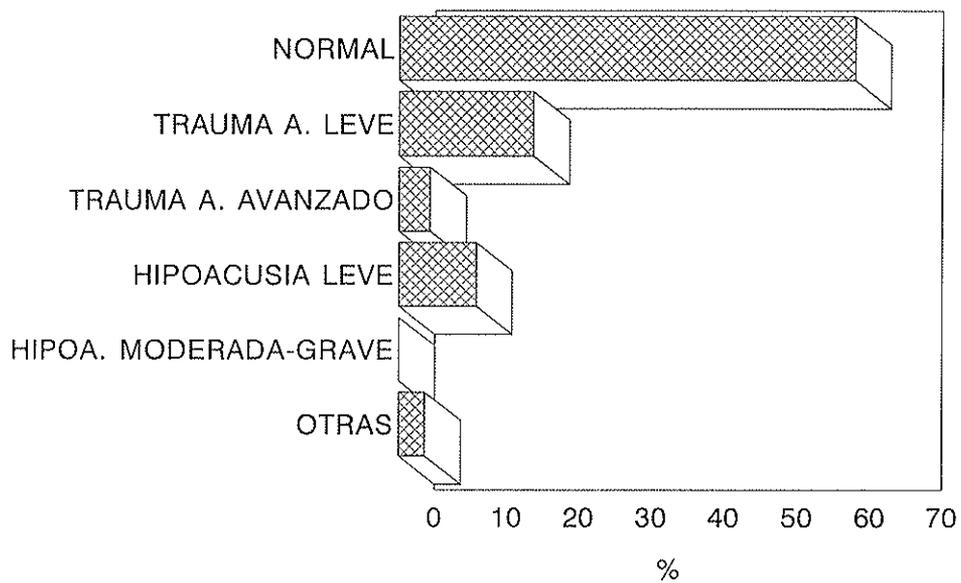
# RESULTADOS GLOBALES



C.S.H.T. Granada 1992

Figura 6.

# VALORACION DE LAS AUDIOMETRIAS

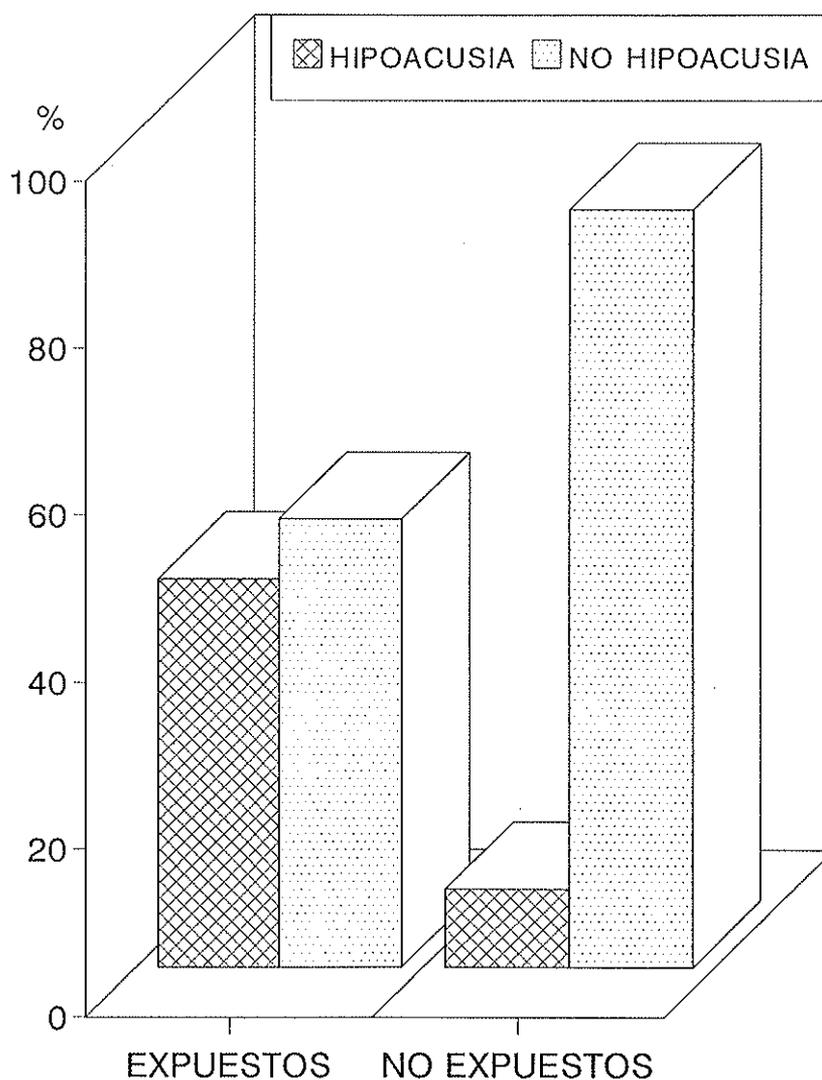


C.S.H.T. GRANADA 1992

Figura 6-A.

## DISTRIBUCION DE LA HIPOACUSIA SEGUN LA EXPOSICION AL RUIDO

---

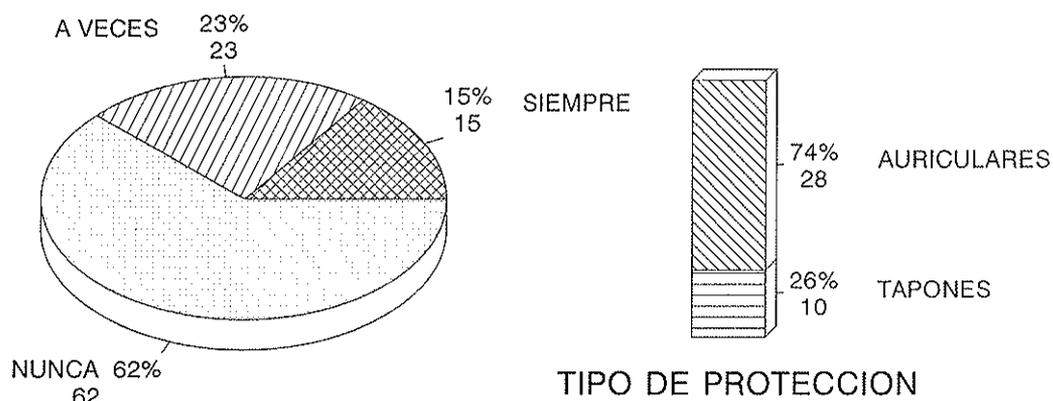


HIPOACUSIA	46,4	9,3
NO HIPOACUSIA	53,6	90,7

C.S.H.T. Granada 1992

Figura 7.

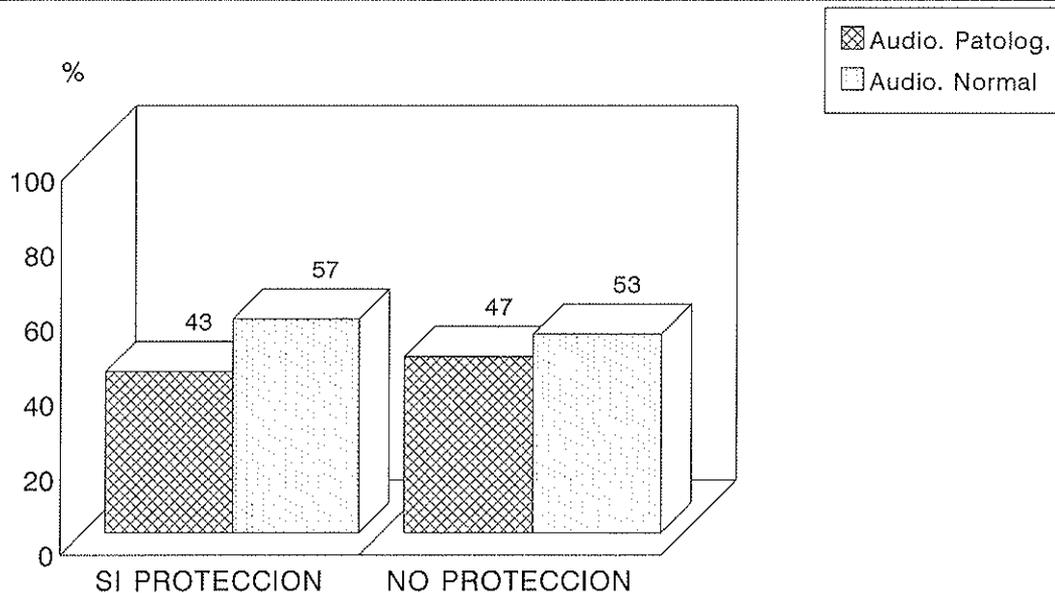
# PROTECCION EN EL TRABAJO



C.S.H.T. Granada 1992

Figura 8.

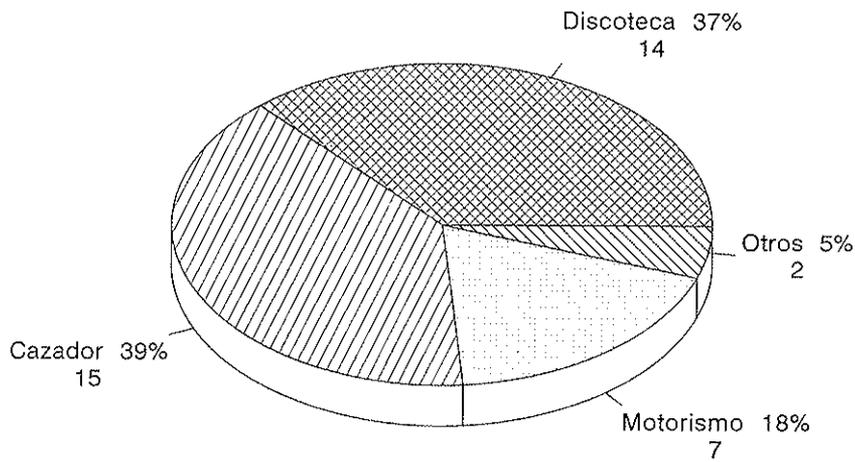
## USO DE PROTECCION PERSONAL (Trabajadores con exposición laboral al ruido)



C.S.H.T. GRANADA 1992  
Figura 9.

