

SEMINARIO TALLER SOBRE POTENCIALES EVOCADOS AUDITIVOS

NOCIONES TÉCNICAS

Ing. Federico Miyara

INTRODUCCIÓN

Se entiende por **potencial evocado auditivo** la respuesta neuroeléctrica del sistema auditivo ante un estímulo sonoro. La determinación de estos potenciales evocados es de gran interés clínico y diagnóstico ya que permite establecer, por comparación con las respuestas consideradas normales, diversas patologías o disfunciones del aparato auditivo y las vías nerviosas. Para su obtención se miden las tensiones eléctricas entre electrodos ubicados en posiciones de la cabeza seleccionadas especialmente para cada tipo de estudio.

Estas tensiones, que son el resultado de la actividad neurológica, son enormemente atenuadas por los diversos tejidos (óseo, muscular, epitelial, etc.) que separan el punto donde se originan los potenciales de aquel donde se miden, reduciéndose así a unos pocos microvoltios (μV , millonésimas de voltio). El problema clásico de las señales de tan bajo nivel es que están muy expuestas a la interferencia de **ruido eléctrico** de diversos orígenes, que dificultan su identificación. En el caso que nos ocupa, a la respuesta neuroeléctrica del oído que se desea medir se superponen los potenciales electroencefalo-gráficos y electrocardiográficos (**EEG** y **EEC**), los potenciales generados por la actividad muscular (miopotenciales), y otros potenciales generados por campos externos (efecto “antena” o acoplamiento capacitivo, por ejemplo la captación del campo eléctrico de los tubos fluorescentes o de las líneas de alimentación) o por pequeñas o grandes descargas de electricidad estática. Estos ruidos suelen ser no sólo comparables sino frecuentemente **mayores** que la propia señal a medir.

Se plantea así el problema de rescatar una señal (la respuesta del sistema auditivo) contaminada por ruido (Figura 1). El problema es esencialmente similar a la determinación de los mm de precipitación en cierta región en cada mes del año. Si se toma determinado año, por ejemplo 1995, y se anotan los mm caídos durante cada mes, lo más probable es que el resultado sea completamente diferente del de cualquier otro año. Se trata de un sistema contaminado por ruido. En este caso el “ruido” es consecuencia de diversos factores fortuitos como ser crecidas de ríos, cambios de temperatura, vientos, etc. Más apropiado sería tomar los datos de los últimos 10 años, por ejemplo, y para cada mes obtener el promedio de los guarismos correspondientes a ese mes a lo largo de los 10 años (Figura 2).

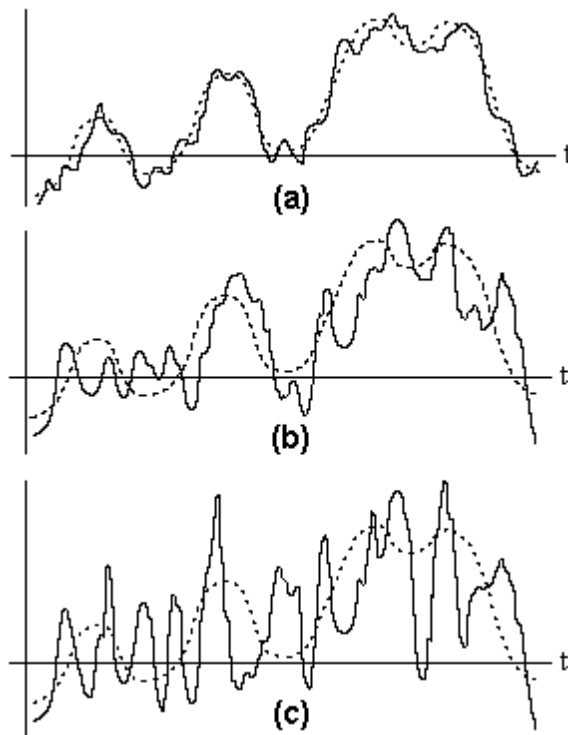


Figura 1. Señal contaminada por ruido. En línea de trazos, la señal a recobrar. En línea llena, el resultado de superponerle un ruido aleatorio. (a), (b) y (c), ruidos de pequeña, mediana y gran intensidad respectivamente. Obsérvese que cuanto más elevado es el nivel de ruido más distorsionada se encuentra la señal total.

	ENE	FEB	MAR	...
1986	15	13	16	
1987	8	12	14	
1988	10	9	18	
1989	9	10	20	
1990	12	13	14	...
1991	8	10	12	
1992	11	13	12	
1993	13	15	18	
1994	14	16	25	
1995	12	13	15	
PROMEDIO	11,2	12,4	16,4	...

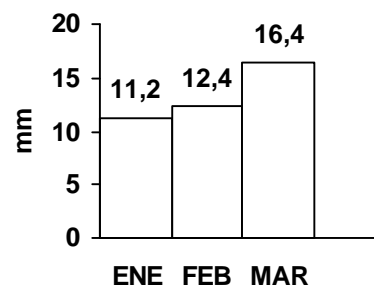


Figura 2. Ejemplo comparativo: promedio de precipitaciones en cierta región (en mm) en función del mes.

La solución es similar para el caso de los potenciales auditivos, y consiste básicamente en repetir el estímulo varias veces, y obtener el promedio de los resultados reca-

bados. Esto parte de la premisa de que la respuesta auditiva para un estímulo determinado no varía cuando el estímulo se repite, y en cambio los valores de ruido que se agregan en cada repetición fluctúan aleatoriamente con valores positivos y negativos que tienden a compensarse, es decir que su promedio es 0.

PROMEDIACIÓN

Para comprender mejor la forma en que se realiza la promediación, veamos un ejemplo. Supongamos que nos interesa obtener la respuesta durante los 10 ms siguientes al comienzo del estímulo, y que nos interesa una precisión en el tiempo de 0,1 ms. Entonces, para cada repetición del estímulo medimos y anotamos el valor del potencial evocado cada 0,1 ms, vale decir, en los instantes 0 ms, 0,1 ms, 0,2 ms, ..., 9,9 ms y 10 ms desde el comienzo del respectivo estímulo. Esto significa que para cada repetición del estímulo tomamos 101 muestras de dicho potencial. Así, si decidimos efectuar 100 repeticiones (más adelante se indica cómo se selecciona la cantidad apropiada de repeticiones), tendremos un total de 10.100 muestras. Entonces se calcula el promedio de los 100 valores correspondientes al instante 0, luego se calcula el promedio de los 100 valores correspondientes al instante 0,1 ms, luego el promedio de los 100 que corresponden a 0,2 ms, etc. El resultado de esos promedios es una buena estimación del verdadero potencial evocado en los respectivos instantes de tiempo. En la Figura 3. se muestra un ejemplo simplificado de este proceso, en el cual la respuesta pura es un pulso de forma rectangular.

