

Elección y adaptación de prótesis auditivas

2.^ª edición
revisada y actualizada

Consulte nuestra página web: www.sintesis.com
En ella encontrará el catálogo completo y comentado



Queda prohibida, salvo excepción prevista en la ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra sin contar con autorización de los titulares de la propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual (arts. 270 y sigs. Código Penal). El Centro Español de Derechos Reprográficos (www.cedro.org) vela por el respeto de los citados derechos.

Elección y adaptación de prótesis auditivas

Rubén Torrejón Sánchez

Créditos fotográficos:

Phonak®:
figura 1.12.

José Luis Caro Rufo, las gráficas:
2.1 a 2.30, 2.36 a 2.38, 3.7, 4.2, 4.3, 4.5, 5.47.

MED-EL Elektromedizinische Geräte Gesellschaft m.b.H., las imágenes:
6.1 a 6.3 y 6.5 a 6.11.

© Rubén Torrejón Sánchez

© EDITORIAL SÍNTESIS, S. A.
Vallehermoso, 34. 28015 Madrid
Teléfono 91 593 20 98
www.sintesis.com

ISBN: 978-84-9077-369-7
Depósito Legal: M-10.558-2019

Impreso en España - Printed in Spain

Reservados todos los derechos. Está prohibido, bajo las sanciones penales y el resarcimiento civil previstos en las leyes, reproducir, registrar o transmitir esta publicación, íntegra o parcialmente, por cualquier sistema de recuperación y por cualquier medio, sea mecánico, electrónico, magnético, electroóptico, por fotocopia o por cualquier otro, sin la autorización previa por escrito de Editorial Síntesis, S. A.

Índice

| | |
|---------------------------|----|
| PRESENTACIÓN | 11 |
|---------------------------|----|

PARTE I

TECNOLOGÍA DE LAS PRÓTESIS AUDITIVAS NO IMPLANTABLES

| | |
|---|----|
| 1. ELEMENTOS COMUNES DE LAS PRÓTESIS AUDITIVAS NO IMPLANTABLES | 15 |
| Objetivos | 15 |
| Mapa conceptual | 16 |
| Glosario | 16 |
| 1.1. Introducción | 17 |
| 1.2. Prótesis auditiva no implantable | 17 |
| 1.3. Componentes de la prótesis auditiva no implantable | 18 |
| 1.3.1. Transductor de entrada | 18 |
| 1.3.2. Bloque proceso | 22 |
| 1.3.3. Bloque control | 22 |
| 1.3.4. Transductor de salida | 22 |
| 1.3.5. Fuente de alimentación | 24 |
| Resumen | 27 |
| Ejercicios propuestos | 27 |
| Supuesto práctico | 28 |
| Lee y debate en clase | 28 |
| Actividades de autoevaluación | 29 |

| | |
|---|----|
| 2. CLASIFICACIÓN DE LAS PRÓTESIS AUDITIVAS NO IMPLANTABLES | 31 |
| Objetivos | 31 |
| Mapa conceptual | 32 |
| Glosario | 33 |
| 2.1. Clasificación según su tecnología | 33 |
| 2.1.1. Tecnología analógica | 33 |
| 2.1.2. Tecnología analógica programable digitalmente | 37 |
| 2.1.3. Tecnología digital | 38 |
| 2.2. Clasificación según su morfología | 57 |
| 2.2.1. Conducción del sonido por vía aérea | 58 |
| 2.2.2. Conducción del sonido por vía ósea | 61 |
| 2.3. Ayudas técnicas relacionadas y no relacionadas con el audífono | 62 |
| 2.3.1. Frecuencia modulada | 62 |
| 2.3.2. Bucle magnético | 64 |
| 2.3.3. Ayudas técnicas del hogar | 64 |
| Resumen | 65 |
| Ejercicios propuestos | 66 |
| Supuesto práctico | 67 |
| Lee y debate en clase | 67 |
| Actividades de autoevaluación | 69 |

PARTE II

SELECCIÓN DE PRÓTESIS AUDITIVAS NO IMPLANTABLES: INSTRUMENTOS PARA EL ANÁLISIS Y AJUSTE

| | |
|---|----|
| 3. ANALIZADOR DE AUDÍFONOS | 73 |
| Objetivos | 73 |
| Mapa conceptual | 74 |
| Glosario | 74 |
| 3.1. Definición | 75 |
| 3.2. Tipos de analizador | 75 |
| 3.3. Partes del analizador | 76 |
| 3.4. Funcionamiento del analizador | 78 |
| 3.5. Normativa de medición | 78 |
| 3.6. Hojas técnicas de los fabricantes de audífonos | 79 |
| 3.7. Medición de las características electroacústicas de las prótesis auditivas | 80 |
| 3.7.1. Medidas cuantitativas | 84 |
| 3.7.2. Medidas cualitativas | 86 |
| Resumen | 92 |
| Ejercicios propuestos | 92 |
| Supuesto práctico | 96 |
| Lee y debate en clase | 96 |
| Actividades de autoevaluación | 97 |

