

## Control de salida máxima

La mejor manera de reducir la salida de un audífono dependerá, sobre todo, de las propiedades de su control de salida y su circuito AGC. Normalmente, si el control de la salida se usa solo, se produce alguna distorsión. Por ello, se usa normalmente en conexión con el AGC con el fin de minimizar la misma.

## Control de compresión

La idea original del circuito de compresión era la de compensar el reclutamiento comprimiendo la gran variación de amplitud de los sonidos cotidianos dentro del rango dinámico más estrecho de un oído afectado. Sin embargo, puede que este tipo de compresión no funcione bien con ruido de fondo. Actualmente, el tipo de compresión más frecuentemente utilizado es el limitador. Éste reduce la salida de una forma similar al control de salida, pero sin introducir distorsión. Se utiliza para prevenir que los sonidos elevados lleguen a niveles inconfortables. Utilizando la compresión, el usuario no estará obligado a reducir la ganancia (con la consecuencia de que los componentes débiles del habla serán inaudibles) para evitar que unos pocos sonidos intensos lleguen a ser molestos.

El circuito de compresión puede estar situado antes o después del control de volumen. Este emplazamiento influye en su funcionamiento. Si se sitúa antes del control de volumen, se denomina «AGC de entrada» (AGC-I). Si se sitúa después del control de volumen se denomina «AGC de salida» (AGC-O) (fig. 13-7). El AGC de entrada se activa a un cierto nivel de la señal de entrada, independientemente del ajuste del nivel de volumen. El AGC de salida se activa a un cierto nivel de salida prefijado, con independencia del ajuste del volumen (fig. 13-8).

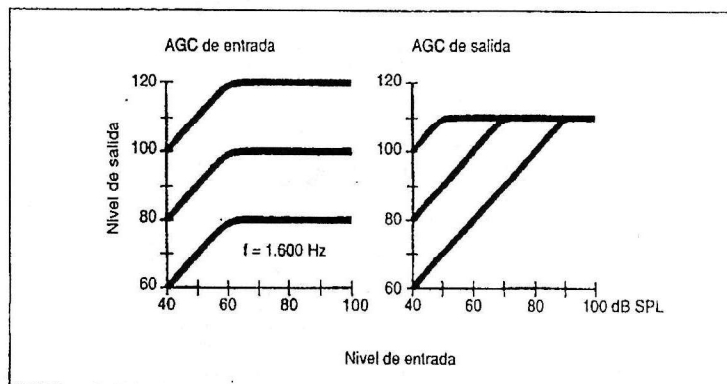


Fig. 13-7 Control de compresión (véase texto).

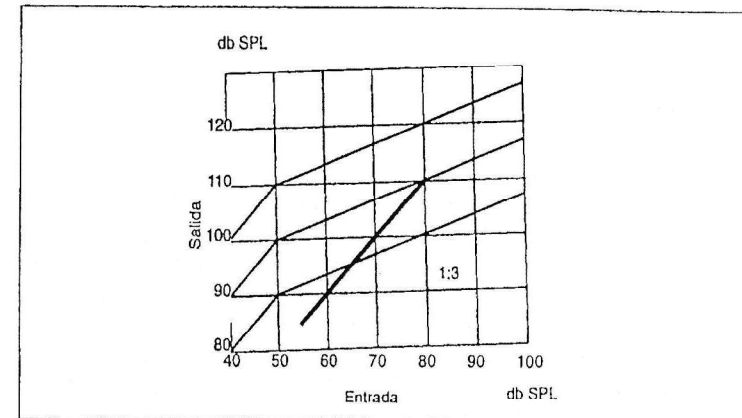


Fig. 13-8 Características de entrada/salida de un audífono con compresión de rango total (contrariamente a un audífono con AGC del tiempo limitador) con tres diferentes ajustes del control de volumen. El AGC es una compresión de entrada con su punto de inflexión a 50 dB SPL. El rango de compresión es de 1:3. Se sobreimpone una característica dinámica.