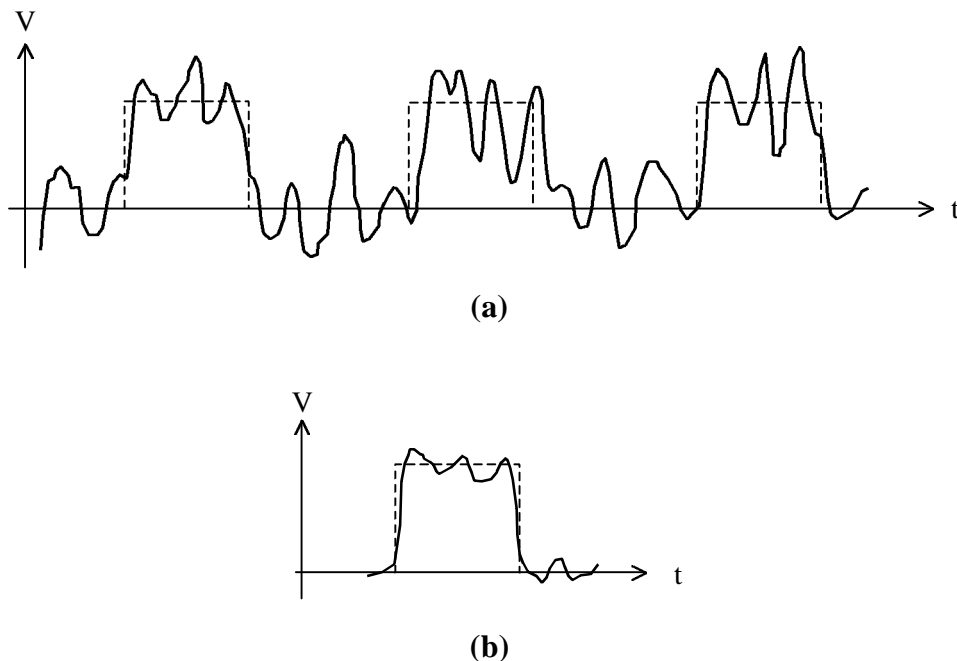


Figura 3. (a) Tres repeticiones sucesivas de un mismo estímulo, con la misma respuesta (un pulso rectangular, en línea de trazos) contaminada por ruidos diferentes. (b) El resultado de promediar las tres respuestas contaminadas: una onda más fiel a la respuesta pura.

Comparándolo con el ejemplo introductorio de las lluvias, los instantes 0 ms, 0,1 ms, etc., corresponden a los meses del año (enero, febrero, etc.), las 100 repeticiones a los 10 últimos años, y las muestras de potencial a las lecturas pluviométricas.

El proceso indicado anteriormente comenzó a hacerse técnicamente practicable con el advenimiento de las modernas computadoras de gran velocidad y capacidad de memoria, y es a partir de entonces que la técnica de los potenciales evocados auditivos ha ido ganando terreno en las clínicas audiológicas y neurológicas.

Debe observarse que la computadora no cumple únicamente la función de realizar el promedio, sino que además es quien da la señal de sincronismo al generador de sonido para cada estímulo. Otras tareas auxiliares pero no por ello menos importantes consisten en permitir la graficación e impresión de las curvas de potenciales evocados, llevar archivos con historias clínicas, etc. En la Figura 4 se muestra el diagrama de bloques de un instrumento para obtención de potenciales evocados.

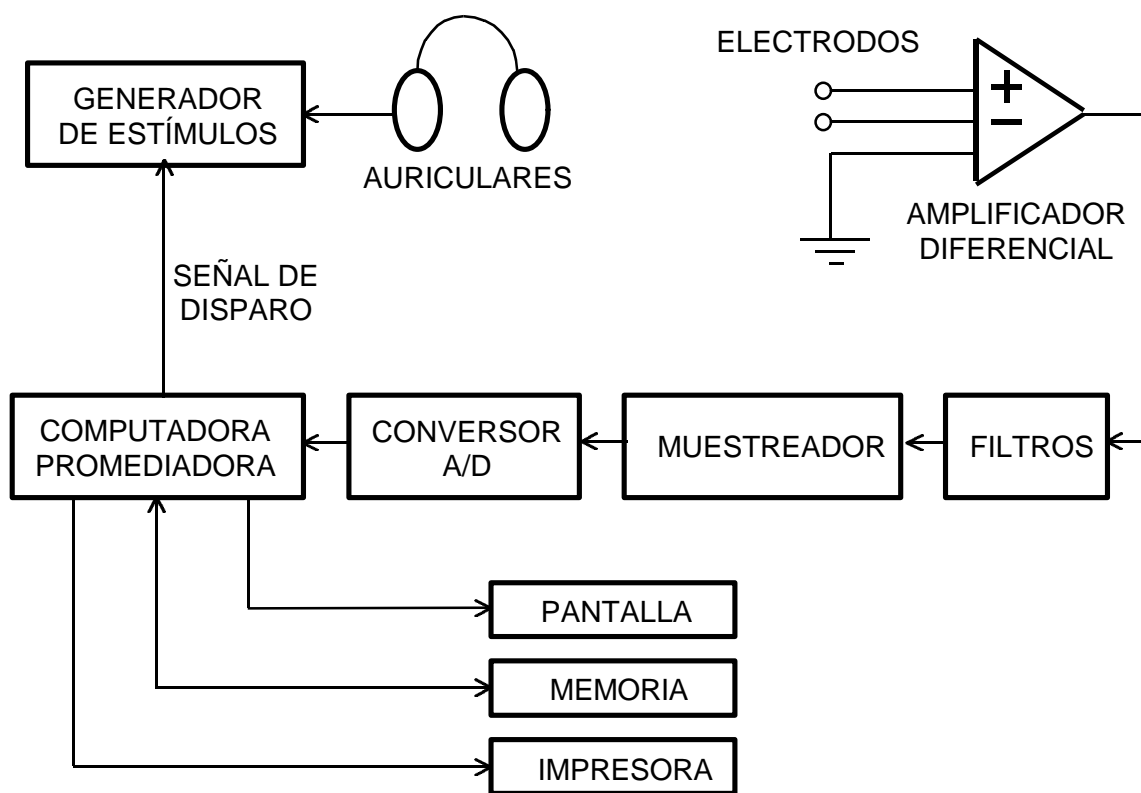


Figura 4. Diagrama de bloques de un sistema de medición de potenciales evocados auditivos