| | |
|--|-----|
| 4. ADAPTACIÓN DE PRÓTESIS AUDITIVAS NO IMPLANTABLES | 99 |
| Objetivos | 99 |
| Mapa conceptual | 100 |
| Glosario | 100 |
| 4.1. Factores de elección de un audífono | 101 |
| 4.1.1. Ganancia necesaria | 102 |
| 4.1.2. Consideraciones anatómicas o patológicas | 103 |
| 4.1.3. Edad del usuario | 104 |
| 4.1.4. Evolución de la pérdida auditiva | 104 |
| 4.1.5. Criterios técnicos | 105 |
| 4.1.6. Consideraciones estéticas | 105 |
| 4.1.7. Coste económico | 105 |
| 4.1.8. Actitud general del usuario | 105 |
| 4.2. Técnica de elección | 106 |
| 4.3. Métodos de adaptación | 114 |
| 4.3.1. Métodos comparativos | 114 |
| 4.3.2. Métodos prescriptivos | 115 |
| 4.3.3. Métodos mixtos | 115 |
| 4.4. Métodos de cálculo de ganancia para tecnología lineal | 115 |
| 4.4.1. Método del audiograma invertido | 116 |
| 4.4.2. Método de la mitad de la ganancia | 116 |
| 4.4.3. Método Berger | 117 |
| 4.4.4. Método de 1/3 de la ganancia | 118 |
| 4.4.5. Método de POGO (<i>prescription of gain and output</i>) | 119 |
| 4.5. Métodos de cálculo de ganancia para tecnología no lineal | 121 |
| 4.5.1. Método del NAL (National Acoustics' Laboratory) | 121 |
| 4.5.2. Método <i>desired sensation level</i> (DSL) | 123 |
| 4.6. Equipos y aplicaciones informáticas | 126 |
| 4.6.1. Plataforma Noah | 126 |
| 4.6.2. <i>Software</i> de ajuste de audífonos | 128 |
| Resumen | 133 |
| Ejercicios propuestos | 134 |
| Supuesto práctico | 137 |
| Lee y debate en clase | 137 |
| Actividades de autoevaluación | 138 |

PARTE III

TECNOLOGÍA Y CLASIFICACIÓN DE PRÓTESIS AUDITIVAS IMPLANTABLES

| | |
|---|-----|
| 5. TÉCNICA DE ADAPTACIÓN DE PRÓTESIS AUDITIVAS EN OÍDO REAL | 143 |
| Objetivos | 143 |
| Mapa conceptual | 144 |
| Glosario | 144 |
| 5.1. Introducción | 145 |
| 5.2. Pruebas de verificación objetiva | 145 |
| 5.3. Consideraciones previas antes del proceso de ajuste en oído real | 146 |
| 5.3.1. Exploración otoscópica | 146 |

| | | |
|-------------|--|------------|
| 5.3.2. | Calibración de la sonda | 147 |
| 5.3.3. | Posicionamiento del altavoz | 148 |
| 5.3.4. | Colocación de la sonda | 148 |
| 5.4. | Abreviaturas ANSI s3 46 para el uso del analizador en REM | 150 |
| 5.4.1. | Respuesta en oído real no amplificada (REUR) | 150 |
| 5.4.2. | Ganancia en oído real no amplificada (REUG) | 151 |
| 5.4.3. | Respuesta en oído real amplificado (REAR) | 151 |
| 5.4.4. | Ganancia en oído real amplificado (REAG) | 152 |
| 5.4.5. | Respuesta en oído real ocluido (REOR) | 153 |
| 5.4.6. | Ganancia del oído real ocluido (REOG) | 153 |
| 5.4.7. | Ganancia de inserción en oído real (REIG) | 154 |
| 5.4.8. | Respuesta de saturación en oído real (RESR) | 155 |
| 5.4.9. | Diferencia entre el oído real y el dial audiométrico (REDD) | 155 |
| 5.4.10. | Diferencia entre oído real y acoplador 2 cc (RECD) | 156 |
| 5.5. | Abordaje de la curva objetivo | 158 |
| 5.5.1. | Paralela fase método comparativo | 158 |
| 5.5.2. | Paralela fase método prescriptivo | 158 |
| 5.5.3. | Parámetros de programación | 160 |
| 5.5.4. | Resolución de problemas | 168 |
| 5.6. | Pruebas de verificación | 170 |
| 5.6.1. | Audiometría en campo libre | 170 |
| 5.6.2. | Ganancia cuantitativa | 172 |
| 5.6.3. | Ganancia cualitativa | 172 |
| 5.6.4. | Metodología de ACL en niños | 173 |
| | Resumen | 175 |
| | Ejercicios propuestos | 176 |
| | Supuesto práctico | 177 |
| | Lee y debate en clase | 177 |
| | Actividades de autoevaluación | 178 |
| 6. | CLASIFICACIÓN Y REGULACIÓN DE LAS PRÓTESIS AUDITIVAS IMPLANTABLES | 181 |
| | Objetivos | 181 |
| | Mapa conceptual | 182 |
| | Glosario | 182 |
| 6.1. | Introducción | 183 |
| 6.2. | Prótesis auditivas implantables | 183 |
| 6.2.1. | Implantes osteointegrados | 183 |
| 6.2.2. | Implantes activos de oído medio | 185 |
| 6.2.3. | Implantes cocleares | 188 |
| 6.2.4. | Implantes auditivos de tronco cerebral | 198 |
| | Resumen | 201 |
| | Ejercicios propuestos | 201 |
| | Supuesto práctico | 202 |
| | Lee y debate en clase | 203 |
| | Actividades de autoevaluación | 204 |

