

---

**PROYECTO: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE EQUIPO  
PARA AUDIOLOGÍA OBJETIVA PEATC**

**A01-1: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA SOBRE SENSORES Y FORMAS DE  
ADQUISICIÓN PARA POTENCIALES EVOCADOS**

**CONTENIDO**

1. INTRODUCCIÓN	3
2. DEFINICIÓN	5
3. POTENCIALES EVOCADOS AUDITIVOS	7
3.1 Tipos de potenciales evocados auditivos	8
3.2 Potenciales Evocados Auditivos del Tronco Cerebral	9
3.2.1 Descripción del Procedimiento	9
3.2.2 Beneficios	10
3.2.3 Riesgos y Complicaciones	10
3.2.4 Alternativas a la Exploración	10
3.2.5 Significado de los resultados	10
3.2.5.1 Normal	11
3.2.5.2 Anormal	12
3.3 Principales diferencias entre PEATC Neonatal y Adulto	13
3.4 Aplicación Clínica del PEATC	14
4. FORMAS DE ADQUISICIÓN DEL PEATC	16
4.1 Origen de los PEATC	16
4.2 Condiciones de registro	17
4.3 PEATC automatizados	18
4.4 Potenciales Evocados Auditivos de Estado Estable Múltiples Frecuencias	19
4.5 Respuestas Auditivas Evocadas Corticales	19
5. SENSORES	20
5.1 Registro de la respuesta Auditiva Tronco encefálica	21
5.2 Ubicación de los Electrodo	22

5.3 Electrodo de Superficie	23
6. FACTORES QUE AFECTAN LOS PEATC	26
6.1 Edad	26
6.2 Género	26
6.3 Agentes farmacológicos	27
6.4 Temperatura del cuerpo	27

## 1. INTRODUCCIÓN

Hecox y Galambos utilizaron PEATC en 1974 como screening de audición en niños. Desde 1979 se recomiendan las respuestas auditivas del tronco cerebral para valorar la audición y se han puesto en marcha con éxito en programas de despistaje auditivo en el recién nacido, tanto de registro de riesgo como de screening universal. Se registra la actividad eléctrica generada en el sistema auditivo periférico, en estructuras subcorticales. Los PEATC identifican el umbral que corresponde a áreas anatómicas precisas. La presencia de onda V (colículo inferior, mesencéfalo) a 38 dB de estimulación equivale a audición normal.

El test permite detectar hipoacusias incluso leves (umbral de 40 dB) con una sensibilidad del 98% y una especificidad del 90-95%. Los PEATC no requieren una respuesta voluntaria y pueden ser realizados sin sedación; por ello, han sido el método de elección para las pruebas de despistaje de sordera en neonatos durante los últimos 15 años. En 1990 el Joint Committee on Infant Hearing establece la idoneidad de realizar PEATC en todos los recién nacidos de riesgo. Su protocolo aconseja una primera exploración con potenciales antes de los tres meses de vida, y una segunda exploración entre el 3<sup>er</sup> y el 6<sup>o</sup> mes.

Cuando los resultados del screening inicial muestran elevación del umbral en uno o ambos oídos, el bebé ha de ser remitido para una valoración audiológica completa. Este test de screening es altamente sensible, pero da muchos falsos positivos en niños con audición normal. En UCI neonatales, por cada niño con hipoacusia significativa que se detectaba aproximadamente 6 niños eran remitidos para investigaciones complementarias. En las plantas de neonatología, donde la prevalencia de hipoacusia era bastante más baja, por cada niño con hipoacusia significativa más de 100 niños eran remitidos.

Al ser los PEATC caros, requerir personal entrenado y mucho tiempo, se limitaron al screening de niños pertenecientes a grupos de riesgo y a aquellos otros en los que existiera sospecha de sordera. Además, tampoco detecta sorderas en frecuencias bajas. Los PEATC no son muy fiables en recién nacidos debido a la inmadurez neurológica. Si se utiliza sedación es necesaria la presencia de un facultativo médico. Tampoco hay que dar resultados definitivos hasta los 9 meses de edad.