SELECCIÓN DE LA CANTIDAD DE ESTÍMULOS

La cantidad de veces que se repite el estímulo depende del nivel de ruido existente. Intuitivamente, si no hubiera ruido, un solo estímulo sería suficiente. A medida que aumenta la proporción de ruido (cualquiera sea su origen) con respecto a la señal (el potencial evocado que se desea medir), será necesario incrementar la cantidad de estímulos, ya que de esa forma el error originado en el ruido se va “diluyendo”.

A partir de razonamientos estadísticos se concluye que la cantidad de estímulos requeridos para mejorar la calidad de la señal en una determinada proporción *aumenta con*

el cuadrado del nivel de ruido. Para expresarlo de una manera más precisa, definamos primero la **relación señal a ruido (S/R)** como el cociente entre el nivel de la señal y el nivel del ruido, ambos en microvoltios. Así, si el nivel de la señal es de 10 μV y el del ruido de 5 μV , entonces la relación señal a ruido es

$$S/R = \frac{10 \mu\text{V}}{5 \mu\text{V}} = 2 .$$

Ahora supongamos que la relación señal a ruido antes de la promediación es S/R_1 , y la relación señal a ruido que se desea obtener es S/R_2 . Entonces el número n de estímulos requerido es:

$$n = \left(\frac{S/R_2}{S/R_1} \right)^2 .$$

El valor de S/R_2 normalmente está dictado por la mínima variación de la señal que tiene importancia para una interpretación confiable de los resultados. Así, por ejemplo, si el nivel de la señal es de 10 μV , y existe una onda de 2 μV que tiene importancia para el estudio que se está realizando, el ruido deberá reducirse a menos de 1 μV para que la aparición o no de esa onda sea atribuible a la respuesta neuroeléctrica y no al ruido. Tomando entonces una cota de 0,5 μV , por ejemplo, resultará

$$S/R_2 = \frac{10 \mu\text{V}}{0,5 \mu\text{V}} = 20 ,$$

de donde, tomando como base el ejemplo anterior, es decir $S/R_1 = 2$, resultará

$$n = \left(\frac{20}{2} \right)^2 = 100 .$$

Este sencillo ejemplo muestra cuán rápidamente crece el número de estímulos requerido para depurar la señal a un nivel suficiente para posibilitar una interpretación confiable de lo observado. Sería deseable, por lo tanto, aplicar una cantidad de estímulos muy grande, pero existen limitaciones de orden práctico para ello. En primer lugar, cada estímulo requiere un tiempo que según el estudio a realizar puede variar entre 50 y 1000 ms (o más), lo cual haría la sesión demasiado extensa y cansadora para el paciente. En segundo lugar, la incomodidad que esto generaría en el paciente provocaría diversos movimientos musculares que agregarían aún más ruido (artefactos). En la práctica el número de estímulos queda limitado de manera que la sesión no dure más de algunos minutos. Se llega así a un compromiso entre **precisión** y **practicidad**.

CLASIFICACIÓN DE LOS RUIDOS

Hay dos tipos de ruido en potenciales evocados. Por un lado se encuentran las señales **EEG** y **EEC**, cuya presencia es permanente e inevitable, y por otro lado los potenciales de origen interno y externo que pueden reducirse o minimizarse tomando ciertas

precauciones. Estos últimos reciben el nombre de **artefactos**. Algunos de éstos tienen también carácter permanente, como el ruido de 50 Hz de la línea de alimentación, que aparece ya sea por una mala aislación, como por radiación de transformadores o tubos fluorescentes. Otros, son fortuitos, como los potenciales asociados a la actividad muscular. Así, un pestañeo, o la contracción de otros músculos, especialmente aquellos que se encuentran próximos a los electrodos, pueden producir picos de ruido bastante importantes. También es posible la presencia residual de potenciales evocados por otros estímulos no auditivos, como ser los visuales.

Los artefactos de nivel similar al resto de la señal no merecen un tratamiento particularizado (salvo lo indicado en la próxima sección). Aquellos artefactos de magnitud desmedidamente grande, en cambio, pueden alterar significativamente el promedio. Volviendo al ejemplo de las lluvias, si lo normal en determinado mes es alrededor de 50 mm de precipitaciones, y cierto año anormalmente se produce una lluvia torrencial de 200 mm, promediada ésta en los 10 años considerados produce un incremento del promedio de 15 mm, modificando en un 30% el valor medio real. En Estadística esto se denomina “un valor fuera de control”, y lo aconsejable es descartarlo. En las promediadoras se suele proveer una función que permite descartar las respuestas en las que aparecen niveles mayores que determinado nivel límite. Este nivel puede ajustarse en función de lo que se considere una respuesta razonable para cada tipo de estudio.

ACONDICIONAMIENTO DE LA SEÑAL. FILTROS

Dado que, según se ha visto, el nivel de ruido incide cuadráticamente en la cantidad de respuestas requeridas, es preciso reducirlo lo más posible **antes** de realizar la promediación. A menudo esta reducción puede lograrse mediante un adecuado manejo y **acondicionamiento** de la señal.

Una primera regla es la utilización de amplificadores diferenciales de entrada de alta calidad, esto es, que no agreguen ruido propio apreciable, y que tengan un alto rechazo a las señales de “modo común”, vale decir los potenciales espurios (no deseados) que se suman a ambos electrodos simultáneamente. De este tipo suelen ser, predominantemente, los ruidos debidos a la línea de alimentación, los tubos fluorescentes y otros dispositivos eléctricos de uso común.