PARTE IV
HERRAMIENTAS PARA LA EVALUACIÓN DE LA SATISFACCIÓN
DE USUARIOS DE PRÓTESIS AUDITIVAS

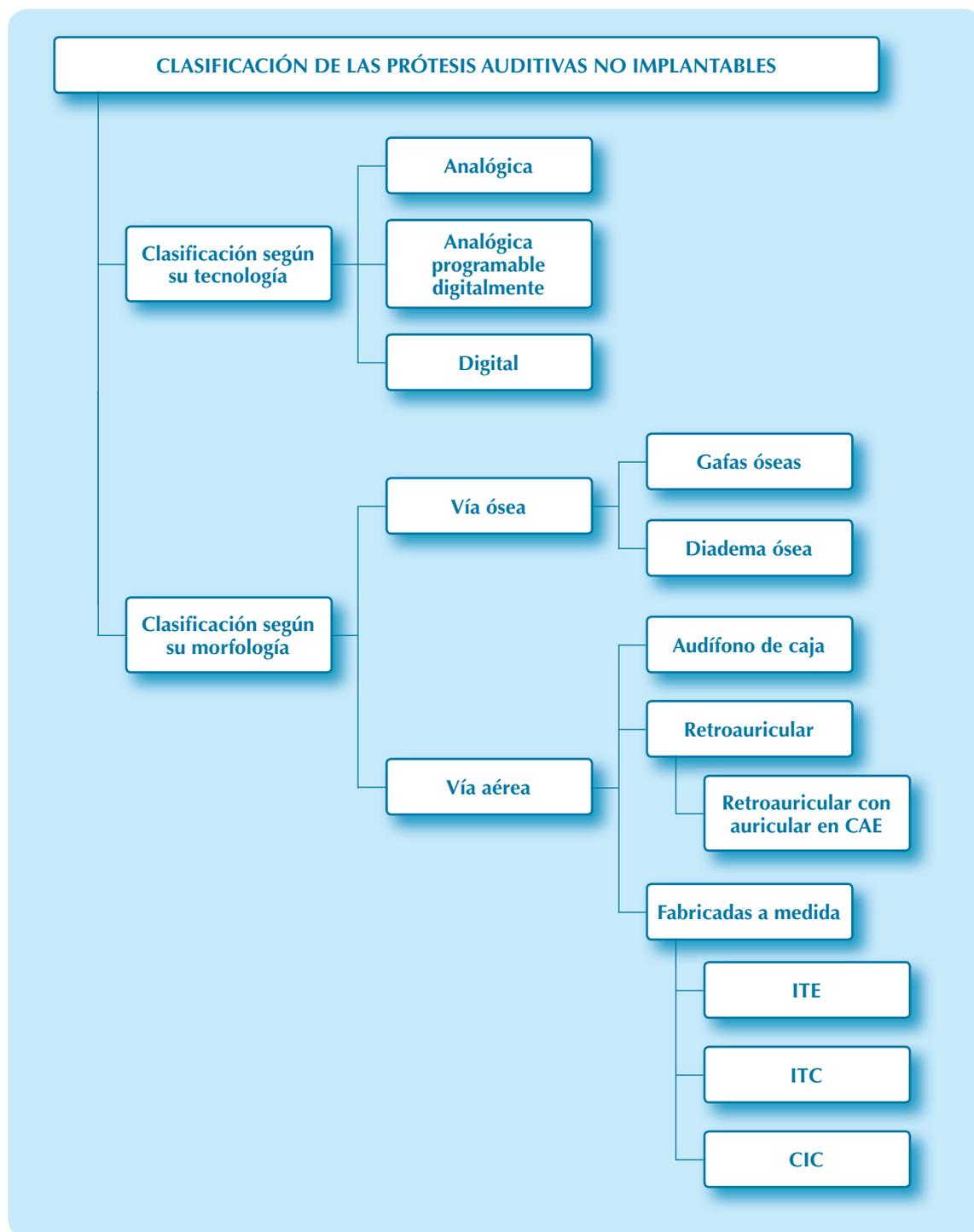
| | |
|--|------------|
| 7. EVALUACIÓN DE LA SATISFACCIÓN DEL USUARIO DE PRÓTESIS AUDITIVAS | 209 |
| Objetivos | 209 |
| Mapa conceptual | 210 |
| Glosario | 210 |
| 7.1. Introducción | 211 |
| 7.2. Escalas de aplicación general | 211 |
| 7.2.1. Clasificación de las escalas de valoración | 211 |
| 7.2.2. Escala general de calidad de vida (GENCAT) | 212 |
| 7.3. Escalas para la evaluación en niños | 214 |
| 7.3.1. Evaluación precoz de la función auditiva (ELF) | 214 |
| 7.3.2. Inventario de las dificultades auditivas de los niños en el hogar (CHILD) | 215 |
| 7.4. Escalas para la evaluación en adultos | 217 |
| 7.4.1. Eficacia de rehabilitación auditiva (EAR) | 218 |
| 7.5. Escalas específicas para la evaluación en ancianos | 221 |
| 7.5.1. Escala SADL | 221 |
| Resumen | 224 |
| Ejercicio propuesto | 224 |
| Actividades de autoevaluación | 225 |

Clasificación de las prótesis auditivas no implantables

Objetivos

- ✓ Diferenciar los componentes de las prótesis auditivas no implantables.
- ✓ Aprender las diferentes tecnologías de las prótesis auditivas no implantables.
- ✓ Clasificar las diferentes prótesis auditivas según el modelo adaptativo y la amplificación.

Mapa conceptual



Glosario

Algoritmo. En matemáticas, ciencias de la computación y disciplinas relacionadas, un algoritmo es una lista bien definida, ordenada y finita de operaciones que permite hallar la solución a un problema.

Articulación temporomandibular. Articulación que existe entre el hueso temporal y la mandíbula. En realidad son dos articulaciones, una a cada lado de la cabeza, que funcionan sincrónicamente. Es la única articulación móvil en la cabeza.

Audiómetro. Dispositivo que permite determinar el nivel de audición de cada oído y, en los casos de audición anormal, indicar además el sitio de la lesión, así como otras características auditivas.

Distorsión. La “deformación” que sufre una señal tras su paso por un sistema.

Ganancia. Este término, por sí solo, es ambiguo. En lo referido a señales eléctricas, es una magnitud que expresa la relación entre la amplitud de una señal de salida respecto a la señal de entrada. A menudo se expresa utilizando la expresión logarítmica del decibelio (“dB de ganancia”).