Otro tipo distinto de AGC está diseñado para estar activado con los niveles de entrada normal de la voz. Reproduce el nivel global de la señal de entrada como una variación reducida de la señal de salida. La pendiente de la característica entrada/salida ofrece la relación de compresión. La curva de entrada/salida es una característica estable y constante, válida sólo para cambios lentos de nivel.

Cuando se producen variaciones rápidas de nivel, como sucede con la voz normal, la ganancia sólo tendrá variaciones mínimas debido al tiempo lento de recuperación del circuito de AGC. De esta manera, la característica dinámica será una curva que se caracteriza por una ganancia constante. En la figura se representa con una pendiente de 1:1.

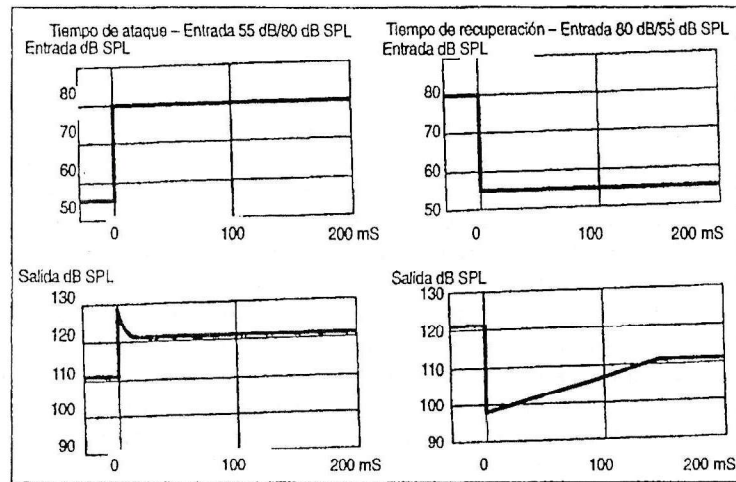
Un sonido fuerte y súbito activará el circuito de compresión. Éste tardará un cierto tiempo antes de reaccionar. Este tiempo se denomina de *ataque*. Cuando termina el sonido fuerte, la compresión se desactivará de forma gradual. La duración de este proceso se llama tiempo de *recuperación* (fig. 13-9).

## Otros tipos de AGC

En el curso de los últimos años se han ido desarrollando numerosos circuitos de compresión. Todos tienen el objetivo común de ajustar automáticamente la ganancia y/o la respuesta frecuencial del audífono en concordancia con la señal de entrada y el rango dinámico del usuario.

## AGC multicanal

En el AGC multicanal el sonido de entrada está dividido en dos o más canales frecuenciales, cada uno de los cuales tiene su propio circuito. El AGC multicanal posee la característica positiva de que un sonido elevado en una banda



>>>> Fig. 13-9 Tiempo de ataque y de recuperación de la compresión de un audífono: las gráficas superiores indican la señal de entrada y las inferiores, la señal de salida.

frecuencial no afectará la amplificación en una banda frecuencial distinta. Por otro lado, tiende a crear distorsiones espectrales que disminuyen los contrastes. Dicha distorsión puede tener un efecto negativo en la inteligibilidad del habla y, en consecuencia, en la aceptación del audífono.

### El procesamiento automático de la señal (ASP)

El ASP es esencialmente una forma de ajuste automático del corte de graves, según el contenido de los componentes de alta intensidad de las bajas frecuencias de la voz. Si los componentes dominantes de bajas frecuencias están presentes en la señal de entrada como, por ejemplo, en un coche o en tráfico intenso, la ganancia de las bajas frecuencias se reduce automáticamente para prevenir el enmascaramiento.

Esta reducción de los graves también puede prevenir sobrecargas en el audífono, y en consecuencia, evita las distorsiones.

### AGC de compensación de sonoridad

Existe un cierto número de circuitos de AGC, que incluye el denominado K-amp, cuyo objetivo es compensar el crecimiento anormal de la sonoridad, existente en numerosos hipoacúsicos. El efecto neto es que será menos necesario ajustar el control de volumen.

Los ajustes de audífonos con AGC de compensación de sonoridad frecuentemente son muy específicos para cada tipo de audífono. En general, el ajuste

se realiza sobre la base del audiograma y de las medidas de la percepción de sonoridad. Habitualmente la adaptación se lleva a cabo mediante un ordenador o un dispositivo de programación dedicado.