# EXPOSICION A OTRAS FUENTES DE RUIDO

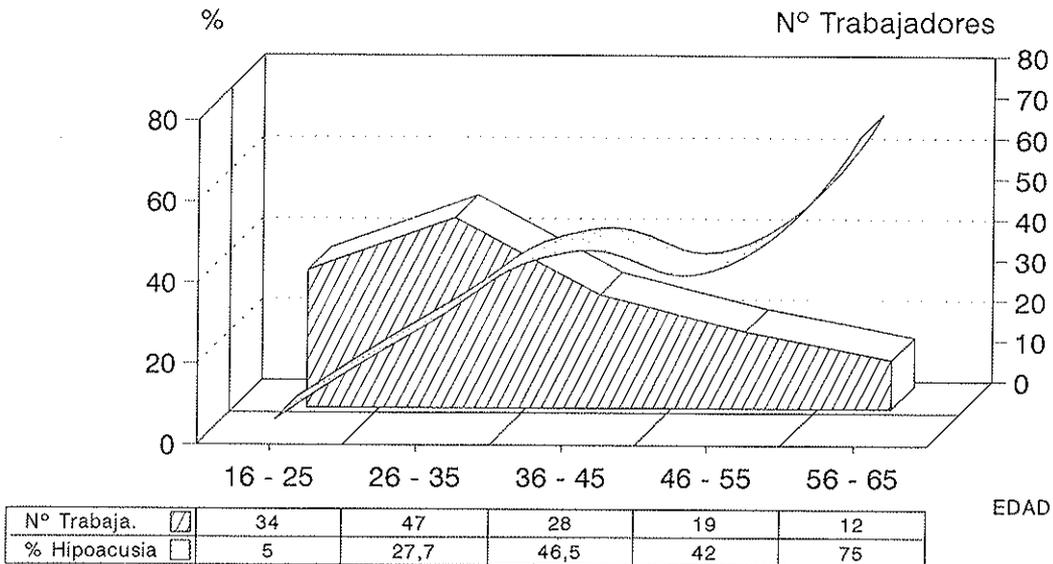
(Trabajadores con exposición laboral al ruido)



C.S.H.T. GRANADA 1992

Figura 10.

## DISTRIBUCION DE LA HIPOACUSIA POR GRUPOS DE EDAD



C.S.H.T. Granada 1992

Figura 11.

## **BIBLIOGRAFIA**

KLOCKHOFF et al. *Computerized classification of screening audiometry data from noise exposed groups* Acta Otolaryng 75: 339-340, 1973.

SARTORELLI. *Medicina del lavoro*, Piccin Editore. Padova. 1981, 1119-1149.

MIYASITA, MIURA. A. *A tentative proposal for classification of audiograms in noise induced hearing relations hip betwe diogram and subjective complaints in noise exposed workers* Int Arch. Occup. Environ Health. 1986, 57, 173-183.

CORRAO et al. *Danno auditivo ed esposizione professionale: Confronto tra due tecniche statistiche per l'elaborazione dei dati di uno studio trasversale*. Med. Lav. 1986, 77:3, 237-246.

**CAPITULO 11**  
**PROFILAXIS DE LA SORDERA PROFESIONAL.**

*D. Miguel Ciges Juan.*



## **PROFILAXIS DE LA SORDERA PROFESIONAL**

La sordera profesional es aquella que aparece en actividades laborales que se desarrollan en niveles altos y prolongados de ruido. Son sorderas neurosensoriales, es decir de percepción y representan una de las causas más frecuentes de este tipo de hipoacusias. La sordera neurosensorial en general y esta en particular, no tiene tratamiento por lo que las medidas profilácticas son muy importantes. Precisamente en las sorderas que nos ocupan, la profilaxis puede ser especialmente efectiva al conocerse el agente causal, que en este caso actúa de un modo constante y no ocasionalmente como en otro tipo de sorderas.

Hay medidas profilácticas para estas sorderas, de tipo médico, higiénico y tecnológico, y debidamente combinadas pueden ser muy eficaces, pero desde luego caras. Han existido además ciertos vacíos legislativos con respecto a esta faceta de la Medicina Laboral y cuando se han dado normas, no siempre se han cumplido.

Antes de estudiar la profilaxis propiamente dicha, debemos ver cuáles son las situaciones laborales que exigen tales medidas de profilaxis.

### **I. SITUACIONES LABORALES EN QUE ES PRECISO ARBITRAR MEDIDAS DE PROTECCION O PROFILAXIS.**

No vamos a hacer un estudio detallado de las industrias ruidosas y sus niveles cuantitativos o cualitativos de ruido, pues ello pertenece a la etiología de la sordera profesional. Vamos a seguir ahora un criterio más concreto ya que el nivel de ruido que puede ser traumatizante depende de la industria en sí y de las condiciones tecnológicas de la misma.

Para calificar una industria como peligrosa para audición se han de dar dos condiciones: intensidad de ruido superior a 90 dB y tiempo de exposición de 8 horas. El binomio intensidad/tiempo es fundamental y como más de 8 horas no suele trabajarse, la situación se limita a la intensidad. Ya veremos más adelante como se aconsejan tiempos menores de exposición cuando el nivel de ruido es mayor aún con los medios adecuados de protección individual. Cualquier situación industrial en que se de el nivel mencionado o superior obligará a tomar medidas de profilaxis independientemente del tipo de ruido y condiciones de trabajo.

Ante lo dicho, se impone llevar a cabo estudios sonométricos de cualquier industria ruidosa para ver si cabe incluirlas entre las peligrosas. La calificación del local industrial no es fácil pues los niveles de ruido pueden variar de un lugar a otro o cambiar con las horas de la jornada. Por lo tanto las medidas se harán en diferentes lugares y a diferentes horas hallando un promedio. Alguien ha simplificado el problema diciendo que será peligrosa toda industria "en la que no se pueda conversar a un metro de distancia".

Lo que hemos expuesto hasta aquí se refiere al trabajo en locales cerrados, pero tenemos también las situaciones peligrosas al aire libre como por ejemplo, el trabajo con martillos neumáticos, etc. Aquí la determinación habrá que hacerla junto al sujeto.

### **II. PROFILAXIS DE LA SORDERA PROFESIONAL**

Se puede actuar profilácticamente contra estas sorderas de dos formas: disminuyendo el nivel de ruido generado por la máquina y protegiendo al receptor. Las primeras medidas son tecnológicas y competen al técnico y las segundas son médicas o higiénicas y competen al facultativo. La combinación de ambas medidas pueden ser muy eficaces, siempre y cuando halla unas normas que se cumplan y medios para poner en práctica estas medidas. Muchas veces el problema es económico. Considerando globalmente el problema, la lucha con-

tra estas sorderas debe llevarse a cabo en equipo en el que estarán presentes técnicos, médicos, asistentes sociales y auxiliares. La coordinación de todo este personal es necesaria y de ella dependerá el éxito de la empresa. Por supuesto el papel del médico estará centrado básicamente en la segunda parte del programa, es decir en la protección del receptor, en lo que suele llamarse "protección individual".

Trataremos la profilaxis tecnológica solamente en sus líneas maestras, pues no es competencia nuestra y lógicamente no estamos preparados para ello.

## A. PROFILAXIS TECNOLÓGICA

Que duda cabe que esta puede ser la más eficaz. El día en que se logren máquinas insonoras habrá desaparecido la sordera profesional. La técnica se perfecciona cada vez más y los modelos modernos suelen ser en general, más silenciosos que los antiguos. Muchas veces la solución será sustituir una máquina vieja por una moderna, como señala Bruce (1979) pero el problema será sin duda de coste.

Dos procedimientos tecnológicos tenemos para aminorar el ruido de las máquinas: reducir su intensidad sonora y dificultar la transmisión.

### 1. Reducir la intensidad sonora.

Ante una máquina ruidosa en funcionamiento, las fuentes del ruido pueden ser diversas. Según Chochole (1960) tales fuentes son: impactos o choques, martilleo o ruido repetido a ritmo rápido, la fricción, ruidos de escape, o las vibraciones; con frecuencia se combinan varios tipos de ruido. Muchas veces cualquiera de estos ruidos pueden ser engendrados por un mal funcionamiento, lo que requiere una vigilancia periódica de dicha máquina; el papel del técnico es pues muy importante corrigiendo adecuadamente el defecto, que en este caso no solo disminuirá el ruido sino que contribuirá a una vida más larga de la máquina. Aparte de esto no cabe duda que puede haber soluciones tecnológicas para muchos problemas: amortiguadores, lubricación, silenciadores en tubos de escape, etc.

### 2. Dificultar la transmisión del ruido.

Las medidas sobre la fuente de ruido no siempre son eficaces y a veces imposibles como ocurre por ejemplo con los reactores de la industria aeronáutica. En tales casos hay que tratar de impedir o dificultar por diversos procedimientos, la propagación del ruido. Estas medidas son las más frecuentemente usadas, en esta faceta tecnológica de la lucha contra el ruido industrial.

Dentro de tales medidas la más elemental es separar la fuente de ruido, del trabajador si es posible, vg. Si la fuente ruidosa es un motor por ejemplo y éste se puede sacar del lugar de trabajo transmitiendo su energía y no su ruido, esta será la mejor solución, pero por desgracia esto no siempre será posible. Cuando ello ocurra contamos con el "**encofrado**" de la máquina, es decir su cierre en una envoltura aislante; esta debe ser de materiales pesados: cemento, ladrillos, intercalando materiales absorbentes (fibra de vidrio) en capa intermedia. En ocasiones es suficiente una capota protectora o "**capotaje**". Estas soluciones plantean problemas técnicos difíciles de resolver pues la máquina necesita ventilación y accesos, que obligan a arbitrar nuevas soluciones.

A veces es suficiente un cierre parcial o "**ancintado**", que consiste en aislar la máquina con barreras protectoras, o bien el uso de simples "**paneles**" que protegen en una dirección determinada. Estas barreras serán también de materiales pesados; como señala Mattei (1975) los muros y pantallas protectoras deberán tener un peso de 150 Kg por metro cuadrado. Podría utilizarse también materiales heterogéneos para aprovechar al máximo el fenómeno de la reflexión sonora.

Si el problema es la transmisión de vibraciones, habrá que soportar la máquina sobre "**amortiguadores**" con lo que se impedirá la transmisión de dicha vibración.

Si el problema es de reverberación, habrá que tratar adecuadamente el local dotándolo de las condiciones adecuadas de absorción: materiales amortiguantes, heterogéneos, multifacetados, etc.

Una solución aparentemente brillante es desfasar adecuadamente el ruido de las máquinas si son dos o varias, con lo que en teoría se anularía. Sin embargo esto suele fracasar pues el ruido cambia incesantemente de fase. En el aparato de "Acústica Fisiológica" del capítulo de la fisiología de la audición, se exponen algunos conceptos útiles para el problema de la protección sonora.

La tecnología moderna permite la introducción de mandos a distancia en muchas ocasiones con lo que se evita totalmente la exposición al ruido. Las fábricas modernas automatizadas, como alguna que hemos tenido ocasión de visitar en Japón pueden ser totalmente insonoras.

La protección tecnológica contra el ruido es sin duda la más eficaz y en el futuro se irán logrando máquinas

cada vez menos ruidosas. Hoy por hoy estamos aún lejos de la generalización de las máquinas silentes y por ello es preciso actuar sobre el receptor, protegiéndole contra el ruido. Estas medidas de protección son las que llamamos "medidas individuales".