Pérdida auditiva. También llamada *hipoacusia* (del latín *hipo-*, “relación de inferioridad”; y del griego *ákousis*, “audición”). La capacidad de audición por debajo de lo normal. Este descenso de la audición alude a un problema en cualquiera de las partes del oído e incluso de la vía auditiva.

Transistor. Dispositivo electrónico semiconductor utilizado para entregar una señal de salida en respuesta a una señal de entrada.

UCL. Sigla de *uncomfortable level*. En audiolgía, delimita el umbral de molestia sonora de los pacientes.

2.1. Clasificación según su tecnología

Atendiendo a su tecnología, las prótesis se pueden clasificar en función de si los componentes que las integran y el procesamiento de la señal se hacen con tecnología analógica, con tecnología analógica adaptable digitalmente o con tecnología digital, como se explica a continuación en los siguientes apartados.

2.1.1. Tecnología analógica

Las diferencias entre las tecnologías en las prótesis auditivas no implantables o audífonos se observan en los componentes que las integran y en el procesamiento de la señal. La tecnología analógica procesa la señal a través de componentes eléctricos (transistores, condensadores, resistencias y resistencias variables).

La forma de trabajo de estos componentes va hacer que el procesamiento de la señal sea lineal. Lo que significa que para todos los niveles de entrada se aplica la misma ganancia.

La amplificación lineal es la característica de la tecnología analógica, el valor de la ganancia es constante. El aparato es lineal cuando al incremento determinado de la señal de entrada le corresponde el mismo incremento a la señal de salida.

Entendiendo el tipo de amplificación (ganancia constante para todos los niveles de entrada), se estudiará ahora cómo se trata la señal en la tecnología analógica para asegurar al usuario audibilidad y confort. Se verán además todos los procesos de la amplificación lineal, los cuales se realizan en el bloque proceso.

Función de entrada/salida

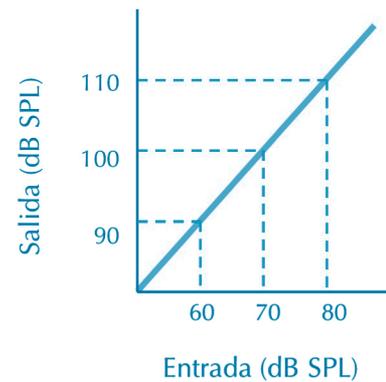


Figura 2.1
Ejemplo de ganancia lineal; para todos los niveles de entrada se aplica la misma ganancia

A) Amplificación

Los amplificadores electrónicos de los audífonos analógicos se basan en un componente llamado transistor. Es un dispositivo de tres terminales. Con una señal eléctrica aplicada entre la base y el emisor se puede obtener una señal varias veces mayor entre el colector y el emisor. La amplificación que va a producir el transistor es lineal.

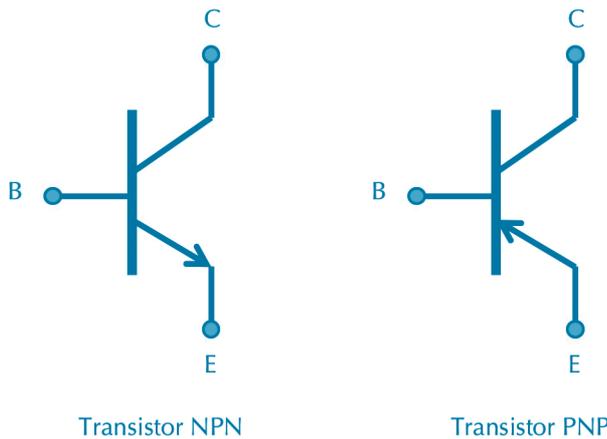


Figura 2.2
Gráfica de un amplificador

Actividad propuesta 2.1



¿Qué ganancia aplica el aparato de la figura 2.1?
Justifica tu respuesta.

B) Filtrado

Sistema que atenúa selectivamente en función de la frecuencia. Al ser tecnología analógica, está compuesto por un circuito eléctrico. En este circuito eléctrico se alinean los componentes, dependiendo del filtrado que se requiera. Por ejemplo, un condensador, más la resistencia delante o detrás del condensador, actuará como un pasabajos o pasaaltos. Si se juntan delante y detrás, se convierte en pasabanda o rechazabanda.

1. *Pasabajos*: deja pasar, como su propio nombre indica, las frecuencias bajas. Existe un punto de corte que pondrá límite a las frecuencias que no son gratas (figura 2.3).
2. *Pasaaltos*: deja pasar las frecuencias agudas; de igual forma, el punto de corte indicará a partir de qué punto empieza a funcionar el filtro (figura 2.4).

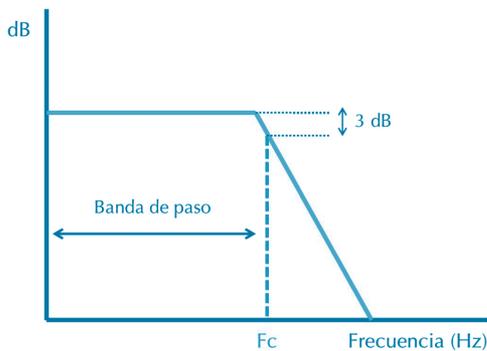


Figura 2.3
Gráfica filtro pasabajos

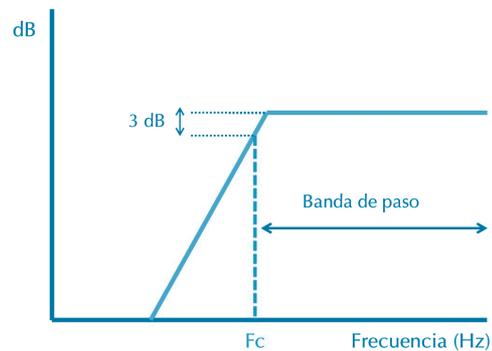


Figura 2.4
Gráfica pasaaltos

3. *Pasabanda*: deja pasar las frecuencias que se encuentran dentro de un rango determinado. Formada por un filtro pasaaltos y por otro pasabajos (figura 2.5).
4. *Rechazabanda*: atenúa las frecuencias que se encuentran dentro de unos rangos determinados. Formada por un filtro pasabajos y por otro pasaaltos montados en serie (figura 2.6).