Los PEATC tienen considerables limitaciones en los casos de severa pérdida auditiva desde el momento en que sus resultados no permiten diferenciar la patología coclear de la retrococlear, ya que las lesiones cocleares en la parte

basal de la cóclea pueden afectar la morfología de los componentes de los PEATC, las latencias de sus ondas y sus amplitudes. Moro comenta que no es posible realizar PEATC en todos los recién nacidos porque: exige una infraestructura sanitaria extraordinariamente cara: personal especializado, elevado tiempo de realización de la prueba (45 minutos), equipamiento, personal auxiliar... la sensibilidad y especificidad del test se reducen al disminuir la incidencia de la noxa en la población testada.

En el test de potenciales evocados auditivos del tallo cerebral (PEATC) se colocan sensores en la frente y detrás de las orejas del paciente mientras que una pieza de goma se coloca en la oreja que emite unos sonidos suaves; los sensores miden la respuesta auditiva del pequeño.

Estas pruebas no constituyen un diagnóstico en sí sino que son una herramienta de medición de la pérdida auditiva, si la hubiera. Si el paciente no pasa estas pruebas, el médico primero evaluará las causas de obstrucción auditiva como ser una otitis o un canal auditivo taponado con cera. En caso de que estas no fueran las razones, se referirá al paciente a realizar más evaluaciones para medir su pérdida auditiva y la posibilidad de hipoacusia.

## 2. DEFINICIÓN

Se entiende por potencial evocado auditivo la respuesta neuroeléctrica del sistema auditivo (desde el nervio auditivo hasta el tubérculo cuadrigémino inferior) 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. La existencia de los potenciales evocados auditivos fue reportada por Sohmer y Feinmesser en 1967, pero fue Jewett quien la exploró en mayor detalle y la atribuyó al tronco cerebral en 1971. Desde entonces, una gran cantidad de investigaciones básicas y clínicas se han realizado en torno a los potenciales evocados auditivos del tronco cerebral (PEATC) y se han convertido en un componente habitual y valioso de los test de la batería audiológica.

El registro se realiza mediante electrodos de superficie, que captan la actividad bioeléctrica que se origina dentro del cerebro representando la asociación de barridos de campos eléctricos producto de una población cuantificable de neuronas. Estas neuronas deben de ser activadas sincrónicamente y presentar una actividad bipolar para formar estos campos eléctricos. En el estudio de la sensibilidad auditiva es importante tener en cuenta, que PEATC no miden la audición en un sentido estricto, sino que establecen la competencia y la integridad del sistema auditivo periférico hasta un determinado nivel. Esto implica que puede haber potenciales evocados absolutamente normales en pacientes con hipoacusia profunda (lesiones en áreas corticales auditivas) y por otra parte puede haber pacientes con audición normal y con PEATC totalmente distorsionados (esclerosis múltiple).

Los PEATC se clasifican de acuerdo al tiempo en que ocurren (latencia), después del comienzo del estímulo. Los más frecuentemente estudiados son el grupo de potenciales que ocurren dentro de los primeros 10ms después del estímulo, también llamados precoces los cuales consisten en una serie de siete ondas positivas a negativas, progresivas, que ocurren dentro de los primeros 10ms de iniciado el estímulo. Los picos positivos de estas ondas se describen en números romanos: I a la VII. La onda I ocurre alrededor de los 1.5 ms después de iniciado el estímulo y el resto de las ondas ocurren sucesivamente. Una característica atractiva de los PEATC es su alto grado de reproducibilidad entre las repeticiones. Existen variantes que se consideran normales como la ausencia de las ondas II, VI y especialmente la VII, incluso las ondas IV y V varían considerablemente. Estas ondas (IV y V) pueden ocurrir separadamente como dos picos distintos o juntas

como el complejo IV-V, en el cual una onda ocurre en forma de un “hombro” en la otra onda.

### 3. POTENCIALES EVOCADOS AUDITIVOS

Las primeras respuestas evocadas auditivas promediadas se registran en 1958 y sus descubridores creyeron que se trataba de respuestas corticales cuando en realidad eran miogénicas.

En 1963 se obtienen las primeras respuestas corticales y durante una década se centra el interés de los investigadores y clínicos en este tipo de respuesta. Las limitaciones de la respuesta cortical o CERA hacen volver la vista de los investigadores hacia el extremo proximal de la vía, es decir, hacia la coclea, con lo que surgirá lo que conocemos con el nombre de electrococleografía. El antecedente inmediato lo tenemos en las observaciones de Wever y Bray, que en 1930 descubrieron la microfónica coclear pero que no pudieron desarrollarse hasta la llegada de los ordenadores que permitieron el registro de la electrococleografía en pacientes no operados.