## **B. MEDIDAS INDIVIDUALES DE PROTECCION CONTRA EL RUIDO**

Como las medidas tecnológicas no siempre son eficaces o posibles se impone tomar otras a nivel individual que entraran en juego en cualquier industria o actividad laboral de las que hemos clasificado de peligrosas. Estas medidas individuales son de la competencia del médico diplomado en Medicina Laboral, aunque algunas de ellas, como lo protectores tienen mucho de tecnológicas también. Podemos estudiar al respecto las siguientes medidas a nivel individual:

1. Reconocimiento previo.
2. Información y educación.
3. Reconocimientos periódicos.
4. Disminución del tiempo de exposición.
5. Dispositivos individuales de protección.
6. Separación del ambiente ruidoso en caso de lesión incipiente.

### **1. RECONOCIMIENTO PREVIO**

Todo sujeto con patología auditiva previa, debe ser excluido del trabajo en medio ruidoso. Por otra parte hay otros sin tales patologías que tienen especial sensibilidad al ruido, por lo que estos, que desde luego no serán muchos, deben también ser excluidos. Un reconocimiento previo se impone, pues a través de él podremos detectar ambos supuestos.

La exploración previa comprenderá la historia clínica especialmente orientada, la exploración clínica, audiometría y pruebas de fatiga auditiva. Será a través de ésta como podremos detectar una especial fragilidad pues en este caso la prueba de fatiga es anormal.

#### **a. Exploración otológica y audiometría convencional**

Se llevará a cabo por los medios habituales de exploración después de la historia clínica. Se practicará la otoscopia por cualquiera de los métodos al uso: con espejo frontal, otoscopios autoiluminados, endoscopios o microscopios de exploración. Por su sencillez y bajo coste aconsejamos los otoscopios autoiluminados, algo más caros que el simple espejo frontal y el otoscopio, pero de más fácil manejo, ya que no requieren ninguna experiencia previa. A través de estos medios exploraremos el conducto auditivo externo y el tímpano y podremos detectar tapones de cerumen o cualquier alteración patológica: eczemas de conducto, exostosis, perforaciones timpánicas, supuraciones etc. La presencia de alguna de estas patologías, aconsejará a remitir al paciente al especialista recabando de él el informe oportuno. Si se tratara de cerumen, se lavará el oído pues su presencia podría falsear el audiograma. Se completará la exploración clínica, con el examen de las fosas nasales y faringo-laringe.

La exploración auditiva es totalmente convencional, es decir se practicará una audiometría tonal liminar por vía aérea y ósea. No se requiere ahora ninguna prueba especial si el sujeto está dentro de la normalidad. Existen varios sistemas audiométricos de screening de los que hablaremos más adelante, pero en el primer reconocimiento la exploración audiométrica debe ser completa. En capítulos anteriores hemos hablado de la exploración clínica y funcional por lo que insistiremos ahora.

Vamos a hacer algunos comentarios sobre las causas de exclusión que se deducirán de los resultados de la exploración realizada. En primer lugar debemos señalar, que la susceptibilidad al ruido aumenta con la edad, y así a partir de los 40 años hay más probabilidades de deterioro auditivo que en sujetos más jóvenes. Por lo tanto deberían excluirse a los sujetos mayores de 40 años o figurar este límite de edad en la convocatoria.

La patología del oído interno o nervio auditivo, predispone al trauma sonoro, por lo que deberían excluirse a todos aquellos sujetos con hipoacusias neurosensoriales aunque sean leves. Lo mismo cabe decir de los que hayan sido sometidos a alguna intervención audioquirúrgica, particularmente a estapedectomía. En tal intervención se secciona el tendón del músculo del estribo con lo que queda el oído interno sin la protección que la contracción refleja de este músculo supone para la cóclea.

Otra es la situación de la patología del Oído Medio. Se ha dicho que los sujetos con sorderas de transmisión están protegidos por el propio defecto que dificulta la transmisión del sonido al oído interno; es como si llevaran un tapón protector. Esta opinión está muy difundida y algunos afirman que tales sujetos son los candidatos idóneos para trabajar en medio ruidoso. Sin embargo yo soy de otra opinión, pues en los pacientes afec-

tos de procesos de Oído Medio, tarde o temprano aparece un componente neurosensorial, y con mucha frecuencia relativamente pronto. Las razones para que esto ocurra no están claras, quizás la mayor rigidez del sistema timpanooscicular facilita la transmisión al oído interno, actuando como un sistema reverberante, de cierta proporción sonora en forma de vibraciones inútiles y nocivas; la falta de reflejo estapedio puede contribuir a ello. En ocasiones la propia patología puede actuar a ambos niveles: oído medio e interno como ocurre con la otosclerosis, por estas razones yo creo que tampoco se deberá aconsejar a estos pacientes el trabajo en medio ruidoso. Los procesos activos de Oído Medio, tales como otorreas se pueden ver agravados por el uso de medios individuales de protección (tapones o cascos).

La patología del oído externo en teoría no debe contraindicar el trabajo en ruido, pero si va a dificultar el uso de los medios individuales de protección.

Si no se hiciera el examen previo no se podrían demostrar un estado anormal anterior, lo que podría dar lugar a falsas reclamaciones.

## **b. Exploración de la fatiga auditiva**

Una vez realizada la prueba audiométrica, aún en los sujetos con audiometría dentro de la normalidad puede haber un riesgo potencial de trauma sonoro cuando haya una fatiga patológica.

Existen algunos sujetos normooyentes que tienen una especial fragilidad auditiva que se detecta con la prueba de la fatiga. Estos sujetos son especialmente sensibles a las drogas ototóxicas y a la acción del ruido. No se conoce la causa de esta predisposición pero sí se sabe que en muchos casos hay antecedentes familiares de sordera, presbiacusia precoz, sorderas ototóxicas o trauma sonoro.

Existen diversas pruebas para estudiar la fatiga de las cuáles la más conocida es la **prueba de PEYSER**. Esta prueba consiste en determinar el umbral en la frecuencia 1000 Hz y a continuación fatigar el oído probado administrando durante 3 minutos el tono de 1000 Hz a 100 dB de intensidad. Se descansa durante 3 minutos y se determina de nuevo el umbral. Si este cae 10 dB o más, se considera patológica, entre 5 y 10, dudosa y entre 0 y 5 normal. La prueba puede repetirse por vía ósea una hora después, sobreestimulando en tal caso, por vía aérea. Esta segunda versión estará indicada ante resultados dudosos (entre 5 y 15 dB de pérdida) en vía aérea.

Además de la prueba de Peyser tenemos otras que pueden ser interesantes, como son las de **THEILGAARD** en sus dos versiones.

La primera versión consiste en fatigar con 100 dB durante 3 minutos para explorar después no sólo la frecuencia 1000, sino además, 500, 2000 y 4000; es pues una prueba más completa pero también más larga. La segunda versión de la prueba de Theilgaard, se basa en otro principio, y es que un tono puro, fatiga principalmente la octava siguiente; así, se fatiga con un tono de 1000 Hz y se investiga el resultado en 2000.

Otra prueba parecida a esta y muy interesante por cierto, es la de **prueba de Wilson**. En ésta se fatiga con tono de 2000 Hz y se investiga el resultado en 4000. Sabemos que esta frecuencia junto a la 6000 son las más sensibles al trauma sonoro; por ello consideramos que se trata de una prueba muy racional y más sensibles que las anteriores.

Junto a estas pruebas que se llevan a cabo con tonos puros tenemos la que utilizan **RUIDO BLANCO**, de las que existe varias modalidades (Wheeler, Falconet, Alavoine) que difieren poco entre sí. Como el sonido traumatizante nunca es un tono puro, las pruebas basadas en estos parecen un poco irreales. El ruido industrial es siempre complejo y lo que más se le aproxima, es el ruido blanco; varían algo unas de otras, pero creemos que puede utilizarse con confianza la siguiente modalidad: determinación del umbral al tono 4000, sobrestimulación con ruido blanco durante 3 minutos a 100 dB e investigación de la fatiga en 4000 después de 15 segundos.

La prueba de fatiga así realizada tiene dos ventajas: que usan un ruido similar o parecido al industrial y se investiga el resultado en la frecuencia más sensible. Podría incluirse también la frecuencia 6000 habida cuenta de que como ya hemos dicho ésta se afecta quizás con más precocidad que la 4000.

Se nos antoja que la prueba ideal sería la individualizada para cada industria o taller, obteniendo registros de su ruido para utilizarlo como elemento fatigante.

## **2. INFORMACION Y EDUCACION.**

Los trabajadores de industria ruidosa deben ser informados y educados sobre los efectos nocivos del ruido. Esta es una medida profiláctica muy importante porque por regla general no suelen ser conscientes del peligro del ruido; cualquier otro riesgo laboral es más evidente que este ante la inmediata acción del agente nocivo: es fácil comprender el riesgo de una chispa en un ojo o la conveniencia de ponerse un casco protector en la cabeza. El ruido por el contrario sólo muestra su efecto nocivo con el paso del tiempo. Parece ser que es fácil acos-

tumbrarse a él, resultando molestos los medios de protección. Se informará adecuadamente por parte del equipo médico, de los peligros del ruido y sobre la conveniencia del uso adecuado de los medios de protección, se les animará a pasar las revisiones periódicas, y se colocaran posters y carteles en los lugares de peligros, etc. Los medios de protección son incómodos, pero al igual que se habitúan al propio ruido, también se produce la habituación a tales medios. Los asistentes sociales podrán hacer una excelente labor aconsejando el uso de las medidas de protección y enseñando su uso correcto.

### 3. RECONOCIMIENTOS PERIODICOS

Los sujetos expuestos a un ambiente laboral de ruido deben ser revisados periódicamente para detectar con precocidad un posible daño.

Dos cuestiones se plantean sobre los reconocimientos periódicos: su periodicidad y como llevarla a cabo.

Hay diversos criterios sobre la periodicidad. Glorig (1979) señala que para niveles de 90 dB sería suficiente cada dos años y para niveles superiores, cada año, es decir, adecua la periodicidad a la intensidad del ruido. En tal sentido, Maas (1970) es mucho más preciso, estableciendo una serie de criterios según el tiempo de exposición e intensidad del ruido, que forman el binomio del que dependerá el trauma sonoro.

Dichos criterios son los siguientes:

- 1.- De 5 a 8 horas a 90 dB de: de 12 a 18 meses de intervalo.
- 2.- Menos de 5 horas a 90 dB: de 18 a 24 meses de intervalo.
- 3.- Exposiciones menores en tiempo o intensidad de 24 a 36 meses.
- 4.- Exposiciones de 5 a 8 horas a 100 dB: de 6 a 9 meses de intervalo.
- 5.- Si en los supuestos 1 y 2 se detectan una pérdida de 10 dB. o mayores con respecto al audiograma anterior: de 9 a 12 meses de intervalo.
- 6.- Si en el supuesto 4 se detectan pérdidas de 10 dB: las revisiones se harán cada 3 meses.