Una segunda estrategia consiste en aprovechar que muchos ruidos pueden separarse de la señal útil por aparecer en una banda de frecuencias diferente de la de la señal. Recordemos el hecho fundamental de que toda señal que varía en el tiempo puede descomponerse en componentes de diversas frecuencias. Esa descomposición se denomina **espectro de frecuencias** o simplemente **espectro** de la señal, y puede efectivizarse por medio de **filtros**. Los filtros son dispositivos que permiten el paso de ciertas frecuencias y bloquean otras. En potenciales evocados se usan tres tipos de filtros: los filtros **pasaaltos**, los filtros **pasabajos** y los filtros **notch** (muesca).

Los filtros pasaaltos permiten pasar todas las componentes de frecuencias superiores a una frecuencia F_{inf} denominada frecuencia inferior de corte, bloqueando el paso a las componentes de frecuencias menores que F_{inf} . Dado que las componentes del potencial evocado siempre son mayores que la frecuencia con que se repiten los estímulos, pueden eliminarse todas las componentes de baja frecuencia, reduciendo así ruidos de baja frecuencia provenientes del **EEG**, del **ECG** y de la actividad muscular.

Los filtros pasabajos, por el contrario, dejan pasar las bajas frecuencias, hasta una frecuencia F_{sup} (frecuencia superior de corte), bloqueando las frecuencias que exceden dicho límite. En potenciales evocados cumplen dos funciones. La primera es eliminar el

ruido de alta frecuencia que se encuentra fuera de la banda de interés, y la segunda, satisfacer un requisito de todo sistema muestreado, que es que la máxima frecuencia que ingresa al sistema debe ser menor que la mitad de la frecuencia de muestreo. En el ejemplo en que se tomaban muestras cada 0,1 ms, es decir que se muestreaba a razón de 10.000 muestras por segundo, la máxima frecuencia admisible era por lo tanto 5.000 Hz, o 5 kHz (véase en el Glosario los conceptos de muestreo, frecuencia de muestreo, frecuencia de Nyquist y aliasing).

Finalmente, los filtros notch eliminan una frecuencia específica, dejando el resto del espectro prácticamente inalterado. Se utilizan para bloquear por ejemplo la frecuencia de 50 Hz de la línea de alimentación (en algunos países, 60 Hz) cuya presencia suele ser inevitable cuando están en juego niveles de señal tan bajos como los que se miden en los potenciales evocados.

Los tres filtros pueden usarse uno a continuación del otro, es decir en **cascada**. El resultado de este procesamiento previo de la señal es una reducción importante del ruido, con la consecuente reducción del número de estímulos requeridos.

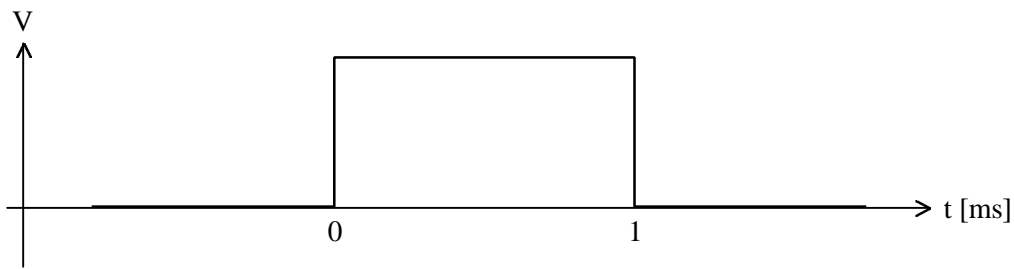
ESTÍMULOS

La selección del tipo de estímulo a utilizar es una de las cuestiones más complejas de todo el proceso de medición del potencial evocado. El estímulo ideal debería permitir, entre otras cosas, determinar objetivamente el umbral de audición a las diversas frecuencias de la audiometría subjetiva tradicional. Esto es muy difícil de lograr en la práctica ya que los estímulos para potenciales evocados deben satisfacer dos requisitos que en la práctica se contraponen. En primer lugar deben ser de muy **corta duración**, ya que debido entre otras cosas al **microfónico coclear** (ver próxima sección), la presencia del estímulo ocasiona un artefacto que interfiere con el potencial a investigar. Además, un estímulo prolongado tiende a producir un fenómeno de adaptación, que altera considerablemente el perfil del potencial evocado. En segundo lugar, estos estímulos deberían poseer una gran **especificidad tonal**, lo cual desde el punto de vista espectral implica que la energía debería estar concentrada en una región muy angosta del espectro.

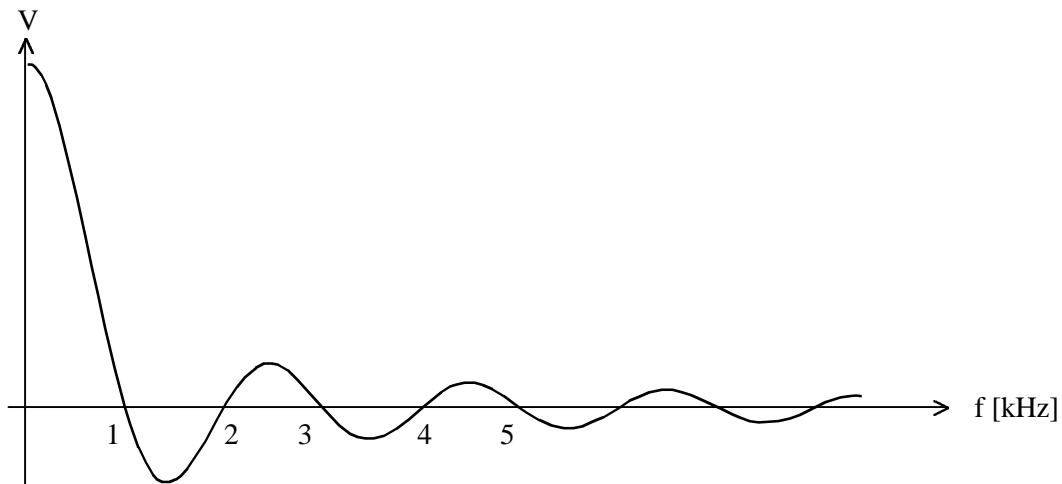
Tal como se indicó, estos requisitos se contraponen, ya que las señales de muy corta duración tienden a tener un espectro muy extendido, y las de espectro angosto requieren una duración considerable.

A lo anterior se agrega el hecho de que por más que se dispusiera de un estímulo muy corto y de gran especificidad tonal, la cóclea reacciona tonotópicamente *sólo en régimen permanente o estacionario*. El régimen que imponen los estímulos muy cortos es necesariamente **transitorio**, siendo difícil establecer una correlación directa entre el potencial evocado y el umbral de audición para una frecuencia determinada. Esto es válido muy especialmente para las bajas frecuencias.