En 1967 Yoshie y colaboradores en Japón, obtienen sus primeros registros al tiempo que Portmann y su grupo en Francia, y Spreng y Keidel en Alemania. El registro se hacía por medio de un electrodo de aguja, por lo que había de punzar el tímpano, siendo la técnica, por tanto, invasiva. Por tal razón Sohmer y Feinmesser, usan el lóbulo de la oreja o la mastoides para el electrodo activo. El alejamiento del electrodo produjo resultados poco fiables que tampoco se resolvieron introduciendo el electrodo en el CAE, quedando la electrococleografía como técnica invasiva. Su valor radica en los resultados puros y fiables.

Con la electrocleografía se registra principalmente el potencial de acción del nervio, el llamado potencial compuesto que es la respuesta global del nervio. Su gran interés es que permite detectar, no solo el potencial de acción, sino el microfónico y el potencial de sumación. Los primeros en registrar el microfónico coclear fueron Gavilán y Sajuan, aunque lo hicieron sin promediar por lo que sus resultados fueron acogidos con escepticismo. En 1969, Mendel y Goldstein, describen unas ondas de bajo voltaje y de latencia entre 25 y 50 ms que denominan respuesta de latencia media, pareciendo que se generan en la parte alta de la vía o quizás en ciertas áreas corticales.

Con el electrodo activo en mastoides y el de referencia en el vertex, Jewett y colaboradores en 1970 y Sohmer y Feinmesser registraron una serie de ondas de corta latencia en número de 6 que corresponde a la actividad evocada del tronco cerebral. De ellas hay una onda especialmente constante y evidente que es la onda V. De todas las respuestas evocadas éstas se han mostrado las más útiles

para fines prácticos, es decir, para detectar los umbrales de audición. La prueba es fiable, fácil de obtener y no se influencia por la sedación. Se ha convertido, pues, en la prueba más usada en la clínica.

Se han conocido otros fenómenos de menor interés clínico como la FFR la respuesta que sigue a la frecuencia, de gran interés pues podría permitir la realización de la audiometría tonal, sin embargo su registro tiene importantes escollos y es poco lo que se sabe de esta respuesta. Otro fenómeno es el llamado Contingente de Variación Negativa, cambio en la línea de base del EEG que se produce solo si hay expectación ante el sonido. Parece indicar que el sonido ha sido procesado en las áreas corticales. Es conocido desde antiguo y su interés entra de lleno en el campo de la psicología clínica y neurología.

Las aferencias sensoriales de cualquier naturaleza producen cambios insignificantes en el trazado electroencefalográfico normal, imposibles de ser identificadas, sobre todo sin son cercanos al umbral de sensación. Para poder descubrir estas modificaciones electroencefalográficas necesitamos, de una parte, eliminar el trazado electroencefalográfico cerebral espontáneo, y, de otra, amplificar lo suficiente el potencial provocado al fin de que al registrarlo pueda ser identificado. Esto puede lograrse si se hace pasar la señal electroencefalográfica a través de un ordenador que suma, en una unidad de tiempo determinada, la señal registrada logrando con ello un registro plano. Cuando se trata de una señal provocada y repetitiva como puede ser la respuesta a un estímulo sonoro el resultado de la sumación hará que el trazado sea cada vez más evidente.

### **3.1 Tipos de potenciales evocados auditivos**

Desde que se estimula el órgano de Corti hasta que la sensación sonora llega a la Corteza Cerebral pasan unos 300 milisegundos. A este tiempo se le llama latencia. Esta latencia depende de la intensidad del estímulo de tal manera que a mayor intensidad menor latencia. Siguiendo con esta medida de latencia, las vías nerviosas auditivas tienen una serie de “estaciones” que corresponden a los diferentes núcleos por donde pasa el estímulo nervioso hasta alcanzar la corteza cerebral.

Davis en 1976 sistematizó los potenciales de la vía auditiva según la siguiente clasificación:



1. Potenciales microfónicos cocleares, con latencia 0 entre el estímulo y la aparición del mismo. Apenas se han utilizado. Quizás lo más interesante a este respecto es el intento del Dr. Sanjuán de conseguirlos con electrodos de superficie.
2. Electrocoqueografía. Latencia comprendida entre 1 y 4 milisegundos.
3. Potenciales evocados auditivos de tronco cerebral con latencia entre los 2 y 12 milisegundos.
4. Potenciales de estado estable a multifrecuencia.
5. Potenciales de latencia media con latencias entre 12 y 50 milisegundos
6. Potenciales de latencia larga con latencia entre 50 y 300 milisegundos

Son los potenciales evocados auditivos de tronco cerebral los más usados.