Estas pérdidas se refieren al promedio en el mejor oído de las frecuencias 500, 1000, y 2000. No se tienen en cuenta las más sensibles: 4.000 y 6.000 porque tienen poco valor para la comprensión del lenguaje. Sin embargo, consideramos que estas frecuencias deberían mirarse con especial interés pues son las que anuncian el comienzo del deterioro auditivo. Por ello pérdidas aisladas de más 40 dB en las mismas deben obligar a una mayor frecuencia en las revisiones periódicas.

Chocholle (1960) propone con buen criterio, hacer una primera revisión a la semana de estar trabajando en medio ruidoso y otra al mes, para a partir de aquí pasar a la revisión anual; se sabe en efecto, que hay muchos sujetos que ven deteriorada su audición muy precozmente aún habiendo pasado satisfactoriamente la prueba de fatiga.

¿Como se deben hacer estas revisiones?

Existen varios procedimientos y la experiencia demuestra que las frecuencias graves no se afectan por la acción del ruido, por lo que no será necesario explorarlas, concretamente 125 y 250. La exploración se centrará por tanto en las frecuencias: 500, 1000, 2000, 4000, 6000, y 8000. La 6000 será en realidad optativa y de ella se puede prescindir ya que es equivalente a la 4000.

La exploración se hará sólo en vía aérea y en ambos oídos. Previamente se hará una otoscopia para descartar cerumen u otra patología, pero como en realidad es una prueba de screening no veo inconveniente en prescindir de ella en aras a la rapidez, y separar los anómalos para un estudio individualizado, en donde ahora sí, se incluirá la otoscopia. La exploración se hará 24 horas después de haber trabajado para eliminar el cambio temporal del umbral o el fenómeno de la adaptación auditiva (fatiga perestimulatoria que no hay que confundir con la fatiga real).

Los métodos para llevar a cabo los reconocimientos periódicos son varios: la audiometría convencional, la automática de Bekesy y la audiometría colectiva.

La más fiable es la primera, pero consume mucho tiempo para una prueba en la que el tiempo es muy importante habida cuenta de que como decimos se trata de una prueba de screening.

La audiometría automática es también individual pero de ejecución más rápida. Sin embargo tiene más causas de error por posibles distracciones del sujeto explorado.

Finalmente tenemos la audiometría colectiva o en grupo, diseñada especialmente para el screening auditivo de colectividades. Se trata de unos equipos en que un audímetro suministra simultáneamente el sonido del test a diferente número de auriculares situados en boxes especialmente diseñados, cuyo número varía entre 8 y 40. De esta forma se pueden explorar simultáneamente un número variable de sujetos.

La revisión periódica no es en realidad ninguna medida profiláctica, sino el indicador de que tales medidas se deben tomar. Ya hemos visto las llamadas medidas tecnológicas y veremos más adelante las que especifica-

mente se aplican al receptor del ruido. El médico deberá aconsejar el uso de tales medios, deberá informar a la empresa y buscar el contacto con los técnicos para que por su parte arbitren las medidas adecuadas de su competencia.

¿Como podemos valorar los resultados de las exploraciones periódicas? Si de un reconocimiento a otro, la pérdida es de 10 dB o menos, (promedio en las frecuencias que ya hemos señalado 500, 1000 y 2000) o inferior a 40 en 4000-6000, ello no supone riesgo. Si la pérdida es mayor de estos valores, el paciente será objeto de una mayor atención: se le harán las revisiones más frecuentemente según ya hemos visto; se investigará si usa adecuadamente los medios individuales de protección. Estos sujetos, serán objeto, de un estudio individualizado. Si la pérdida detectada es superior a 25 dB ello entra ya en la sordera clínicamente detectable y a lo que no se deberá llegar. Si por desgracia ese fuera el caso, se desaconsejará continuar trabajando en el medio ruidoso.

#### 4. DISMINUCION DEL TIEMPO DE EXPOSICION

El factor tiempo de exposición al ruido es como hemos visto antes de gran importancia. Se considera que todo ambiente ruidoso de 90 dB para una jornada de 7 horas, 5 días semanales puede resultar nocivo. Es a este nivel o superior cuando se deben tomar medidas de protección. Independientemente de las individuales que estudiaremos en el apartado siguiente, para niveles superiores a los mencionados se debe reducir el tiempo de exposición. Bragdon (1971) describe las normas al respecto que son las siguientes:

Ruido	de	90	dB	.....	8	horas
"	"	95	dB	.....	4	"
"	"	100	dB	.....	2	"
"	"	105	dB	.....	1	"
"	"	110	dB	.....	0,5	"

Como vemos se reduce el tiempo a la mitad por cada 5 dB por encima de los 90.

#### 5. MEDIDAS INDIVIDUALES DE PROTECCION

Las medidas individuales de protección son los tapones y los auriculares, además de los cascos que tienen indicaciones muy concretas y limitadas. Entre los tapones y los auriculares hay diferencias cuantitativas pues la protección de los primeros es inferior a la de los segundos, aunque no una gran diferencia. En cualquier caso se reservarán los tapones para niveles inferiores de ruido y los auriculares para los mayores, quedando aún la posibilidad de asociarlos con lo que se logran los mayores niveles de protección.

##### a. Tapones

Los tapones son dispositivos que se insertan en el conducto auditivo externo con el fin de dificultar el paso del ruido.

Existen varios modelos y hechos de materiales diversos, generalmente sustancias blandas porosas y elásticas que amortiguan el ruido: caucho, goma sintética, silicona, etc. La tecnología moderna logra nuevos materiales que mejoran los antiguos, al menos aparentemente; en la práctica se ve en efecto que hay poca diferencia entre materiales tan clásicos como el caucho, y otros, productos de síntesis que se anunciaron como panaceas. Lo cierto es que hay muchos modelos y variedades de tapones y cuando ello ocurre se suele decir que son todos poco eficaces. Sin embargo alguien ha dicho que "el mejor tapón es el que se usa", lo que significa que todos pueden ser útiles, pero que lo importante es llevarlos, y llevarlos bien, independientemente del diseño y calidad del material. Lo importante es que se use el tapón del tamaño adecuado y se introduzca correctamente. Será el médico quien seleccione el tamaño idóneo a las dimensiones del conducto: si es muy pequeño será ineficaz so pena de introducirlo en exceso con la correspondiente molestia y si es muy grande, o bien quedará holgado, o apretado en exceso con la consiguiente molestia. También la introducción deberá ser concéntrica al conducto, pues de no ser así quedará atravesado siendo ineficaz. Se aleccionará adecuadamente al usuario sobre el modo de colocarlo.

Como decíamos antes el problema es usar los tapones y la experiencia demuestra que no se usan por dos motivos: por falta de información, y por la molestia que supone su uso. En relación con esto, hay tipos de tapones más confortables que otros, y la sensibilidad individual al respecto para los diversos tipos, es muy variable por lo que habría que tener en cuenta las preferencias de quien lo va a usar.

Vamos a describir a continuación las diversas modalidades de tapones, pues aunque su eficacia no varía grandemente, tienen características distintas entre sí, que pueden hacer a unos preferibles a los otros según las

circunstancias.

El tapón más universalmente utilizado es el "**tipo V-51 R**" que es un tapón hecho de goma blanda con una pequeña solapa para facilitar su inserción. Hay dos modalidades: con un resalte circular, o con tres. El resalte circular facilita su adaptación y tal adaptación se pretende que mejore con los tres resaltes, que aumentan ligeramente su diámetro de distal a proximal. Está comercializado en varios tamaños.

Otro tipo de tapón, es "**el hecho a medida**" de modo similar a los moldes de las prótesis auditivas. Estos van a acoplar mejor y van a ser más cómodos, pero no parecen ser más eficaces que los convencionales. Sin embargo el problema de la comodidad en un dispositivo que se debe usar muchas horas al día y durante largos años, es muy importante, por lo que consideramos que es un tipo muy digno de ser tenido en cuenta, y que tiene además la ventaja de su fácil colocación por estar precisamente hecho a medida. Su inconveniente es de coste.

Otra modalidad de tapón son los que se hacen "**a la demanda**" con materiales blandos y moldeables. El que inicia esta modalidad es el clásico tapón de algodón, que es totalmente ineficaz, pero no así los de algodón impregnado en cera, glicerina, etc., que ofrecen cierta protección. En esta línea tenemos también los de cera y los de silicona. Hace algunos años se introdujo un material para confeccionar tapones a la demanda, que es la "lana sueca" o glass down, que parece tener mejores propiedades protectoras que los demás. El inconveniente de estos tapones en general es que no siempre se confeccionan bien y por tanto se insertan mal. Algunas modalidades de este grupo, como los impregnados, ensucian el conducto y ciertos materiales como la cera, pueden fraccionarse y quedar en el conducto alguna porción como cuerpo extraño.

Una modalidad muy interesante es el "**tapón expansible**", que está hecho de una espuma de plástico altamente elástica y de forma cilíndrica. Se trata de un cilindro de dimensiones reducidas que cuando se inserta en el conducto se expande, con lo que hace un cierre perfecto siendo a su vez muy confortable por su blandura y suavidad. Se evitan al máximo con él la mala colocación y el disconfort.

Una de las objeciones que con más frecuencia se hacen de los tapones así como de los otros medios de protección es que no se oye el ruido de la máquina con lo que no pueden detectar un mal funcionamiento y que tampoco se oye la voz, con lo que no pueden atender a cualquier pregunta o llamada. Bien es verdad que en un ambiente de gran ruido tampoco esto sería posible sin tapones; no obstante no siempre toda la jornada laboral se hace necesariamente a altos niveles de ruido y cuando estos bajen o el sujeto salga del ambiente ruidoso debe quitárselos para oír adecuadamente, para insertárselos de nuevo. Para obviar este inconveniente se han diseñado "**los tapones no lineares**". Estos son unos tapones provistos de una válvula que solo actúa a altos niveles de ruido, de forma que dicha válvula se cierra ante tales niveles elevados. Estos tapones serían los ideales para el ruido de impulsos (este ruido es aquel que se produce por colisión: el martillo sobre el yunque por ejemplo) y no para el ruido continuo. Serían particularmente interesantes en aquellas situaciones laborales o de otro tipo en que solo en determinados momentos se produce una elevación del ruido como el mencionado de impulsos. Estos tapones por desgracia no han demostrado ser eficaces más que en situaciones particulares: ruido muy agudo de impulsos o las descargas de las armas cortas. Por ello no han tenido gran difusión. Finalmente debemos señalar una última modalidad de tapón, que es cualquiera convencional sujeto a una banda de auriculares, con lo que se pretendía una mejor inserción, que ha resultado ilusoria.