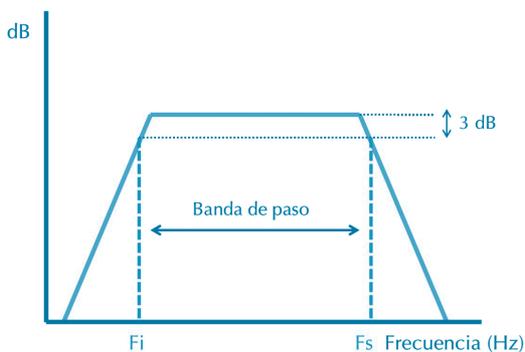


Figura 2.5
Gráfica pasabanda

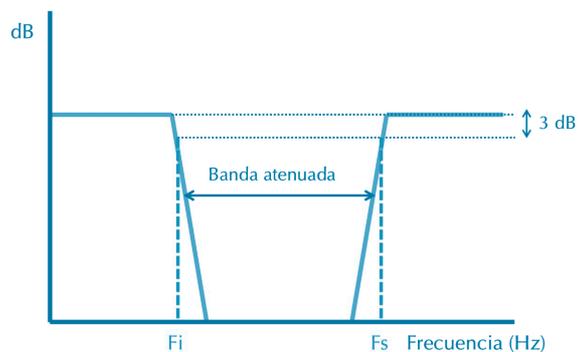


Figura 2.6
Gráfica rechazabanda

Los filtros se pueden clasificar atendiendo a los componentes los formen y a la atenuación de su pendiente.

a) Según los componentes

Según este criterio, los filtros pueden ser:

- *Pasivos*: cuando están formados por resistencias, condensadores... estos filtros suelen ser de orden 1.
- *Activos*: cuando están formados por transistores, condensadores, resistencias... estos filtros pueden ser de orden 2.

b) Según la atenuación de la pendiente

También se van a clasificar según la atenuación de su pendiente. A mayor pendiente, mayor número de orden; al aumentar el orden se atenúa 6 dB por octava.

- *Orden 1*: atenúa 6 dB por octava.
- *Orden 2*: atenúa 12 dB por octava.
- *Orden 3*: atenúa 18 dB por octava.
- *Orden 4*: atenúa 24 dB por octava.

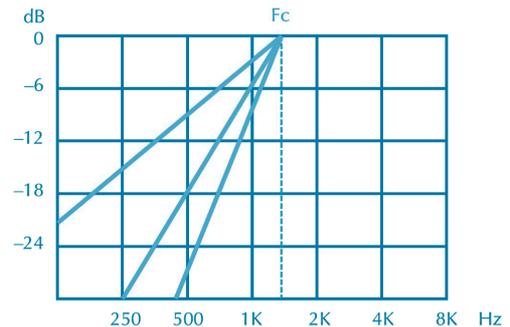


Figura 2.7
Pendiente del filtro pasaaltos según el número de orden

C) Limitación de la señal de salida

Consiste en fijar el valor de la máxima presión de salida respecto de la señal de entrada (para esto se ha de realizar el UCL).

Es importante que se limite el nivel de salida máxima de un audífono para proteger el oído del usuario, ya que todos los sonidos de alta intensidad pueden hacer daño al oído del usuario y ser desagradables.

Función de entrada/salida

La misma ganancia se aplica a todos los niveles de entrada por debajo del punto de saturación. Al alcanzar la salida máxima, la ganancia no incrementará y producirá distorsión.

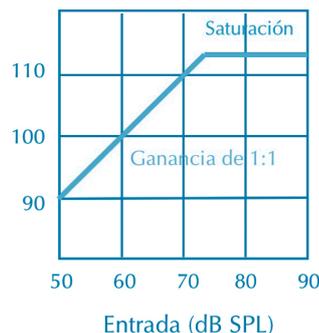
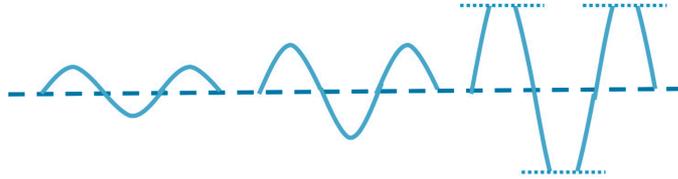


Figura 2.8
Gráfica de audífono lineal con *peak clipping*

El sistema de limitación de la tecnología analógica se llama corte de picos. Es una manera de controlar la salida máxima. Se realiza quitando los picos de corrientes de amplitud alternante a un nivel predeterminado. A pesar de que el corte de picos es una estrategia bastante eficaz de limitar la salida, introduce mucha distorsión que influye en la calidad del sonido del audífono.

Figura 2.9
Gráfica de corte de señal al llegar a un valor establecido



RECUERDA

- ✓ La tecnología analógica tiene un procesamiento de la señal lineal. Lo que significa que para los diferentes niveles de entrada se aplica la misma ganancia.



Actividad propuesta 2.2

Fíjate en la figura 2.8. ¿A qué intensidad deja de ser constante la ganancia del audífono?, ¿por qué?