### Molde

El molde o adaptador anatómico tiene una enorme importancia para el correcto rendimiento y eficacia de una corrección auditiva protésica. Posee dos funciones principales:

1. Servir de nexo de unión entre el audífono y el conducto auditivo externo (CAE).
2. Obturar el CAE a fin de que las ondas de presión sonora se dirijan hacia el tímpano, impidiendo su salida al exterior, lo que producirá una pérdida de ganancia acústica además del molesto efecto Larsen (silbido).

Se puede decir sin riesgo de exageración que de una buena elección del tipo de molde, del material con el que va a ser confeccionado y de una buena técnica de realización y adaptación al oído externo del usuario depende la mayor parte del éxito y correcto rendimiento de una prótesis auditiva.

Existen varios tipos de adaptadores anatómicos dependiendo de su forma y del material utilizado, así como de ciertas modificaciones o manipulaciones en su estructura que pueden hacer variar sus características acústicas (ventilación, espiral, etc.).

En el caso concreto de los niños afectados de hipoacusias severas o profundas, es muy importante que el molde ajuste lo suficiente para permitir la utilización de la ganancia requerida, que en estos casos siempre es elevada, sin efecto Larsen. Es muy corriente ver niños con moldes mal ajustados, bien sea por una incorrecta confección o por el paso del tiempo, quienes, para evitar el silbido de acoplamiento, reducen mediante el control de volumen la ganancia del audífono, con lo que la eficacia de la prótesis es nula, o como mínimo insuficiente.

Veamos algunas normas básicas a tener en cuenta con los moldes:

1. El molde deberá ser siempre confeccionado a medida, y la adaptación y ajuste final efectuada por el audioprotesista. Deben ser rechazados los moldes estándar o «chupetes», ya que difícilmente conseguirán un buen ajuste.
2. Deberá conservarse en perfecto estado de limpieza y conservación, tanto por razones higiénicas como funcionales, ya que si el conducto por el que pasa el sonido está obturado por suciedad, cerumen o líquido, impedirá el correcto funcionamiento de la prótesis.
3. El molde debe renovarse periódicamente. La frecuencia dependerá de la edad del usuario. Cuanto más corta edad, mayor frecuencia, ya que el niño crece. Orientativamente, podemos indicar que si el aparato «silba» con el control de volumen en la posición indicada es un indicio de que el molde no ajusta lo suficiente.



## CONTROLES AJUSTABLES POR EL USUARIO

### Control de volumen (CV)

La mayoría de los audífonos poseen un control de volumen que permite al usuario ajustar la amplificación del audífono de acuerdo con los diferentes ambientes sonoros. Algunos audífonos no tienen un CV accesible al usuario. En su lugar, están equipados de algún tipo de control automático de la ganancia y ésta es prefijada por el fabricante o por el audioprotesista.

### Interruptor marcha/paro

El audífono se conecta y desconecta mediante el interruptor marcha/paro. Éste puede ser un pequeño interruptor montado en la carcasa del audífono o puede estar integrado en el portapilas, lo que facilita su manejo.

### Conmutador M-T

Numerosos modelos de audífono están provistos de un conmutador que permite al usuario seleccionar entre la señal del micrófono y la de un sistema de bucle magnético. Éste es el conmutador M-T. El audífono recibe la señal de un sistema de bucle magnético cuando se coloca el conmutador en la posición T. Estos sistemas se pueden instalar en teatros, cines o iglesias, y hasta en domicilios particulares. Mediante un sistema telemagnético bien ajustado, el uso de la bobina inductiva en vez del micrófono puede mejorar la calidad sonora significativamente si hay ruido de fondo y si la fuente sonora está lejos.

### Conmutador N/H

Algunos audífonos poseen un conmutador que puede alternar entre una respuesta normal y otra con predominio de los agudos (a menudo reemplaza el de M-T). En la posición H, cambiará su respuesta normal, para destacar los tonos agudos atenuando las bajas frecuencias. Esto mejorará la distinción de la palabra en ambientes ruidosos, por ejemplo, en el tráfico, en el tren y en el automóvil.