Para los estudios de potenciales evocados se utilizan normalmente tres tipos de estímulos: el **click**, el **tone burst**, y el **logon**. El **click** (Figura 5) es una señal que se separa durante un pequeño intervalo del nivel de reposo y luego retorna al mismo. Mientras dura el pulso, el nivel es constante. Cuanto más corto sea el pulso más extenso será el espectro, es decir que la energía sonora se reparte en un rango más amplio de frecuencias. Así, un click muy corto permite estimular toda la cóclea.



(a)

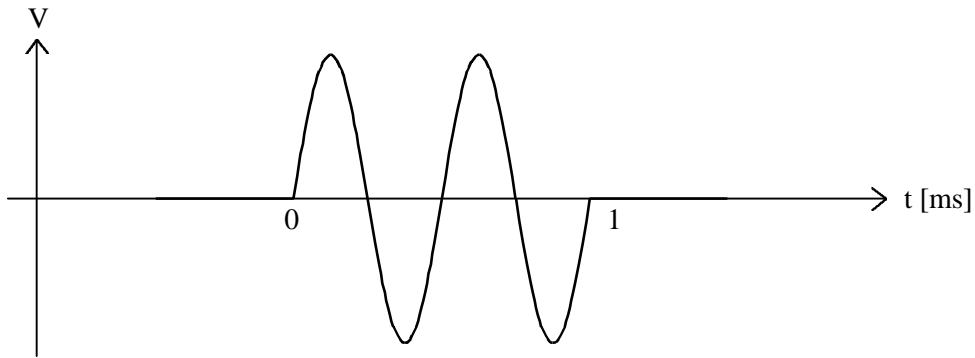


(b)

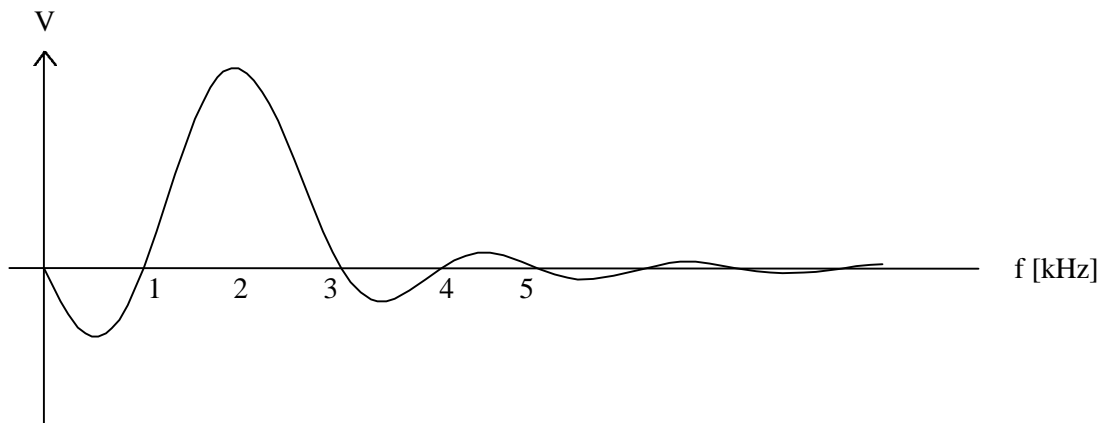
Figura 5. (a) Un **click** de 1 ms de duración. **(b)** Su espectro de frecuencias. Obsérvese que aparece una gran cantidad de energía en las bajas frecuencias.

El **tone burst** (Figura 6) consiste en un tono puro (senoidal) limitado a un pequeño número de ciclos. Podría definirse como una senoide modulada en amplitud por un click. Tiene más especificidad tonal que el click, aunque contrariamente a lo que podría creerse, no contiene sólo una línea espectral de la frecuencia del tono puro, sino que se extiende tanto más cuantos menos ciclos dure el tone burst. Así, por ejemplo, un tone burst de 2 kHz que contenga sólo un semiciclo, se parecerá espectralmente más a un click que a un tono puro. Para evitar saltos bruscos derivados de una conmutación que no coincida con un pasaje de la senoide por 0, se suele utilizar la técnica denominada **windowing** (“ventaneo”), por la cual se reemplaza la modulación con un click por la modulación con una onda en forma de trapecio o similar, que asegura una transición más gradual.

El **logon** (Figura 7) es un tono puro modulado por una campana de Gauss. Es una forma especial de windowing. Su espectro es también una campana de Gauss, que tiene la particularidad de que se reduce muy rápidamente fuera de su zona central, por lo cual la energía se concentra en dicha zona. Por esta razón se logra una buena especificidad tonal aún con un estímulo corto. Se utiliza por ser un buen compromiso entre corta duración y especificidad tonal.



(a)

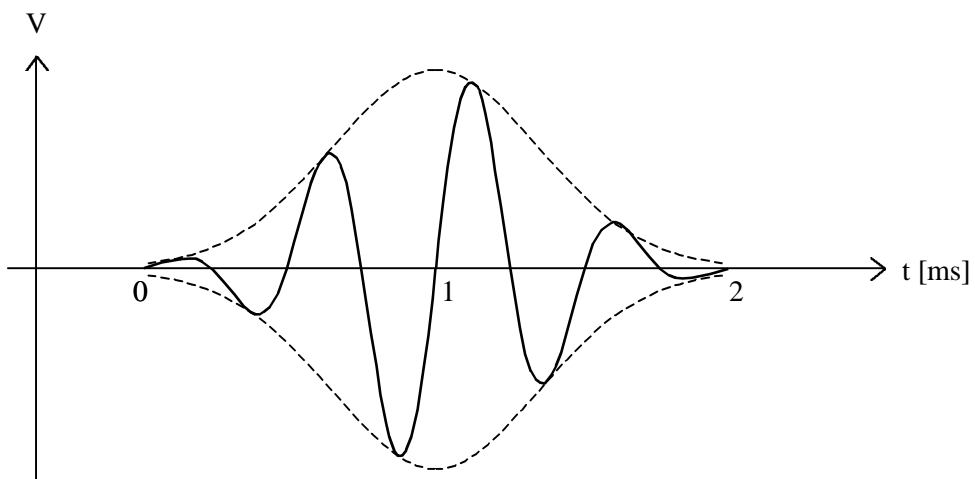


(b)