2.1.2. Tecnología analógica programable digitalmente

Este tipo de tecnología difiere poco de la anterior. La amplificación sigue siendo lineal; es decir, se aplica la misma ganancia a los diferentes niveles de entrada. La diferencia se encuentra en el bloque control. Se sustituyen las resistencias variables o *trimmers* por un chip que se maneja desde el ordenador o consola de programación.

Las ventajas que introduce esta sustitución en el bloque control son las siguientes:

- *Miniaturización.* Al sustituir las resistencias variables (*trimmers*) se liberó espacio, haciendo a las prótesis auditivas más pequeñas.
- *Menor sensibilidad a la humedad.* Las resistencias variables (*trimmers*) que conforman el bloque proceso están situadas en el exterior del audífono, lo que significa que están más expuestas a la transpiración humana, esto hace que se estropeen con mucha facilidad. Al sustituir los componentes electrónicos de control, se ha minimizado el problema.
- *Amplían las posibilidades de control.* Son más flexibles, con un mismo modelo se puede cubrir un mayor número de pérdidas auditivas.



IMPORTANTE

La tecnología analógica programable digitalmente tiene un procesamiento de la señal lineal. Lo único que varía respecto de la analógica es la forma de programar el audífono.

Actividad propuesta 2.3



¿Cuál crees que es la ventaja más importante de la tecnología analógica programable digitalmente? ¿Por qué?

2.1.3. Tecnología digital

La tecnología digital, con respecto a la tecnología analógica, es diametralmente opuesta. Aunque tiene elementos comunes que se han mencionado anteriormente —transductor de entrada, bloque proceso, bloque control, transductor de salida y fuente de alimentación—, el trato que se da a la señal es diferente.

En la actualidad, la mayoría de los fabricantes de audífonos solo implementan tecnología digital.

El objetivo de los audífonos digitales es el mismo que el de los audífonos analógicos: compensar la pérdida auditiva mediante la excitación en el oído externo con una señal acústica amplificada. Pero aunque el objetivo sea el mismo, la estrategia de tratamiento de señal es completamente diferente.

Los audífonos de tecnología digital tienen una amplificación no lineal. Lo que significa que para los diferentes niveles de entrada se aplica diferente ganancia, de un modo similar a como las células ciliadas externas funcionan en la cóclea. El proceso no lineal de realimentación positiva de la energía mecánica de las células ciliadas externas actúa como un control automático de ganancia.

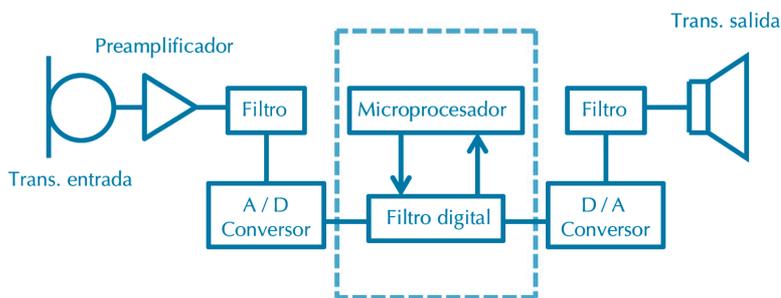


Figura 2.10
Esquema general
de un audífono digital

En los audífonos digitales, la señal acústica es recogida por el micrófono que la transduce en señal eléctrica. La siguiente fase recibe el nombre de *sampling* o muestreo. No es más que la toma de datos de la señal; la información pasa al convertor de analógico a digital, donde se convierte en cadenas numéricas 1 y 0 (sistema binario). Estas cadenas numéricas pasan al microprocesador, que trata la señal mediante aplicación de fórmulas matemáticas; algoritmos y filtros digitales.

La señal que sale del microprocesador es una señal cuadrada por anchura de pulsos, el auricular será incapaz de transducir esta forma de señal. Gracias a un decodificador por anchura de pulsos PWM (*pulse with modulation*), convierte la señal en apta para el auricular. Dicha señal saldrá a través del auricular modificada según los parámetros establecidos.

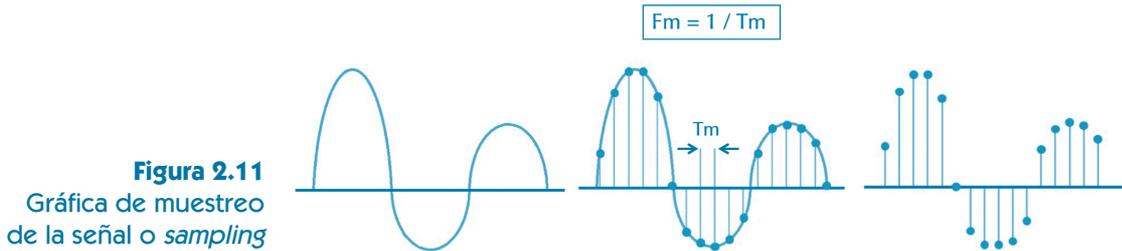
En los siguientes apartados se va a ver la diferencia de la tecnología digital con respecto a la tecnología analógica.

A) Etapas del procesamiento digital

1. Muestreo de la señal o *sampling*

Consiste en tomar muestras de la señal continua a intervalos de tiempo constantes.

El muestreo supone perder parte de información de una señal continua. Para no perder demasiada información, utilizará la frecuencia de muestreo, que es la inversa del tiempo de muestreo. Cuanta mayor información se tenga de la señal analógica, menos información se pierde.



La frecuencia de muestreo estipula y mide el número de capturas de la señal. Representa el número de capturas que realiza en un segundo (por ejemplo, $F_m = 20 \text{ kHz} = 20\,000 \text{ Hz}$, realiza 20 000 capturas de puntos por cada segundo). Cuantas más muestras se tomen, más fiel será el sonido computado con respecto al original. La unidad de medida son los hercios (Hz).