### Seleccionador de programas

Algunos audífonos multiprograma tienen un conmutador de selección de programas en el mismo audífono.

## Control remoto

Numerosos usuarios prefieren controlar su audífono de una manera más sofisticada. Quieren seleccionar entre una gran variedad de prestaciones, dependientes del ambiente que les rodea. Ya que el usuario frecuentemente quiere un audífono bastante pequeño y de estética atractiva, estos controles no pueden ser implantados de forma tradicional, con conmutadores y potenciómetros. Por ello, se han desarrollado audífonos con diferentes programas que pueden ser seleccionados por el mismo usuario. Cada programa contiene una combinación de ajustes de parámetros acústicos pensados para ofrecer una audición óptima para un usuario particular en determinadas condiciones acústicas. Mediante el control remoto, el usuario puede seleccionar entre un cierto número de programas preajustados. La transmisión de la señal del control remoto al audífono se realiza con luz infrarroja, ultrasonidos, o bien a través de ondas de radio.

## Clasificación por formatos

Según su forma, tamaño y colocación en el oído del paciente, los audífonos corresponden a diferentes clasificaciones:

**Audífono convencional.** El micrófono y bloque procesador están en una caja que el paciente aloja en un bolsillo. A esta caja se conecta un auricular mediante un cable. El auricular se acopla a un molde adaptador que se acopla a su vez al oído del paciente (fig. 13-10).

**Audífono retroauricular.** El micrófono y bloque procesador y auricular se introducen en una caja de reducidas dimensiones que se aloja detrás del oído del paciente. La onda acústica de salida se canaliza a través del codo, que además sirve de elemento de sujeción a la oreja del paciente. Al codo se le ac-

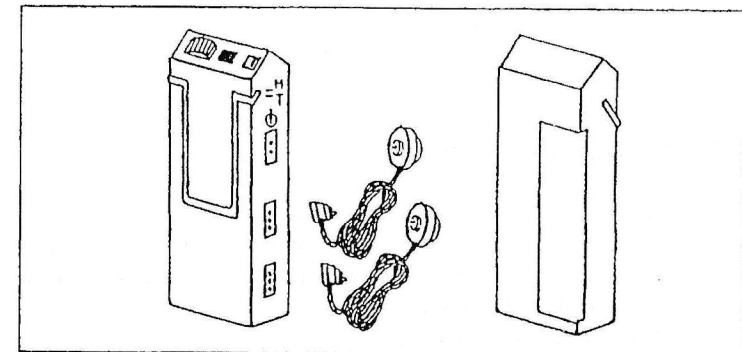


Fig. 13-10 Audífono convencional.

pla un tubo de goma que va acoplado a su vez a un molde adaptador que tiene hecho un orificio para permitir la canalización de la onda acústica al interior de conducto auditivo del paciente (fig. 13-11).

**Audífono intraauricular.** El micrófono, el bloque procesador y el auricular se encuentran en el interior del oído del paciente, es decir, dentro del molde adaptador. En este caso, al tener que alojar componentes en su interior, el molde adaptador debe ser hueco, por lo que en este caso recibe la denominación de carcasa (fig. 13-12).

### Tipos de intraauricular (fig. 13-13)

**Intraconcha.** El audífono cubre la concha por completo.

**Intracanal.** El audífono cubre el canal auditivo por completo, pero deja la concha libre. El micrófono está en la primera curva del conducto auditivo.

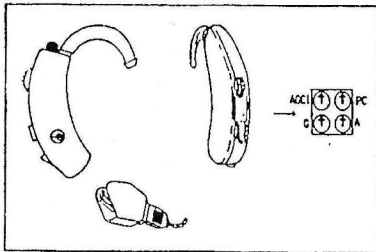


Fig. 13-11 Audífono retroauricular.