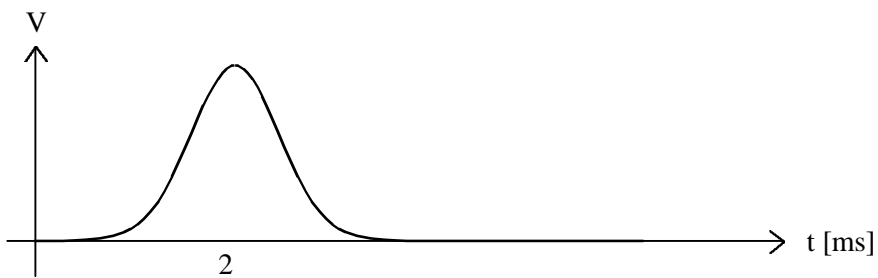
Figura 6. (a) Un **tone burst** de 1 ms de duración, formado por dos ciclos de una onda senoidal de 2 kHz. (b) Su espectro de frecuencias. Obsérvese que si bien la mayor parte de la energía se concentra cerca de los 2 kHz, hay también energía en otras frecuencias, tanto menores como mayores.

MICROFÓNICO COCLEAR Y POTENCIAL DE ACCIÓN

El **microfónico coclear** es un potencial que se genera en la cóclea por la vibración de las células pilosas de Corti como respuesta a un estímulo sonoro, en forma similar al potencial generado por un micrófono (de allí su nombre). Es aproximadamente proporcional a la presión sonora recibida en el tímpano, es decir que su forma de onda reproduce la de las ondas de presión sonora. En particular es sensible a la polaridad de dicha presión. Así, si una presión hacia adentro del tímpano (compresiva) produce un microfónico coclear con una polaridad, una presión hacia afuera (descompresiva) producirá un microfónico con polaridad opuesta. El **potencial de acción**, en cambio, es la respuesta de una neurona, y como tal se produce al superarse un umbral. Por consiguiente, su forma no depende esencialmente de la forma de onda de la excitación, y su polaridad es constante.



(a)



(b)

Figura 7. (a) Un **logon** de 2 ms de duración, formado por cuatro ciclos de una onda senoidal de 2 kHz. (b) Su espectro de frecuencias, que concentra más energía cerca de los 2 kHz que el correspondiente al click y al tone burst.

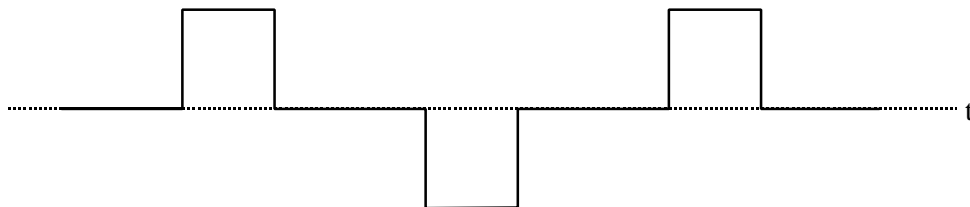


Figura 8. Un click que alterna polaridades, apto para eliminar el artefacto de los microfónicos cocleares.

Si bien en algunos casos puede interesar medir el microfónico coclear, la mayoría de las veces constituye un artefacto que perturba la respuesta a medir. Se puede eliminar este artefacto por el simple expediente de presentar las repeticiones del estímulo alternando su polaridad (Figura 8). Al promediar las respuestas, los potenciales de acción conservarán su signo, proporcionando un promedio no nulo, mientras que los microfónicos cocleares alternarán signos, siendo su promedio 0. Esencialmente es el mismo principio que permite eliminar cualquier ruido, sólo que en este caso, como el microfónico está en sincronismo con el estímulo debe recurrirse a la alternancia de polaridades para que su promedio sea 0.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Curet, Carlos. "E.R.A. Audiometría por Respuestas Eléctricas". CTM Servicios Bibliográficos. Buenos Aires, Argentina, 1988.
- [2] Spehlmann, Rainer. "Evoked Potential Primer". Butterworth Publishers. Stoneham, MA, USA, 1985.
- [3] Schwartzman, Jorge Alberto. "Audiometría por Respuestas Eléctricas". CTM Servicios Bibliográficos. Buenos Aires, Argentina, 1984.

GLOSARIO

A

ACONDICIONAMIENTO DE LA SEÑAL: Operaciones que se realizan con la señal como paso previo a su procesamiento final. Por ejemplo, blindaje, filtrado, suavizado, reducción de las componentes de modo común, etc.

ALIASING: Un tipo de distorsión que se produce al intentar recuperar una señal muestreada con una frecuencia menor que el doble de la máxima frecuencia de la señal (frecuencia de Nyquist), que consiste en la aparición de líneas espectrales (frecuencias) inexistentes en la señal original.

AMPERIO: Unidad de intensidad de corriente eléctrica, igual a la unidad de carga dividida por la unidad de tiempo. Se utiliza indistintamente con su forma inglesa “Amper”. Se abrevia **A**.

AMPLIFICADOR: Dispositivo electrónico que eleva el nivel de una señal eléctrica hasta un valor suficientemente alto para su aprovechamiento posterior.

AMPLIFICADOR DIFERENCIAL: Amplificador que idealmente amplifica sólo la diferencia entre los potenciales en dos puntos de un circuito. Así, si entre sus terminales de entrada existen 0,998 V y 1,002 V respectivamente, sólo amplificará la diferencia de 4 mV, y lo hará en un factor igual a la **ganancia diferencial**. Los amplificadores reales también tienen una **ganancia común**, mucho más baja, por la cual amplifican también algo la tensión en modo común.

AMPLITUD: Máximo nivel de una señal periódica, es decir el valor que alcanza en los picos. Está relacionada con la potencia de la señal. En el caso de señales sonoras, se asocia con la sensación de intensidad.