Los estudios llevados a cabo por Karmy y Coles (1976) sobre la eficacia de distintos tapones han demostrado que el tapón de algodón no da más que un amortiguamiento de 5 dB en 4000 Hz y ninguna en el resto. Los tapones V-51 R y los de algodón con glicerina suministran protecciones de hasta 20 dB en las frecuencias agudas y entre 10 y 15 en las medias y graves, y los de glass down, mejoran a los anteriores en unos 10 dB. Finalmente los tapones expansibles suministran protecciones de entre 25 y 40 dB, siendo bastante más eficaces que los restantes; su eficacia se aproxima a la de los auriculares.

## **b. Auriculares y asociación de tapón y auricular**

Los auriculares antisónicos se introdujeron en 1950 buscando una mayor protección. Los primeros modelos llevaban una lámina de plomo envuelta en un cojinete de goma. Resultaban pesados y poco eficaces. En la actualidad existen dos tipos: los de plástico sólidos esponjosos y los de líquido, generalmente glicerina diluida. Aunque parece ser que esto últimos son algo más eficaces, la eficacia de los auriculares está en función de su firme acoplamiento y ello supone una considerable molestia pues precisan una fuerte banda de fijación. Los usuarios se quejan de cefaleas y auténticas migrañas, así como otalgias siendo el sudor otro motivo de queja.

Los estudios llevados a cabo por los autores anteriores demostraron que los auriculares de líquido dan una superior protección a los demás dispositivos. Con ellos se obtiene amortiguaciones entre 30 y 45 dB según las frecuencias, algo superiores a los mejores tapones. Si se combina el uso de tapón y auricular, mejora la protección en unos 10 dB, con lo que se alcanzan amortiguamientos de hasta 50 dB.

La asociación se reservará para situaciones extraordinarias, pues al compás de su mayor eficacia aumenta la incomodidad.

Mayor eficacia aún cabría esperar de los **cascos con auriculares** pero estos no se han difundido en la industria, sino las actividades bélicas. Particularmente entre las tripulaciones de helicópteros, reactores y carros de combate. Se han logrado dispositivos muy perfectos que protegen del ruido, los golpes y choques. Algunos de ellos llevan incorporado un receptor de radio para la comunicación.

Ningún dispositivo antiruido es totalmente perfecto, pues todos dejan pasar parte importante del ruido. Cibiéndonos a los tapones y auriculares, el ruido pasa por 4 vías: por conducción ósea, por vibración del propio dispositivo, por transmisión a través de él y por filtración entre el dispositivo y la piel. Algunas de las vías de penetración carecen de solución, como la vía ósea (quizás con los cascos se logre algo en tal sentido). El paso a través del material tampoco tiene solución satisfactoria, salvo esperar a la introducción de nuevos materiales más perfectos. La vibración del dispositivo se puede paliar así como el filtrado del ruido, con una buena adaptación del dispositivo, tapón o auricular.

## **6.- SEPARACION DEL AMBIENTE RUIDOSO**

Cuando a pesar de todo lo expuesto se haya producido una evidente merma auditiva, el paciente deberá ser separado del medio ruidoso. Debemos decir que si se siguen las medidas que hemos estudiado, será poco probable que esto ocurra. Con protección individual sistemáticamente usada, y adecuando el tiempo de exposición al nivel de ruido, como ya hemos expuesto, no debe haber en teoría un daño auditivo evidente, salvo quizá pérdidas discretas en las frecuencias 4000-6000. Lo que ocurre es que no siempre se cumplen las recomendaciones hasta aquí expuestas. Partimos además de la base de que los candidatos a trabajar en industrias ruidosas habrán sido estudiado previamente y descartados aquellos sujetos con una fatiga auditiva patológica. En tales circunstancias, y con los controles periódicos que también hemos señalado, es como decimos, no muy frecuente que haya un daño auditivo socialmente importante. Sin embargo la sordera profesional existe aún cumpliéndose los requisitos expuestos y no digamos si estos no se cumplen; por desgracia esta última situación sigue siendo muy frecuente. Sea cual sea la situación al respecto, caídas superiores a 10 dB con respecto a la revisión anterior o mayores de 50 dB en 4000 y 6000, obligarán a tener el caso en consideración. Además de reiterar los controles en la forma dicha en el apartado correspondiente, se investigará si el sujeto usa las medidas de protección individual, y se le aconsejará hacerlo si ese fuera el caso. Si estas hubieran sido correctamente usadas, se deberá entonces reducir el tiempo de exposición a la mitad. Si a pesar de ello, la audición se sigue deteriorando en la revisión siguiente, será necesario aconsejar el cambio de actividad, hacia otra sónicamente normal.

Al llegar aquí se tropieza con dificultades laborales considerables pues no siempre las empresas disponen de puestos de trabajo no ruidosos, ni mucho menos existe facilidad para que el trabajador encuentre otro puesto de trabajo, ni que sea experto en él.

## **BIBLIOGRAFIA**

- BRAGDON, C.,R. *Noise pollution*. Univ Pennsylvania. Press. Philadelphia, 1971.
- BRUCE, R., D. Reduction of Noise at the Source. *The Otolaryng. Clin North America*. 12, 3: 563, 1979.
- CHOCHOLLE, R. *Le Bruit*. Press Univ de France, 1960.
- GLORIG, A. Industrial Hearing Conservation. *The Otolaryng. Clin North America*. 12, 3: 609, 1979.
- MAAS, R., Industrial Noise and Hearing Conservation. *Clinical Audiology* ed por J. Kartz. The Williams and Wilkins. Baltimore, 1972: 773.
- MATTEI, J. Reduction du bruit par action sur la propagation. *L, uomo e il rumore*. Ed Minerva Médica Torino, 1976: 239.
- KARMY, S., J. Y COLES, R.R.A. Hearing protection. *L, uomo e il rumore*. Ed Minerva Médica. Torino, 1976:260.



**CAPITULO 12**

**ASPECTOS LEGALES Y LABORALES DE LAS HIPOACUSIAS**

*D.R. Urquiza de la Rosa.*



## **ASPECTOS LEGALES Y LABORALES DE LAS HIPOACUSIAS**

La Medicina actual en las naciones avanzadas está sufriendo un proceso de "legalización" cada vez más marcado. La relación Ley y Medicina es cada vez más estrecha y los ámbitos de la misma se enriquecen constantemente. Esto es un hecho típico de las sociedades desarrolladas en el que intervienen un conjunto de factores no solo médicos, sino sociales, culturales e incluso políticos. Su análisis resulta apasionante pero desgraciadamente extenso. No obstante cabe destacar que el enorme componente tecnológico de la medicina actual y las fuertes demandas sociales en términos de calidad de vida, son hoy día los dos puntos claves para el incremento y desarrollo de esta relación.

Uno de los ámbitos en el que este desarrollo es más necesario y puede hacerse más patente, es en el de las pérdidas auditivas o hipoacusias. Esto es así porque la hipoacusia es una merma funcional que influye muy marcadamente sobre la calidad de vida y así mismo requiere para su análisis una formación y un soporte tecnológico múltiples y especializados, como se ha venido tratando en los capítulos precedentes.

Por ambas razones la Audiología, como disciplina que se ocupa de ella, se ve fuertemente involucrada en aspectos legales, delimitándose cada vez con más nitidez el campo de una nueva área, la Audiología Forense.

## **IMPORTANCIA MEDICA Y SOCIAL DE LA HIPOACUSIA**

La importancia Médica de las Hipoacusias es enorme. Un ejemplo de ello puede ser la comparación de la trascendencia para la vida de una sordera y una ceguera congénitas. El niño sordo no podrá reconocer la voz materna y sus avisos, perdiendo muchos componentes afectivos. Y lo que es peor, no podrá acceder al lenguaje, y con ello a un desarrollo intelectual armónico que puede terminar en retraso mental. Por otra parte el niño sordo se sentirá socialmente aislado, lo que sumado a lo anterior le va a producir en el futuro una actitud psicológica muy alterada, y a veces francamente patológica. La calidad de vida será pues mucho peor que la de un sujeto normal. Si esto se compara con las posibilidades de desarrollo intelectual, la integración social, la psicología, etc. de un invidente, el asunto es obvio, porque este último puede tener una calidad de vida bastante cercana a la de un sujeto normal. Asimismo la hipoacusia adquirida en estadios ulteriores al desarrollo del lenguaje, por ejemplo en la vida adulta, condiciona también problemas graves, porque el oído, a diferencia de la visión, es una función involuntaria que nos está poniendo permanentemente en contacto con el exterior, y su pérdida nos aísla ocasionando problemas de relación y un "entorno psicológico alterado". Las pérdidas auditivas moderadas van a tener también repercusiones diversas pero siempre importantes en los ámbitos de la vida, bien sean social, familiar o laboral.

Por otra parte la hipoacusia en sus distintos grados tiene una incidencia elevadísima en la población actual. Así por ejemplo según los resultados de una encuesta del Instituto de Nacional de Estadística de 1986 en nuestro país (1) las personas con algún tipo de deficiencia para oír se estimaban en 911.714, de las cuáles más de medio millón necesitan algún dispositivo (prótesis) para seguir una conversación normal, con todo lo que estos datos implican socialmente.

La importancia Social de las Hipoacusias es también muy grande. Sirva añadir algunos datos a los anteriores para ilustrar más esta afirmación. La población de nuestra comunidad alcanzaba los 6.789.772 habitantes en 1986 (1), y la tasa de deficientes auditivos entre 6 y 64 años se ha estimado en el 1,14% (1), lo que supone un colectivo potencial de cerca de 100.000 personas. Esta tasa nos parece baja a tenor de las cifras medias en Estados Unidos y Europa, según las cuáles debería estar entre el 6,6 y el 10% (2,3,4.). Además, se debe considerar que un 10% de este importante contingente patológico tiene problemas graves de comunicación, colecti-

vo que, por sus peculiares necesidades, ocasiona una importante carga social, especialmente si está deficientemente rehabilitado. Por otra parte y en términos generales, hay que resaltar el enorme costo social que acarrea este colectivo en su conjunto. No olvidemos que en Estados Unidos, con un sistema de salud escasamente socializado, la pérdida de audición es un problema de primera magnitud en costo social y económico.

Por otra parte las demandas de este colectivo solo por motivos laborales aumentaron más de 18 veces en Estados Unidos en menos de una década (1969-76) [2]. Así pues es previsible en nuestro país que este colectivo ocasione en los años próximos, siguiendo a estos países más avanzados, un aumento creciente de la actividad legal vinculada a la Hipoacusia. Estamos pues, a las puertas de una área de trabajo para el otólogo y un nuevo problema social del que vendrá a ocuparse la Audiología Forense.