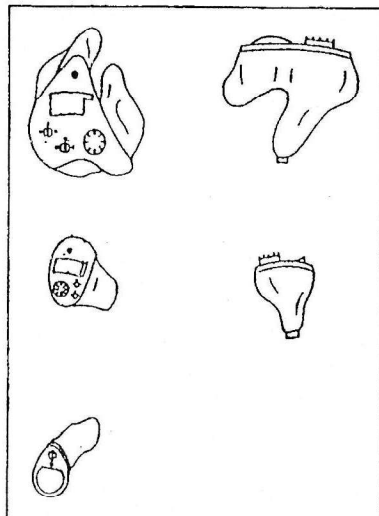
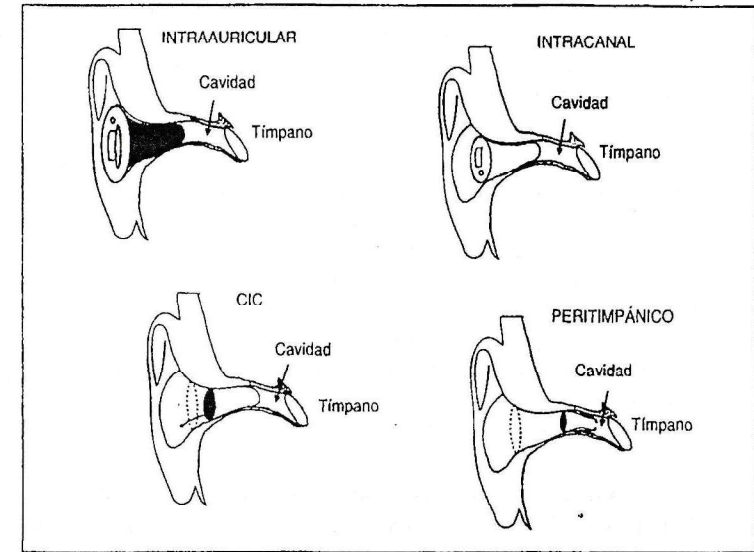


Fig. 13-12 Audífonos intraauriculares.



>>>>

Fig. 13-13 Tipos de audífonos intraauriculares.

**Intra-CIC.** Va insertado completamente dentro del conducto auditivo. El micrófono queda en la segunda curva del conducto auditivo externo.

### Clasificación por tecnología

Para poder realizar una buena clasificación de los audífonos según su tecnología es importante diferenciar los siguientes bloques constitutivos del mismo:

**Bloque de proceso.** Conjunto de circuitos y sistemas que realizan el tratamiento de la señal como, por ejemplo, amplificación, filtrado, comprensión, limitación, etc.

**Bloque de control.** Conjunto de sistemas que permiten regular las características del bloque de proceso, de forma que éstas se adapten de forma óptima a las necesidades del usuario.

La clasificación de los audífonos según criterios tecnológicos depende, pues, de la forma en la que estén implementados estos dos bloques. Los tipos de tecnología aplicables son: tecnología analógica y tecnología digital.

Combinando todo ello, los audífonos se dividen en los siguientes tipos:

**Audífono analógico.** Tanto el proceso de señal como el control de las etapas de proceso de señal se realizan mediante tecnología analógica. Este tipo



de audífonos implementan filtros, amplificadores, etc., mediante circuitos analógicos. Además, el control de la señal, es decir, el control de los ajustes de las diferentes etapas, ya sean amplificadoras, filtradoras, compresoras, etc., se realiza también de forma analógica, es decir, mediante resistencias variables electromecánicas comúnmente denominadas *trimmers* en la terminología audio-protésica.

Este tipo de audífonos presenta algunos inconvenientes derivados del uso de reguladores electromecánicos (potenciómetros y resistencias variables): a) coste de manufactura asociado a la complejidad mecánica de los mismos y a los requerimientos de precisión; b) tamaño asociado. Un incremento de la flexibilidad de ajuste del audífono va ligado a un aumento del número de reguladores. Ello implica, en consecuencia, la existencia de una relación de compromiso entre flexibilidad y tamaño; c) poca estabilidad de las características debido al desgaste por envejecimiento, y d) poca fiabilidad debido a la humedad asociada al contacto con la piel.