ARTEFACTO: Parte ruidosa de una señal cuya amplitud excede los valores normales de ruido. En general puede reducirse con un adecuado tratamiento previo de la señal. Se puede detectar porque supera el nivel de señal considerado normal. Los valores correspondientes se suelen descartar antes de la promediación. *Nota: en realidad es una mala traducción de la palabra inglesa “artifact”, cuya acepción principal efectivamente se traduce de ese modo. No obstante, la palabra “artefacto” se ha impuesto.*

B

BLINDAJE: Recubrimiento de un circuito o una parte de un circuito con una cubierta metálica (denominada Jaula de Faraday), con el objeto de impedir el paso de los campos eléctricos externos que podrían perturbar las señales dentro de dicho circuito.

C

CAMPANA DE GAUSS: Curva en forma de campana que se utiliza en Estadística. En potenciales evocados se presenta como envolvente del estímulo **logon**.

CASCADA: Un tipo de conexión eléctrica entre dispositivos con entrada y salida de señal en la cual la salida del primer dispositivo se conecta a la entrada del segundo. Se utiliza por ejemplo para superponer los efectos de dos o más filtros.

CIRCUITO: En términos generales, cualquier interconexión de componentes eléctricos (transductores, amplificadores, etc.) por medio de conductores.

CLICK: Un estímulo que consiste en un pulso de corta duración, cuya separación de la línea base (valor de reposo) es constante durante esa duración. Su espectro es bastante extenso, lo cual significa que es capaz de estimular una amplia zona de la membrana basilar. En general es deformado por el transductor electroacústico (auricular), aunque esto no altera excesivamente su cualidad espectral.

COMPONENTE ESPECTRAL: Cualquiera de las partes con la propiedad de poseer una única frecuencia en que puede ser descompuesta una señal. Así, por ejemplo, un tono puro contiene una sola componente espectral.

CORRIENTE ELÉCTRICA: Fenómeno que tiene lugar cuando por un conductor circula carga eléctrica. También se suele utilizar el término “corriente” en lugar de “intensidad de corriente”.

D

DECIBEL: Unidad adimensional para representar la magnitud de una señal relativa a un nivel de referencia. La magnitud en decibeles (dB) se calcula como

$$X|_{\text{dB}} = 20 \log_{10} \frac{X}{X_{\text{ref}}},$$

donde X es la magnitud (por ejemplo una tensión eléctrica, una presión sonora, etc.) y X_{ref} el nivel de referencia.

DISTORSIÓN: Deformación de una señal durante alguna o algunas etapas de su procesamiento.

E

ELECTRODO: Elemento conductor con formas diversas (disco, aguja, etc.) que se utiliza como interfaz entre la piel (u otros tejidos) y el preamplificador de entrada. Su superficie debe ser lisa, y para uso externo se recubre con un gel conductor u otra preparación similar que asegura uniformidad en los contactos.

ENVOLVENTE: Es la variación temporal de la amplitud de una señal, generalmente como consecuencia de un proceso de modulación.

ÉPOCA: Periodo de tiempo durante el cual se muestrea la respuesta a cada estímulo. La duración de la época depende de la latencia de la respuesta a investigar. Para cortas latencias, puede durar 10 ms, y para grandes latencias, 1 s ó más.

ESPECIFICIDAD TONAL: Calidad de un estímulo, estudio, etc. por la cual se puede obtener una respuesta diferenciada para las diferentes frecuencias, permitiendo evaluar la discriminación tonal.

ESPECTRO: Diagrama en el cual se indica el contenido de potencia de una señal para cada frecuencia. En el caso de tonos puros (senoides), contiene una sola frecuencia. En el caso de sonidos periódicos (por ejemplo una onda cuadrada), contiene frecuencias múltiplos de la frecuencia fundamental. En los demás casos, tiene una distribución continua. Para el ruido blanco es constante con la frecuencia.

ESTÍMULO: Señal que se utiliza para excitar determinado sentido (por ejemplo el oído) y así provocar una respuesta neuroeléctrica a medir.

EXCITACIÓN: Señal que se utiliza como entrada a un sistema. Ejemplos: la señal de entrada de un amplificador, el estímulo de un sentido.

F

FACTOR DE RECHAZO: El cociente entre la ganancia en modo diferencial y la ganancia en modo común de un amplificador diferencial.

FILTRO: Dispositivo (generalmente eléctrico) que permite separar las componentes espectrales que constituyen una señal. Los filtros **pasabajos** permiten pasar las frecuencias menores que la frecuencia superior de corte y bloquean las mayores. Los **pasaaltos** dejan pasar las frecuencias mayores que la frecuencia inferior de corte, bloqueando el paso de las menores. Los filtros **pasabanda** permiten el paso de las frecuencias comprendidas en una banda limitada de frecuencias, rechazando las muy bajas y las muy altas. Los filtros notch (muesca) rechazan una frecuencia, dejando pasar las demás.

FRECUENCIA: La cantidad de ciclos por segundo de una señal periódica. En el caso de señales sonoras, la frecuencia se corresponde con la sensación de altura. Se mide en Hz (Hertz, ciclos por segundo).

FRECUENCIA DE MUESTREO: Cantidad de muestras de una señal que se toman por segundo durante una operación de muestreo.

FRECUENCIA DE NYQUIST: Máxima frecuencia de muestreo admisible para poder recuperar posteriormente la señal muestreada. Es igual al doble de la máxima frecuencia efectivamente presente en el espectro de la señal, ya sea ésta útil o espuria.

G

GANANCIA: Factor por el cual un amplificador multiplica la tensión que se aplica a sus terminales de entrada. A veces se expresa en decibeles (dB), tomando la tensión de salida referida a la tensión de entrada (confrontar *decibeles*).

H

HERTZ: Unidad de frecuencia, equivalente a un ciclo por segundo. Se abrevia **Hz**.

I

IMPEDANCIA: Es similar a la resistencia eléctrica, pero teniendo en cuenta su variación con la frecuencia de la tensión variable que se le aplica.

INTENSIDAD DE CORRIENTE: Magnitud de la corriente eléctrica, definida como la cantidad de carga que circula por una porción de un circuito en la unidad de tiempo. Se mide en A (amperio).

INTERFERENCIA: Efecto de la superposición de una señal espuria a una señal útil.

J

JAULA DE FARADAY: Cubierta metálica (generalmente en forma de malla, aunque podría ser también hermética) que sirve para bloquear la propagación de los campos eléctricos hacia su interior.

K

KILOOHM: Unidad de resistencia eléctrica igual a 1000 ohms. Se utiliza para indicar resistencias de valores moderadamente altos. Se abrevia **kW**.