## LA HIPOACUSIA COMO DAÑO EN MEDICINA LEGAL

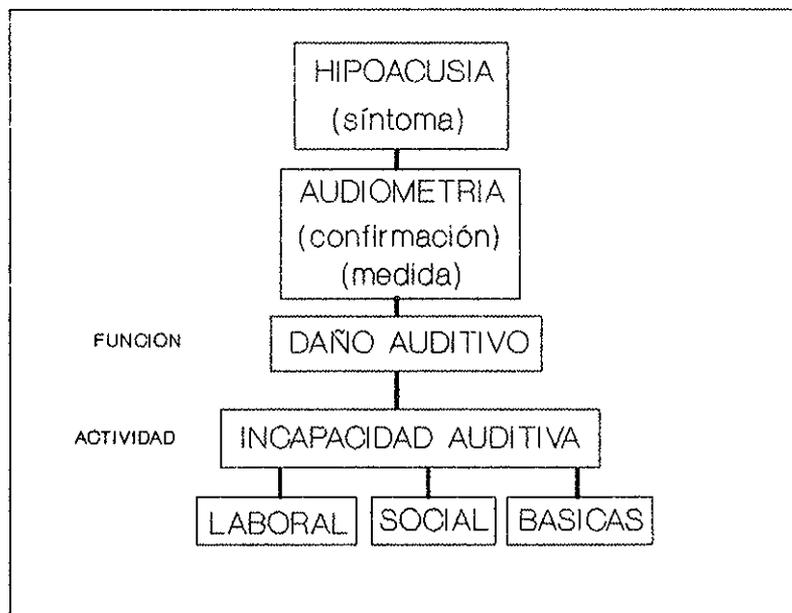
El concepto de hipoacusia ha sido suficientemente tratado en capítulos anteriores pero baste decir aquí que la hipoacusia, desde el punto de vista legal, representa un "daño" o deterioro de diverso grado en la función auditiva. Y, como tal daño, no debe considerarse al síntoma, sino a un hallazgo exploratorio objetivo y susceptible de una medida fiable y reproducible.

Ahora bien, debe distinguirse entre Daño y la Incapacidad producida por el mismo, es decir, entre Daño Auditivo, e Incapacidad Auditiva. Esta distinción tiene tanta mayor importancia, cuanto que es la Incapacidad Auditiva y no el Daño, el objeto del posible litigio.

Así pues, el concepto "daño" está en relación con la "afectación de la estructura o la función que sobrepasa el rango de la normalidad" ("impairment" de la literatura anglosajona [4]). Este daño puede ocasionar a su vez una perturbación en el desarrollo de las actividades diarias del sujeto relacionadas con esa función en sus dos ámbitos: el laboral y el privado (Fig. 1). Como consecuencia de la primera tiene lugar lo que se denomina "incapacidad" (*disability*), mientras que como consecuencia de la segunda y particularmente de las funciones básicas se produce lo que se denomina "minusvalía" (*handicap*). Es precisamente la influencia del daño en estos dos campos lo que va a determinar su importancia y las características de una posible compensación legal.

Normalmente minusvalía e incapacidad van paralelas, aunque no siempre, y esto último es debido a el carácter propio del daño, la rehabilitación, la estrategia laboral para minusválidos, y otros factores.

Figura 1

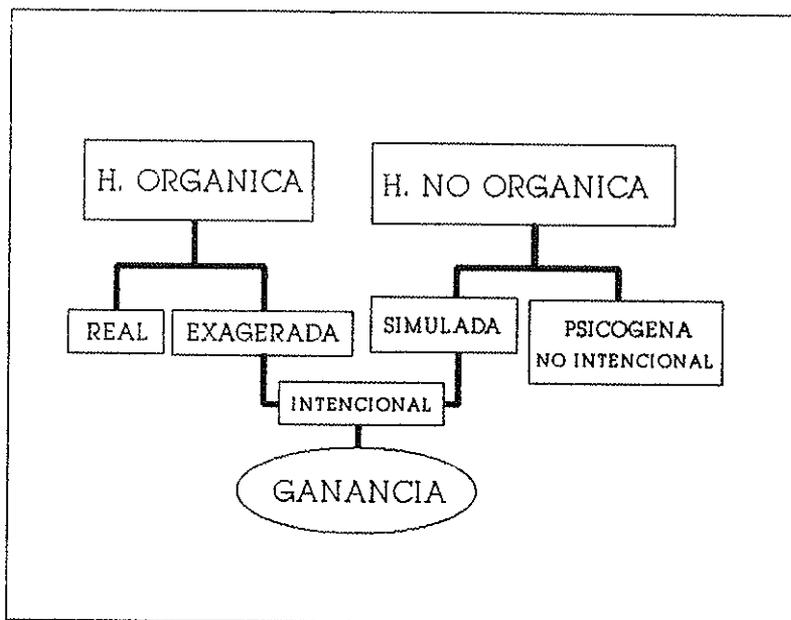


La hipoacusia como concepto legal. Daño e Incapacidad Auditiva y su entorno.

## TIPOS DE HIPOACUSIA Y CONCEPTOS AFINES

Aparte de los diversos tipos Clínicos de Hipoacusia que se han comentado anteriormente, desde el punto de vista legal debe distinguirse entre Hipoacusias Orgánicas, e Hipoacusias No Orgánicas. En las primeras el hallazgo exploratorio (audiométrico) es fiable y reproducible, y la medicina ha demostrado (y es demostrable o muy probable en el paciente) la existencia de un substrato anatómico afectado. En las segundas no se cumplen una o ambas condiciones. A su vez en este segundo grupo podemos distinguir las Hipoacusias Psicógenas (muy raras y coexistentes con otra patología psíquica), las Hipoacusias Simuladas o Fingidas por el sujeto para obtener una ganancia ("malingering" de la literatura anglosajona), y las Hipoacusias Exageradas, en las cuáles el sujeto finge un aumento de un daño existente, bien con objeto de obtener ganancia, o bien como efecto de un estado psicológico (sinistrosis).

Figura 2



Tipos de Hipoacusia en el marco legal.

## PERITACION EN AUDIOLOGIA

La función del perito debe comprenderse en su gran importancia y responsabilidad. A diferencia del testigo común que se limita a aportar unos datos, el perito tiene dos misiones suplementarias que van a determinar su esencia.

En primer lugar debe "obtener" esos datos, y además de una forma científica y fiable. Así pues es responsable directo de los hechos mismos, y no un simple espectador de ellos. Debe por ello adoptar una postura de estricta objetividad en todo el proceso, asegurándose de ello con una estrategia exploratoria clara. Estos aspectos son especialmente marcados en audiología, porque la determinación de una pérdida auditiva implica procedimientos complejos y una participación muy activa del examinador [5,6].

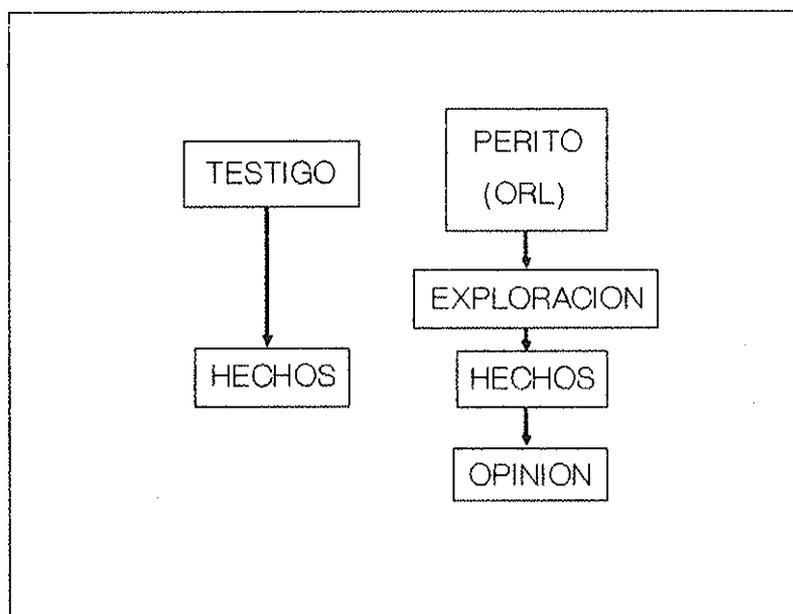
En segundo lugar, y lo que es más importante, una vez obtenidos estos datos científicos, el perito debe hacer una "interpretación" de ellos ante el que juzga. Esto es fundamental y necesario porque el juzgador (juez, tribunal calificador, etc.) desconoce por principio su valor. Así pues, una parte importante de la decisión legal va a recaer en el perito, lo que confiere a su papel la gran responsabilidad y transcendencia aludidas.

De esto hechos emergen claramente dos conceptos que condicionan la actividad del audiólogo como perito:

- la utilización de pruebas muy especializadas y
- el empleo de una estrategia específica,

que en su conjunto requieren un grado importante de especialización [5, 6]. Así pues, el perito debe dominar la batería audiológica que es en la actualidad muy diversa y en nuestra opinión también debe conocer profundamente la patología, es decir debe ser un buen otorrinolaringólogo.

Figura 3



La figura del Perito en Audiología.

### ESTIMACION DEL DAÑO E INCAPACIDAD AUDITIVA

La problemática de la evaluación es una cuestión compleja. Esto es así porque intervienen en ella factores no sólo médicos sino también sociales, profesionales y legales en sus distintos ámbitos (civil, administrativo y penal) que deben ser específicamente considerados para facilitar un informe pericial realmente útil.

Los objetivos de este proceso evaluador son dobles para el perito. En primera instancia debe determinar el grado y carácter del deterioro en la función correspondiente (audición, equilibrio, etc). En segunda instancia debe establecer la relación entre este deterioro de la función y la afectación de la actividad diaria del sujeto relacionada con dicha función. Es decir debe determinar daño e incapacidad consecuente.

A primera vista parece fácil establecer una gradación, pero un análisis profundo demuestra la complicación real del asunto.

En nuestra opinión para realizar este análisis se debería partir de cuatro premisas.

En primer lugar es necesario puntualizar que **una evaluación útil del daño requiere una exploración específicamente dirigida, y, hasta cierto punto, superespecializada**, como hemos tratado ya. Difícilmente son suficientes las exploraciones de rutina.

En segundo lugar es **necesario dejar bien definidos ciertos conceptos relacionados con el daño, no sólo por motivos didácticos, sino porque deberían quedar reflejados en el informe pericial. Estos son: daño, incapacidad, consolidación y situación previa.**

Los dos primeros conceptos han sido definidos y comentados ya ampliamente.

Por consolidación entendemos una situación de las lesiones que no es susceptible de modificación espontánea o mediante el tratamiento oportuno.