**Audífono analógico de control (programación) digital.** En este caso el proceso de señal, como en el caso anterior, se implementa de forma analógica; sin embargo, el control de las etapas de proceso de señal se realiza mediante tecnología digital. Por ello, los filtros, amplificadores, etc., se implementan mediante circuitos analógicos, pero en este caso, el control de la señal se realiza mediante circuitos digitales (programadores) que envían órdenes a la memoria emplazada en el bloque de proceso para que sus circuitos analógicos se ajusten a las necesidades del usuario.

Este tipo de audífono presenta una serie de ventajas importantes con respecto a los analógicos descritos en el apartado anterior:

1. No se necesitan elementos electromecánicos en el audífono. Ahorro de espacio.
2. Posibilidades de utilizar el espacio adicional para incorporar mayor cantidad de circuitos, más flexibles y de mayores prestaciones, por ejemplo, filtros de orden superior.
3. Mayor precisión en los ajustes.
4. Mayor estabilidad de las características de los reglajes, al no estar sometidos a desgaste por envejecimiento.
5. Posibilidad de almacenar en la memoria del audífono más de un ajuste (programa), de forma que el usuario pueda cambiar este último en función del entorno acústico en el que se encuentre.

**Audífono digital.** En este caso el audífono incorpora un circuito digital procesador de la señal (DSP). El ajuste de las características del audífono se realiza también mediante programador digital como en el caso de los analógicos programables. La tecnología digital no pudo aplicarse al proceso de señal en los audífonos hasta el año 1996, por razones de tamaño y consumo. Hasta esa fecha no pudieron implementarse microprocesadores alimentados con una tensión de 1 V (tensión suministrada por las pilas usadas por

los audífonos) y del tamaño y consumo de corriente necesarios para poder realizar un audífono aceptable por los estándares del mercado audiopro-tésico.

Este tipo de audífono presenta una serie de ventajas importantes con respecto a los analógicos descritos en el apartado anterior:

1. Mayor calidad de sonido.
2. Mayor flexibilidad.
3. Menor ruido de fondo.
4. Mayor miniaturización.
5. Posibilidades de proceso de sonido adicionales no implementables mediante proceso analógico.

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ACÚSTICO DEL AUDÍFONO

El audífono es un *sistema* acústico, que tiene una entrada y una salida acústicas.

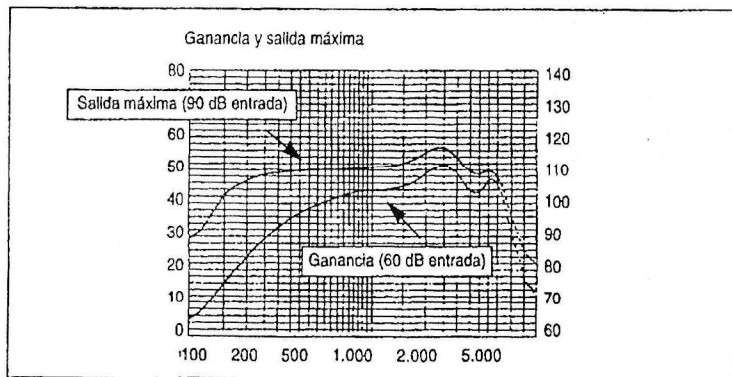
Por ello, nos interesará conocer su respuesta acústica en función de la frecuencia. En ella podremos comprobar la amplificación que proporciona el audífono para cada frecuencia, lo que resultará de gran interés, ya que en función de la audiometría del paciente el audífono deberá aplicar ganancias diferentes para cada frecuencia. Esta característica se denomina *curva de ganancia*. Se mide aplicando un nivel de entrada de 60 dB y observando el nivel producido a la salida. La ganancia será, pues, el resultado de restar la salida de la entrada.

Asimismo, nos interesará conocer el máximo nivel de presión acústica que podrá entregar el audífono, que mediremos en dB a la salida del audífono para cada frecuencia, y que se denomina *curva de salida máxima*. Para asegurarnos de que el audífono nos entrega su máximo nivel de salida, nos aseguraremos de que su ganancia sea máxima y le entregaremos, asimismo, un nivel de entrada alto, concretamente de 90 dB (fig. 13-14).