L

LATENCIA: Tiempo transcurrido entre el estímulo y una onda cualquiera que forma parte de la respuesta eléctrica a ese estímulo. Se consideran **cortas latencias** las de menos de 10 ms, **medianas latencias** entre 10 y 60 ms, y **largas latencias** las de más de 60 ms. Las latencias más cortas corresponden a las primeras estaciones dentro del flujo de la señal por la vía nerviosa.

LÍNEA BASE: La línea que representa el potencial de reposo, es decir aquél que se tiene en ausencia de estímulo, o entre dos estímulos consecutivos suficientemente separados.

LOGON: Un estímulo cuya forma es una senoide modulada en amplitud por una campana de Gauss. Su espectro tiene también la forma de una campana de Gauss y se utiliza porque es un buen compromiso entre una duración breve y una cierta especificidad tonal.

M

MICROFÓNICO COCLEAR: Es un potencial generado en la cóclea con características comparables a las de un micrófono, es decir que su valor es hasta cierto punto proporcional a la presión sonora recibida en el tímpano.

MICROVOLTIO: Unidad de tensión igual a la millonésima parte de un voltio, abreviada **mV**. Se utiliza para representar tensiones muy pequeñas como las correspondientes a los potenciales evocados.

MILIVOLTIO: Unidad de tensión igual a la milésima parte de un voltio, abreviada **mV**. Se utiliza para representar tensiones pequeñas como las correspondientes a los potenciales a nivel celular.

MODULACIÓN: Procesamiento de una señal (**portadora**) que consiste en la variación temporal de su amplitud siguiendo la evolución de otra señal (**modulante**).

MUESTRA: Un valor tomado en un instante determinado que se almacena en la memoria para su uso ulterior.

MUESTREO: Operación que consiste en tomar muestras de una señal cada cierto periodo de tiempo. La frecuencia con que se toman las muestras se denomina **frecuencia de muestreo** y debe ser mayor que el doble de la máxima frecuencia contenida en la señal (ya sea ésta útil o espuria). De lo contrario, al intentar recuperar la señal se produce un tipo de distorsión denominado **aliasing**.

N

NOTCH: Un tipo de filtro que elimina una frecuencia, dejando las demás prácticamente inalteradas, salvo en las proximidades de la frecuencia eliminada, donde exhibe cierta atenuación.

O

OHM: Unidad de resistencia eléctrica. Corresponde a una resistencia que al circular por ella una corriente de 1 Amperio desarrolla entre sus terminales una tensión de 1 Voltio.

P

POTENCIAL EVOCADO: Potencial que se mide entre un par de electrodos ubicados adecuadamente sobre la piel, cuero cabelludo, etc., como consecuencia de algún estímulo sensorial.

PREAMPLIFICADOR: Un tipo de amplificador de bajo ruido y ganancia considerable que se utiliza a la entrada del amplificador principal cuando la señal a amplificar es muy pequeña.

PROMEDIACIÓN: Operación que consiste en promediar las sucesivas respuestas ante un estímulo repetitivo para reducir lo más posible la influencia del ruido.

R

RÉGIMEN PERMANENTE: Estado dinámico de un sistema excitado con una señal periódica de gran duración, como por ejemplo la respuesta a un tono puro. El régimen permanente es también periódico, y de igual frecuencia que la excitación.

RÉGIMEN TRANSITORIO: Respuesta dinámica de un sistema cualquiera ante una excitación breve. También se refiere a la transición entre el comienzo de la respuesta a una excitación y el régimen permanente de dicha respuesta.

RELACIÓN SEÑAL A RUIDO (S/R): El cociente entre el nivel de la señal y el nivel de ruido presente. Muchas veces se expresa en **dB** (decibeles), es decir 20 veces el logaritmo de dicho cociente.

RESISTOR: Componente circuital que se opone a la circulación de una corriente eléctrica a su través.

RESISTENCIA: Magnitud física con la cual se expresa en qué medida un resistor se opone a la circulación de corriente. Se expresa en ohm, que se abrevia **W**. También se utiliza este término en lugar de “resistor”.

RUIDO: Cualquier señal indeseada que se superpone a la señal útil para un determinado fin. Ejemplo: la interferencia en una transmisión de radio.

RUIDO ELÉCTRICO: Un ruido de naturaleza eléctrica, es decir una señal eléctrica espuria o indeseada que se superpone a la señal útil.

S

SENOIDE: La forma de onda periódica más pura. Contiene una sola línea espectral, es decir una sola frecuencia. Se caracteriza por su **amplitud** y su **frecuencia**.

SEÑAL: Una variable física (eléctrica, neumática, luminosa, etc.) o neurológica que evoluciona en el tiempo representando información.

SEÑAL EN MODO COMÚN: Es la parte de la señal que es igual en ambas entradas de un amplificador diferencial. Es el promedio entre los potenciales en dichas entradas. Se considera una componente espuria y por lo tanto indeseable de la señal, y puede eliminarse con el uso de amplificadores diferenciales.

SEÑAL EN MODO DIFERENCIAL: Es la señal propiamente dicha que se presenta entre las entradas de un amplificador diferencial. Es la diferencia entre los potenciales existentes en ambas entradas.

SINCRONISMO: Coincidencia en el tiempo de dos fenómenos. En potenciales evocados se refiere a la coincidencia entre el comienzo del estímulo y el comienzo de la época (confróntese) correspondiente (aunque en algunos casos se deja transcurrir un tiempo fijo luego del estímulo antes de comenzar la época correspondiente).

T

TENSIÓN: Diferencia entre los potenciales eléctricos de dos puntos de un circuito. Se mide en V (voltios).

TONO PURO: Un sonido que es el resultado de una evolución senoidal (armónica) de la presión sonora, o de la señal eléctrica aplicada a un parlante o auricular.

STONE BURST: Un estímulo que consiste en cierto número (en general pequeño) de ciclos senoidales de una frecuencia dada. Cuanto más ciclos contenga, mayor es la especificidad tonal, es decir su espectro es más concentrado alrededor de dicha frecuencia, pero también más largo es el estímulo. Por el contrario, a menor número de ciclos corresponde una menor duración pero con un espectro más extendido, es decir que contiene energía en otras frecuencias diferentes de la que corresponde a los ciclos senoidales.

V

VOLTIO: Unidad de tensión o diferencia de potencial eléctrico. Se utiliza indistintamente con su forma sajona "Volt". Se abrevia V.