Asimismo es preciso hacer una evaluación al menos aproximada de la "situación previa" del órgano. Esta puede influir de dos maneras. En primer lugar aportando un cierto grado de incapacidad antes de que la causa de daño en cuestión comenzara a ejercer su acción; en segundo lugar proporcionando una situación patológica que aumente potencial y marcadamente las consecuencias del daño.

En tercer lugar, se debe puntualizar ahora que **la incapacidad es realmente el núcleo central de la evaluación**. Es, de hecho, una consecuencia del daño y sin embargo constituye realmente, e insistimos en ello, el objeto del posible litigio.

Puede ser transitoria, cuando no se ha llegado a la consolidación, o permanente, cuando se ha llegado a ella. En cuanto al grado puede dividirse en total o parcial.

Ahora bien, esta relación daño-incapacidad no es constante interindividualmente. Como en otras esferas, en

la incapacidad auditiva influyen factores dependientes de la magnitud del daño en sí mismo, pero también influyen específicamente otros que dependen de las características de lo que hemos denominado "el desarrollo de una actividad normal" en cada sujeto. Esto es especialmente patente en lo referente a la incapacidad derivada del daño funcional, auditivo en este caso.

Considerada a la luz de estos conceptos, la literatura sobre este punto resulta enormemente confusa conceptualmente, puesto que pretende establecer fórmulas para el cálculo del daño en base a sus consecuencias: la incapacidad. Así la American Academy of Otolaryngology and Ophthalmology (AAOO) estableció en 1959 una fórmula para el cálculo del daño ligada a la pérdida auditiva basada en la audiometría tonal (media de la pérdida en las frecuencias 500, 1000 y 2000, tanto en cuanto el daño en estas frecuencias afectaba a la audición de una conversación en ambiente tranquilo). Distintos grupos de sujetos estaban disconformes con los cálculos aceptados del daño que, bien les perjudicaba para el desarrollo de su actividad peculiar, o no reconocía las peculiaridades de la pérdida (afectación de tonos agudos en trauma acústico, p.ej.). Debido a ello surgió gran controversia y posteriormente en 1979 tuvo que modificarse la fórmula añadiendo la frecuencia 3000. A pesar de ello aparecen otras fórmulas en distintas instituciones (NIOSH, CHABA, OWCP etc) y no existe un acuerdo general para evaluar el daño, expresión de la confusión conceptual aludida [2, 4].

Contrariamente la literatura centroeuropea en general (alemana principalmente) parte conceptualmente de un marco más claro. El cálculo de la incapacidad se hace a partir del daño, en función de la experiencia del otólogo sobre la repercusión en la actividad diaria del daño en cuestión. Sin embargo algunas publicaciones recientes de otros países de nuestra Comunidad Económica Europea persisten en las concepciones antiguas buscando quizás mantener un proceso evaluador simplificado [7, 9].

Por todo ello, y en resumen, creemos que el daño debe evaluarse separadamente, sin implicar sus efectos, y posteriormente aplicar diversos factores para calcular la incapacidad "personalizando" las consecuencias y haciendo con ello el proceso evaluador más justo.

Así pues, matemáticamente, expresaríamos la incapacidad ocasionada por un proceso.

$$\text{Incapacidad} = [\text{D. Actual}] - \text{D. Previo}] \times \text{factor a} \times \dots \times \text{factor n} \times \text{factor riesgo}$$

Uno de estos factores viene determinando por aspectos socioprofesionales. Por ejemplo, no cabe duda que un cierto grado de hipoacusia va a afectar de manera distinta a un profesional de la música. Otro factor a introducir es la edad. En edades anteriores al desarrollo del lenguaje una hipoacusia va a producir problemas muy serios de la comunicación y con ello del desarrollo intelectual. En el adulto, sin embargo, se ha desarrollado ya la inteligencia y se puede compensar el déficit potenciando sistemas alternativos de comunicación, al menos parcialmente, por todo lo cual el problema es menos grave. Finalmente en un anciano con una actividad social reducida su repercusión puede ser más leve.

Nuestra legislación y normativa en este punto está aún parcialmente desarrollada [9, 10]. Atiende principalmente a los aspectos legales en el plano laboral, y no especifica sobre el sistema para el cálculo de la incapacidad, que queda por entero al criterio de cada perito sin ningún tipo de orientación. Por todo ello, la responsabilidad gravita en exceso en el perito, y por otra parte la persona que toma la decisión legal no dispone de información detallada suficiente, lo cual hace más vulnerable su dictamen.

Esta laguna debe llenarse por motivos legales, docentes, y puramente técnicos, y creemos que este tratado, escrito por profesionales, puede ser un instrumento adecuado para ello, pudiendo aportar orientación y criterios concretos sobre estos aspectos.

Y así en los próximos párrafos vamos a ir proponiendo procedimientos, fórmulas e índices para el cálculo de la incapacidad producida por los distintos tipos de hipoacusia. Todos ellos estrictamente encuadrados en el marco conceptual que hemos expuesto en las páginas precedentes y planteados exclusivamente como "**propuestas**" susceptibles de perfeccionamiento futuro.

Partiremos en primer lugar de la proposición de cuatro grados de Incapacidad que serían:

Grado I (I < 25 %) incapacidad leve (no pueden realizarse algunas funciones\* accesorias)

Grado II (I 25 -50 %) incapacidad moderada (algunas funciones\* básicas están afectadas)

Grado III (I 50 -75 %) incapacidad grave (no pueden realizarse algunas funciones\* básicas)

Grado IV (I > 75 %) incapacidad muy grave (no puede realizarse ninguna función\* básica)

Estos grados podrían ser referencia a su vez para los distintos grados de compensación económica, las medidas laborales, o penales correspondientes.

Establecidos ya los grados de la incapacidad propondremos a continuación el modelo para calcular el daño auditivo y los valores de los diferentes factores, basándonos en estas líneas fundamentales que hemos planteado.

\*se entiende funciones accesorias o básicas de la vida diaria relacionadas con las distintas funciones (audición, etc.)

Finalmente y en resumen, el procedimiento evaluador propuesto queda así constituido por 2 etapas:

**1º Cálculo del Daño**

**2º Cálculo de la Incapacidad y Grado.**

**1º Evaluación de la Magnitud del Daño**

Una vez analizadas las fórmulas existentes para establecer la magnitud del daño y puntualizando el marco conceptual, no queda más remedio que buscar fórmulas más precisas y aplicables, quizás menos simples, pero sujetas a una menor controversia.

En este sentido vamos a proponer una que tenga en cuenta los elementos que en nuestra opinión determinan la magnitud de la pérdida auditiva, que son:

- la afectación tonal, y
- la capacidad de compresión del lenguaje.

El parámetro que represente la afectación tonal tiene como misión expresar la pérdida en aquellas frecuencias que involucran no sólo al lenguaje, sino a otras actividades auditivas que requieren de un espectro frecuencial más amplio, como la audición musical, etc. Así pues en nuestra opinión este parámetro debe incluir todo el rango de frecuencias audibles. Elegimos por tanto la Pérdida Tonal Media Global por vía aérea (125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, y 8000 Hz), a diferencia de otras fórmulas, ya que nosotros vamos a considerar un segundo parámetro.

Este segundo parámetro debe representar específicamente la capacidad de compresión del lenguaje. En nuestra propuesta va a estar relacionado a la inteligibilidad máxima de ese oído. Este parámetro es importante porque, si bien suelen estar relacionados pérdida tonal e inteligibilidad máxima, de hecho, puede darse en la práctica un oído con una pérdida tonal moderada y un problema importante de integración del mensaje, fenómeno frecuente en ciertos pacientes denominado "regresión fonémica". Este planteamiento no está muy extendido pero no es nuevo, y la Military Veterans Administration americana combinaba ya en su procedimiento para el cálculo de la incapacidad auditiva parámetros derivados de ambos conceptos [2].

Así, utilizando estos planteamientos consideraremos un parámetro derivado de la inteligibilidad máxima: la Pérdida Mínima de Inteligibilidad ( $100 - I_{max}$ ). \*

Pero, para el cálculo del daño, hemos considerado que este parámetro va a afectar proporcionalmente en relación de 1:3 a la pérdida tonal media.

Y, así, para obtener la magnitud del daño sumáramos de forma ponderada estos parámetros según la fórmula siguiente:

$$\text{Daño} = \text{Pérdida Tonal Media} + \frac{(100 - I_{max})}{3}$$

Esto sería en situación legal de compensación por órgano afecto, caso para el que interesa el daño en ese órgano considerado como único. Pero en otras situaciones legales interesa la función global y se han de considerar entonces ambos oídos para lo cual el daño se calcula a partir de la Pérdida Tonal Media Global (PTMG) según la fórmula siguiente:

$$\text{PTMG} = \frac{(\text{PTM oído mejor} \times 7) + (\text{PTM oído peor})}{8}$$

**2º Estimación de la Incapacidad. Factores.**

Conforme a la fórmula de la página 175, estimamos los siguientes factores:

a) Afectación contralateral

- No ..... 1
- Sí \*\* ..... Cálculo PTMG

b) Factor Socio-Profesional

- Profesiones que requieren activamente de la conversación (locutores, profesores, etc) ..... 1.2
- Profesiones que requieren de un espectro frecuencial indemne..... 1.3
- Otras Profesiones ..... 1

\*En el caso de niños con desarrollo incompleto del lenguaje o cuando no se puede medir se considera = 100 % para evitar una influencia sobre el cálculo de la incapacidad.

\*\*A aplicar en caso de calcular incapacidad relacionada a tasas de Invalidez (S. Social)

c) Factor edad

< 4 años .....	2
4 - 65 años .....	1
> 66 años .....	0.9

d) Otros síntomas asociados (ver apartado siguiente)

Supongamos un ejemplo práctico.

Se trata de un individuo de 45 años, de profesión maestro, que como consecuencia de un accidente de tráfico ha sufrido fractura del temporal drcho. Como consecuencia de ello sufre hipoacusia de oído drcho. de tipo neurosensorial y un acúfeno persistente. El audiograma tonal supongamos que corresponde al inferior derecho de la figura 4. El audiograma verbal supongamos que corresponde al marcado con cuadrados en la figura 5.

La pérdida tonal media sería de 66.7 dB y se obtiene calculando la media en las distintas frecuencias, es decir sumando las distintas pérdidas tonales y dividiendo por 7.