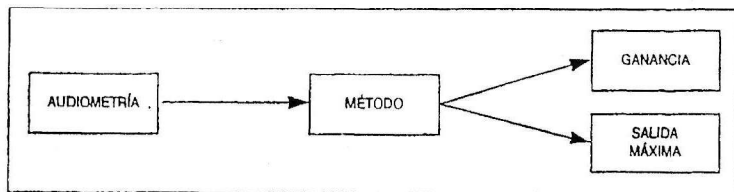
## METODOLOGÍA DE ADAPTACIÓN

El método de adaptación es el protocolo que nos permite, a partir de la audiometría del paciente, determinar las curvas de salida máxima y de ganancia óptimas para compensar dicha pérdida. Existen diferentes métodos de adaptación que responden a filosofías diferentes. Básicamente, el protocolo se basa en una serie de reglas matemáticas de cálculo que, a partir de los datos audiométricos, resultan en los datos de ganancia y salida máxima (fig. 13-15).

El objetivo general de los métodos de adaptación es conseguir la máxima adaptación entre el margen dinámico audible por un normoyente y el margen



>>>>> Fig. 13-14 Evaluación del comportamiento acústico de un audífono (véase texto).



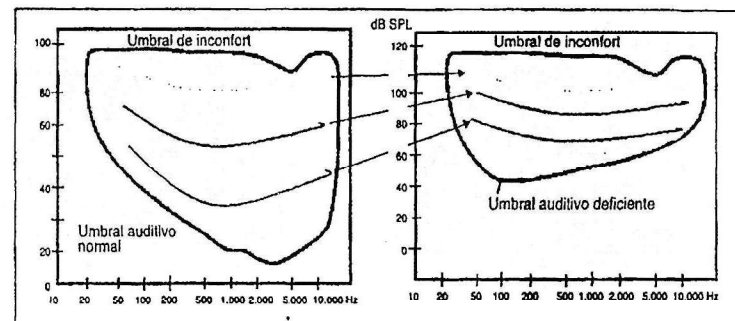
>>>>> Fig. 13-15 Adaptación de datos audiométricos que resultan en «ganancia» y «salida máxima».

dinámico residual del hipoacúsico, mediante la correcta selección de la ganancia y salida máxima del audífono (fig. 13-16).

Si transformamos el audiograma a dB SPL, hallamos el campo auditivo residual del hipoacúsico. Si lo comparamos con el de un normoyente, es evidente que tenemos que transferir cuantos más sonidos posibles de un campo a otro, lo que debe hacerse cumpliendo las siguientes condiciones:

1. Que para entradas de alta intensidad (100 dB SPL) el audífono no alcance, ni mucho menos sobrepase, los valores de incomfort o tolerancia del hipoacúsico en ninguna de las frecuencias.
2. Que la voz normal (60 dB SPL) sea transferida al nivel MCL del usuario.
3. Que la dinámica comprendida entre la voz normal y la muy fuerte sea razonablemente repartida en la dinámica residual.
4. Que las distorsiones producidas por el propio aparato no sobrepasen un valor aceptable (10 %).

La selección de la prótesis que mejor cumpla todas estas (y otras) condiciones se basa en el análisis y medida electroacústica de los diferentes tipos y modelos. Sin embargo, el proceso es muy laborioso ya que, como se ha citado



>>>>> Fig. 13-16 Ejemplo de modificación de las respuestas acústicas que permite un audífono flexible.

antes, las prótesis actuales diseñadas y construidas con tecnología avanzada tienen una extrema flexibilidad debido a sus múltiples posibilidades de reglaje.

Para finalizar vamos a comentar, brevemente, los tres puntos restantes del esquema antes citado.

Ahora ya sólo queda buscar un audífono que pueda cumplir con dicha curva ideal. La respuesta ideal del audífono varía de forma importante en función de la audiometría del paciente (estimación de las capacidades residuales auditivas del mismo). Por ello, será muy importante disponer de audífonos con flexibilidad de ajuste de su respuesta. En la figura 13-17 se exponen las modificaciones de la respuesta acústica que permite un audífono flexible.

## ADAPTACIÓN

Se entiende por adaptación el hecho físico de colocar las prótesis con sus adaptadores anatómicos. En los niños, este acto se ha de efectuar en presencia de los padres y, si es posible, del logopeda, a quienes se instruirá en la correcta colocación y mantenimiento de los aparatos.