Para no perder información existe el criterio de Nyquist; el cual dice que la frecuencia de muestreo será igual o mayor que el doble del ancho de banda de la señal.

El oído humano es capaz de detectar 45 kHz sonidos por segundo; por tanto, para que un sonido digital tenga la suficiente calidad debe estar basado en una frecuencia de muestreo similar a la del oído humano.



SABÍAS QUE...

El ancho de banda de la música alta fidelidad es de 20 kHz con un Nyquist de FM superior a 40 kHz. La voz humana tiene un ancho de banda 4 kHz con un Nyquist de FM superior a 8 kHz.



Actividad propuesta 2.4

Si el ancho de banda de un aparato es de 6 kHz, ¿cuál será su frecuencia de muestreo según Nyquist?

2. Transformación de los números obtenidos al código binario

Los valores numéricos obtenidos por el muestreo se transforman al sistema binario.

CUADRO 2.1

Equivalencia del sistema decimal con el sistema binario

| Sistema decimal | Sistema binario |
|-----------------|-----------------|
| 0 | 0000 |
| 1 | 0001 |
| 2 | 0010 |
| 3 | 0011 |
| 4 | 0100 |
| 5 | 0101 |
| 6 | 0110 |
| 7 | 0111 |
| 8 | 1000 |
| 9 | 1001 |
| 10 | 1010 |

Cada 1 y 0 que se ha representado en el sistema binario es un bit. Un bit es una unidad de información; cuanto mayor sea el número de bits utilizado, menor será el error de cuantificación cometido.

3. Aplicación de fórmulas matemáticas

Con la tecnología analógica, la amplificación y el filtrado se realizan en el bloque proceso, mediante componentes eléctricos y directamente sobre la señal.

En la tecnología digital también se realiza en el bloque proceso, la diferencia es que se hace mediante cadenas numéricas y fórmulas matemáticas llamadas algoritmos. La amplificación serán algoritmos propios de la multiplicación, el filtrado realizará un promedio ponderado de una serie de valores. También utilizará los algoritmos que se basan en la transformada rápida de Fourier, que, a su vez, realiza la inversa de esta.

4. Conversión de la señal digital a analógica

La señal que sale del microprocesador es un tipo de señal que el auricular no está preparado para transducir. La señal que sale no es sinusoidal, sino cuadrada; para decodificar a una señal que el auricular sea capaz de transducir se utiliza un decodificador por anchura de pulsos, también llamado PWM (*pulse with modulation*). La bobina del auricular actúa como filtro de paso bajo, puede decodificar la señal digital dando como resultado una señal analógica de extrema calidad.

Otra forma es colocar un conversor de digital a analógico, aunque ocupa más espacio además de existir más riesgo de distorsiones y mala calidad de la señal.

La no linealidad es la característica de los aparatos digitales, a los incrementos en la señal de entrada les corresponden incrementos en la señal de salida, pero no de igual valor.

RECUERDA

- ✓ La tecnología digital se caracteriza por ser no lineal. Aplica diferente ganancia a los diferentes niveles de entrada.

Esto se consigue mediante los sistemas de control automático de la ganancia (AGC). Su funcionamiento dependerá de los parámetros establecidos y de la morfología de la curva del paciente.

Existe una compensación logarítmica de los sonidos; entendiendo una mayor amplificación para los sonidos débiles y un control sobre los sonidos fuertes para no sobrepasar el umbral de discomfort del usuario. Todo muy parecido al funcionamiento no lineal del oído.

Para entender el comportamiento de la tecnología digital se deben ver exhaustivamente los AGC.

B) Características de los AGC

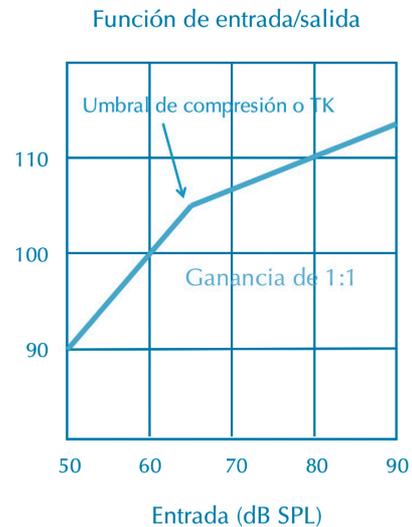
Las características de los AGC se pueden clasificar en estáticas y dinámicas:

1. Estáticas

- *Rango de compresión.* Margen de intensidades de la señal donde actúa la compresión. Es la máxima variación en la ganancia que puede producir la compresión. Un audífono con rango de 20 dB podría variar como máximo de 50 a 70 dB o de 50 a 30 dB al disminuir o aumentar la señal de entrada.
- *Punto de saturación.* El punto a partir del cual todas las señales de entrada tienen el mismo valor de salida, coincide con la salida máxima.

2. Dinámicas

- *Umbral de compresión.* Intensidad mínima a la que empieza a actuar el sistema de compresión. También se llama *punto de disparo* (figura 2.12).
- *Relación de compresión o ratio de compresión (CR).* La relación entre el cambio de la señal de entrada en dB SPL y el correspondiente cambio en la señal de salida en dB SPL. Se mide determinando el rango de la señal de entrada y comparándolo con el rango de la señal de salida.



- Incremento en la salida 1:1 conforme se va incrementando la entrada
- El umbral de compresión se encuentra donde la función entrada/salida comienza a desviarse de la pendiente previa
- No hay saturación

Figura 2.12
Ejemplo umbral de compresión

Es el valor necesario en el nivel de señal de entrada para producir un incremento de 1 dB en la señal de salida; cuanto mayor sea la ratio, más compresión existirá.