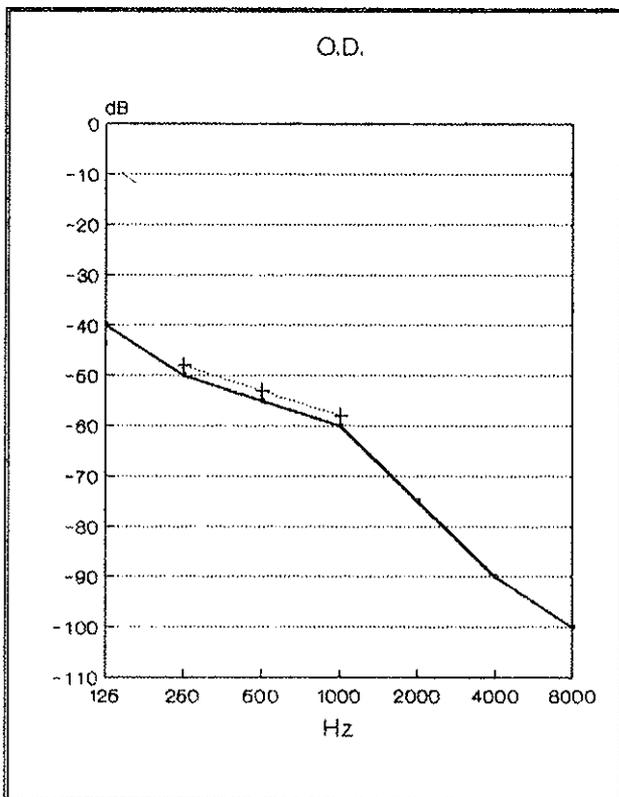
- pérdida tonal	125 Hz .....	40 dB,
-	250 Hz .....	50 dB,
-	500 Hz .....	55 dB,
-	1000 Hz .....	60 dB,
-	2000 Hz .....	70 dB,
-	4000 Hz .....	90 dB,
-	8000 Hz .....	100 dB,

La inteligibilidad máxima en ese oído del 70% según la curva de audiometría verbal, y por tanto la pérdida mínima de inteligibilidad va a ser 100-70, es decir 30 %.

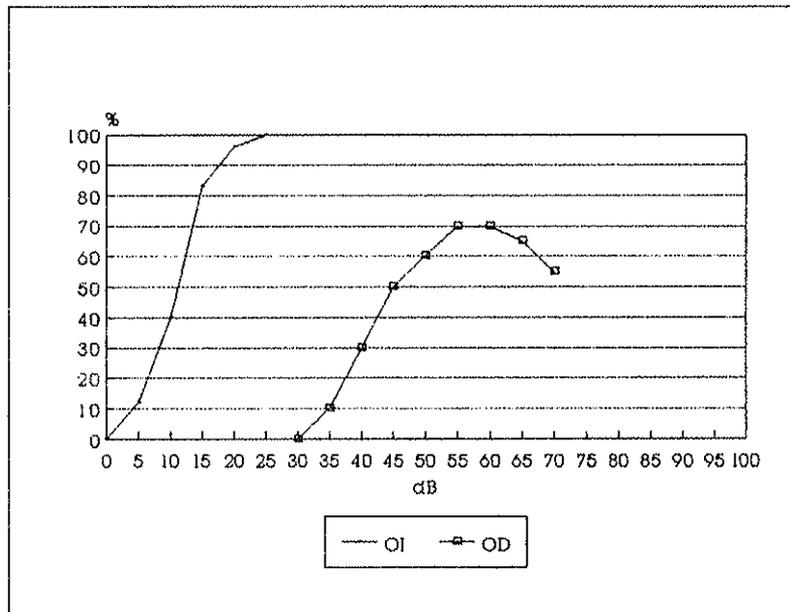
El oído izqdo está normal.

En primer lugar calculamos el daño que será igual a la suma de la Pérdida Tonal Media (70) y la tercera parte de la Pérdida Mínima de Inteligibilidad (100-70)/3, resultando un daño total de 76.4. Si el oído estaba sano previamente este sería el daño provocado por el accidente.

Para calcular la incapacidad multiplicamos sucesivamente el daño por los distintos factores resultando 76.4 x 1 x 1,2 x 1 x 1 x , lo que es igual a 91,6 % de incapacidad. Esto corresponde a la hora de posibles compensaciones a un grado de IV de incapacidad auditiva para ese oído (caso de compensación por órgano afecto; en otro caso calcular PTMG).



**Figuras 4 y 5**  
Audiogramas tonales y verbales de un supuesto caso práctico



### ACUFENOS Y OTROS SINTOMAS.

Los acúfenos, la algiacusia, la diplacusia etc., suelen ir acompañando a la hipoacusia en las enfermedades del oído interno principalmente. Por ello pueden considerarse como factores agravadores de la misma y así van a influir en el valor del daño calculado en su caso (pags. anteriores aptdo. d).

EL valor del factor sería:

- Presentes moderados ..... 1.1
- Presentes intensos ..... 1.2
- Ausentes ..... 1

Aparte de su presencia en los procesos de la cóclea acompañando a una hipoacusia neurosensorial o a un proceso de oído medio, los acúfenos también pueden constituir, aunque raramente, una enfermedad del oído en sí misma. En estos casos el clínico no encuentra pérdida auditiva tonal alguna (ocasionalmente alguna alteración mínima en inteligibilidad verbal) ni lesión orgánica a la que atribuir el síntoma, y por ello es mucho más importante la objetivación del mismo, tanto más cuanto que en estos casos es fundamental descartar a los simuladores. Así pues la acufenometría se convierte aquí en el elemento básico de la exploración. Debido a ello, y según nuestra opinión, **para aceptar los acúfenos pericialmente como constitutivo de daño auditivo la acufenometría debe dar resultados claramente positivos.**

Esto significa a nuestro modo de ver que:

- 1º Debe poder localizarse la frecuencia o el espectro frecuencial del acúfeno.
- 2º Debe poder estimarse a una intensidad aproximada del mismo.  
(en nuestra opinión tres rangos; por debajo de 60 dB, entre 60 y 90 dB y por encima de 90 dB)
- 3º Debe conseguirse enmascaramiento o atenuación del acúfeno con tonos o ruidos.  
( siempre que el acúfeno fuera inferior a 90 dB)  
y, finalmente.
- 4º Estos hallazgos deben ser reproducibles en una exploración consecutiva (intervalo menor de 12 h)

Opinamos que en estos casos el daño auditivo ocasionado por el acúfeno en sí mismo nunca podría ser superior al 50% de la función (\*), y por tanto le asignamos los siguientes valores:

- Acúfenos que no pueden enmascarse o atenuarse  
con sonidos de intensidad superior a 90 dB ..... 50%

(\*) En el peor de los casos la incapacidad obtenida nunca sería superior al 84%

- Acúfenos que si pueden enmascararse o atenuarse con sonidos de intensidad superior a 90 dB ..... 30%
- Acúfenos que si pueden enmascararse o atenuarse con sonidos de intensidad entre 90-60 dB ..... 20%
- Acúfenos que si pueden enmascararse o atenuarse con sonidos de intensidad inferior a 60 dB ..... 10%

En lo referente a los factores individuales se establecerían los siguientes:

a) Bilateralidad

- no ..... 1
- si ..... 1.2

b) Factor Socio-Profesional

- Profesiones que requieren activamente de la conversación (locutores, profesores, etc) ..... 1.2
- Profesiones que requieren de un espectro frecuencial indemne ..... 1.4
- Otras profesiones ..... 1

c) Factor edad

- < 65 años ..... 1
- > 66 años ..... 0.9

**ASPECTOS LABORALES DE LAS HIPOACUSIAS**

En el ámbito laboral la hipoacusia se plantea desde dos ángulos.

En primer lugar la hipoacusia puede ser la consecuencia del trabajo en un ambiente laboral ruidoso y nos encontramos frente a las hipoacusias profesionales, que como entidad clínica se tratan en otro capítulo de forma específica y que no requieren mayor comentario. En lo referente a su reparación nos remitimos a lo anteriormente expuesto en el apartado de evaluación, recordando que es la legislación en materia de Seguridad Social en sus artículos 135 a 149 [9 , 10] la que regula en nuestro país su evaluación, compensación, prestaciones, recuperación, etc. En lo referente a medidas de detección, protección individual y colectiva, y otros aspectos relacionados se debe señalar que en nuestro país se cuenta con legislación reciente al nivel de otros países de nuestro entorno (Real Decreto 1316/89) cuya observancia y custodia estimulan con acierto nuestros Centros de Seguridad e Higiene en el Trabajo y que se comentan en otro capítulo.

En segundo lugar la hipoacusia, siendo de un origen distinto a la profesión, puede influenciar según sus características el desarrollo laboral del sujeto. Así algunas profesiones requieren de una función auditiva muy bien conservada (músicos, etc,) y este hecho debe ser tenido en cuenta como se ha indicado ya, porque daños auditivos pequeños pueden producir incapacidades manifiestas. Y por otra parte cualquier hipoacusia bilateral cuyo grado imposibilite para la comunicación va a alterar marcadamente la actividad laboral del sujeto que se encontrará fuertemente limitada, obligando en muchos casos no solo a la reparación económica sino incluso a la retirada del puesto de trabajo.

## BIBLIOGRAFIA

Encuesta sobre discapacidades, deficiencias y minusvalías.  
Instituto Nacional de Estadística.  
Ed. Litofinter, S.A. Madrid 1987

Forensic Audiology. Kramer M.B. and Armbruster J.M.  
Ed. University Park Press Baltimore (USA). 1982.

Boniver R. and Norre M.E.  
Medico-Legal in ORL.  
Acta Oto-Rhino-Laryng Belg 1988; 42:720-771.

Davis H. Guide for the classification and evaluation  
of hearing handicap. Trans Am Acad Ophthalmol Otolaryngol  
69:740-751. 1965

Audiometría Clínica. M. Portmann y C. Portmann. Masson. Paris 1975

Evaluación de la audición en personas difíciles de examinar.  
Fulton R.T. y Lloyd L.L. Ed. Salvat (Barcelona) 1979.

Fonds des Maladies Professionelles 1978, 0952 n° 1.  
Critères de réparation de l'hypoacusie ou la surdité professionnelle  
Acta Oto Rhino Laryngol Belg 1992, 46, Suppl. 1, 41-46. L e

Roy M. L'expertise en ot-rhino-laryngologie.  
Enciclopedia Medico-Chirurgicale 20 905. Paris. 1991.

Ojeda, A. Fernández, M. Castiñeira, J.  
Legislación de Seguridad Social.  
Decreto 2065/1974 de 30 de Mayo. Texto refundido de la Ley  
General de la Seguridad Social. Título II: Capítulos V  
(Incapacidad Laboral Transitoria) y VI (Invalidez) : 90-98.  
Ed. Tecnos. Madrid. 1990.

Ojeda, A. Fernández, M. Castiñeira, J.  
Legislación de Seguridad Social.  
Real Decreto 2799/1985 de 2 de Octubre que desarrolla la  
Ley 26/1985: Capítulos II (Pensión de invalidez permanente),  
y III (Disposiciones comunes a las pensiones de jubilación  
e invalidez permanente): 148-154.  
Ed. Tecnos. Madrid. 1990.