## CONTROL DE EFICACIA

Siempre se realiza en campo libre con las prótesis colocadas. Se entiende por campo libre una habitación acondicionada acústica e instrumentalmente para poder emitir voz o tonos de intensidad controlada y recoger la apreciación o reacción del hipoacúsico. En los adultos, el control de eficacia se realiza mediante audiometría vocal. En los niños, en los que esto no es posible, se realiza con tonos, preferentemente modulados o *warble*, a nivel liminar y supraliminar. El objetivo es hallar el umbral protésico. Este control, por el hecho de ser subjetivo, tiene en el caso de los niños pequeños los mismos problemas que la realización de la exploración audiométrica y se solucionan con los mismos métodos.



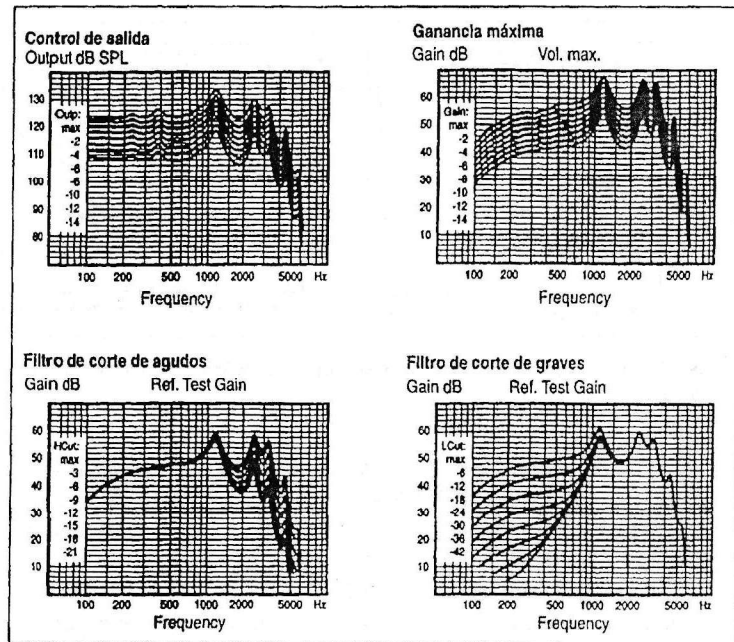


Fig. 13-17

## SEGUIMIENTO PROTÉSICO

La corrección auditiva protésica no termina, especialmente en los niños, con la colocación de los audífonos. Muy al contrario, puede considerarse que empieza.

El audioprotesista, en colaboración con los padres y el logopeda, deberá efectuar un seguimiento periódico a fin de comprobar la permanencia de las características acústicas de los aparatos, o bien de modificarlas, si así conviene.

## BIBLIOGRAFÍA

- BERGER, K. W.: *Prescription of Hearing Aids. Rationale Procedure and Results*. Herald Publishing House, 1977.
- KATZ, J.: *Handbook of Clinical Audiology*. Williams & Wilkins, 1985.
- MARTÍNEZ, J.: «La microelectronique et l'evolution des protheses auditives». *Audition et Parole*, 3, 1983.
- MARTÍNEZ, J.: *Selección de la curva de respuesta ideal de la prótesis auditiva*. Ver y Oír, 4, 1983.
- RENARD, X.: *La méthode du pre-reglage pour le choix de l'appareillage auditif*. Librairie Arnette, París, 1983.
- SANDLIN, R. E.: *Hearing Aid Amplification*, 2.ª ed. Singular Pub. Group, 2000.

VALENTE, M.: *Hearing Aids: Standards, Options, and Limitations*. Thieme Medical Publishers, 1996, 448 páginas.

VALENTE, M.: *Strategies for Selection and Verifying Hearing Aid Fittings*. Thieme Medical Publishers, 1994, 422 páginas.

VICTOREEN, J. A.: *Hearing Enhancement*. Springfield, 1973.

VONLANTHEN A.: *Hearing Instrument Technology for hearing healthcare professional*, 2.ª ed. Singular Pub. Group, 1999, 184 páginas.