Ejemplo

| Señal de entrada | Señal de salida | Ganancia |
|------------------|-----------------|----------|
| 70 dB | 105 dB | 35 dB |

Se activa el sistema de compresión, con una ratio de compresión de 2:1. Por cada 2 dB de aumento en la señal de entrada, aumenta solo 1 dB la señal a la salida.

| Señal de entrada | Señal de salida | Ganancia |
|------------------|-----------------|----------|
| 80 dB | 110 dB | 30 dB |

Hay un incremento de 10 dB de la señal de entrada, por cada 2 dB de aumento de la señal de entrada le corresponde un aumento de 1 dB a la señal de salida. La señal de salida aumentará 5 dB (figura 2.13).

2 dB de entrada..... 1 dB de salida.
 10 dB de entrada..... x de incremento de salida.

$$x = \frac{10 \text{ dB incremento de entrada}}{2 \text{ dB incremento de salida}} = 5 \text{ dB}$$

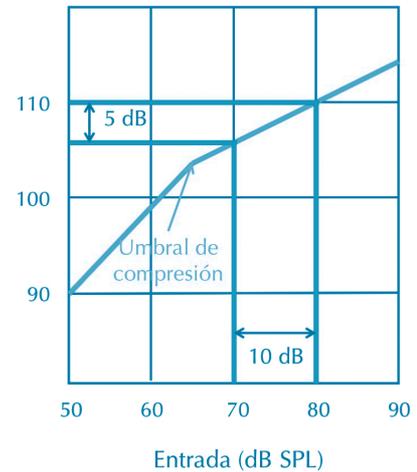
La ratio de compresión nos indica de forma directa la atenuación de la ganancia del amplificador cuando actúa el sistema de compresión.

Una ratio de compresión de 1:1 nos indica que el sistema actúa de forma lineal. Si se encuentra con razones de compresión inferiores a 1:1 no se está ante un sistema de compresión sino ante un sistema de expansión.

En estos sistemas, la ganancia disminuye cuando el nivel de entrada disminuye. Estos sistemas están diseñados para reducir la audibilidad de los sonidos de baja intensidad formados por ruidos ambiente.

- *Tiempo de ataque (Ta)*. Técnicamente, se llama tiempo de ataque a los milisegundos que tarda el valor de salida en estabilizarse en +2 dB (según normas IEC, ANSI) con respecto a su

Función de entrada/salida



- Umbral de Compresión = 65 dB SPL
- Relación de Compresión: Un cambio de 10 dB en la entrada causa un cambio de 5 dB en la salida
- La relación de compresión será de 2:1
- Un cambio de 2 dB en la entrada causa un cambio de 1 dB en la salida

Figura 2.13
Umbral de compresión = 65 dB SPL

valor final. Es el tiempo que transcurre entre el comienzo de la señal de entrada y la activación de la compresión.

Si el tiempo de ataque es muy corto (rápido), va a resultar más cómodo para el usuario porque va a tener mayor confort con respecto a la señal. Como aspecto negativo se puede señalar que tendrá peor discriminación del lenguaje, pues se pierde información de los fonemas que empiezan con sonidos de gran carga energética.

Si el tiempo de ataque es largo (lento), será más molesto para el usuario porque puede percibir valores más altos; si bien tiene como aspecto positivo que mejora la discriminación verbal.



Actividad propuesta 2.5

Dibuja una gráfica a partir de los siguientes datos:

- Ganancia lineal de 30 dB, hasta llegar al punto de actuación de la compresión (umbral de compresión: 70 dB).
- Ratio de compresión 2:1 con un rango de compresión de entrada de 20 dB y una salida de 10 dB.
- Trabaja en saturación a partir de 90 dB de entrada.
- La máxima presión de salida es de 110 dB.

- Tiempo de recuperación (T_r).** Técnicamente, se llama tiempo de recuperación, a los milisegundos que tarda la señal en estabilizarse en -2 dB (según normas IEC, ANSI), con respecto a su valor final.

Después de pasar un estímulo fuerte, lleva cierto tiempo que la función de compresión se desactive y la ganancia regrese a los niveles de precompresión.

Si el tiempo de recuperación es corto (rápido), da mayor información de los sonidos suaves y se recupera más rápidamente la ganancia. Mejora la inteligibilidad.

Si el tiempo de recuperación es largo (lento), mejora el confort; por otra parte, empeora la discriminación verbal.

Señal de salida

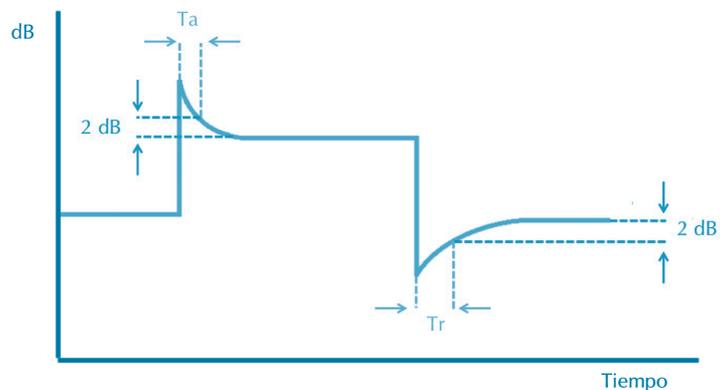


Figura 2.14
Gráfica en la señal de salida en la que ha actuado el T_a (tiempo de ataque) y el T_r (tiempo de recuperación)

Los tiempos de ataque y recuperación especifican la rapidez de acción de un circuito de compresión. Este tiempo es del orden de unas milésimas de segundo, por ello un sonido fuerte