### **3.2 Potenciales Evocados Auditivos del Tronco Cerebral**

En este ítem se pretende explicar, de forma sencilla, la exploración denominada Potenciales Evocados Auditivos del tronco cerebral (PEATC) así como los aspectos más importantes y las incidencias del periodo posterior a la prueba que, como consecuencia de esta exploración, puedan aparecer.

Se emplea para:

- Evaluar el funcionamiento y patología de la vía auditiva
- Evaluar el desarrollo y patología del Tronco Encefálico
- Búsqueda de umbrales auditivos
- Selección de prótesis auditivas

#### **3.2.1 Descripción del Procedimiento**

Consiste en la colocación de unos electrodos de superficie en la frente y detrás del pabellón auricular para recoger la señal que provoca la estimulación del sistema auditivo mediante sonidos a distintas intensidades (entre 0 y 110 decibelios) y que se transmiten a través de unos cascos. Estas señales (ondas) se analizan y valoran con un soporte o dispositivo informático. Por lo tanto, esta exploración se realiza, entre otras situaciones, a pacientes que tras realizar las oportunas pruebas audiométricas convencionales no es posible llegar aún a conclusiones diagnósticas sobre patologías referentes a la afectación de la vía auditiva. Esta exploración se puede realizarse bajo sedación o con algún tipo de inductor del sueño (Pentobarbital Sódico) dependiendo de las condiciones del paciente y para

facilitar la realización de dicha prueba, especialmente en los niños donde la colaboración es más difícil. Se realiza preferiblemente tumbado en una camilla de exploración o sentado. La duración de la prueba oscila entre los 30 a 60 minutos.

### **3.2.2 Beneficios**

El conocimiento del funcionalismo del oído interno y de las vías auditivas mediante esta exploración permite una mejor valoración para el diagnóstico y tratamiento de aquellos procesos que cursan con deficiencias auditivas por su objetividad, identificando el lugar donde se produzca la alteración.

### **3.2.3 Riesgos y Complicaciones**

La estimulación por sonidos en intensidades por encima de 90 decibelios puede producir dolor o molestias pasajeras en el oído, como se puede comprobar en ambientes muy ruidosos. También, ocasionalmente, puede tener sensación de inestabilidad al incorporarse de la camilla tras mantener la posición de decúbito supino y por la exposición al sonido.

### **3.2.4 Alternativas a la Exploración**

Existen otras exploraciones menos específicas, aunque complementarias, como la técnica de las otoemisiones acústicas que permiten una valoración próxima a la función auditiva.

### **3.2.5 Significado de los resultados**

La determinación de la latencia de los PEATC nos permite determinar la función de los receptores cocleares y la integridad de las vías auditivas periféricas (nervio auditivo) y centrales (núcleos cocleares, complejo olivar superior y colículo inferior). La función de los receptores cocleares se determina midiendo la latencia de la onda V a la intensidad (dB nHL) umbral y 2 veces por encima del umbral. Estos valores se comparan con los normales de acuerdo con la edad para determinar si la función de los receptores es normal o no.

En casos con trastornos en los receptores cocleares el umbral para obtener la onda V es mayor de 40 dB nHL y su latencia está aumentada o la onda V está

ausente aun a 105 dB nHL. La latencia de la onda V a intensidades 2 veces por encima del umbral (80 o más dB nHL) es normal o la onda V está ausente aun a 105 dB nHL. La latencia absoluta de la onda I está aumentada, las latencias absoluta de las ondas III y V están normales, las latencias relativas I-III y I-IV están disminuidas y la latencia relativa III-V normal a intensidad doble del umbral.

En casos con trastornos de la conducción del estímulo a través del aire, los huesecillos y la endolinfa hasta estimular los receptores cocleares (trastornos precocleares) el umbral para obtener la onda V es mayor de 40 dB nHL o su latencia está aumentada, pero raramente está ausente la onda V a intensidades mayores de 80 dB nHL. La latencia de la onda V a intensidades 2 veces por encima del umbral (80 o más dB nHL) está también proporcionalmente aumentada. La latencia absoluta de las ondas I, III y V están proporcionalmente aumentadas y las latencias relativas normales a intensidad doble del umbral.

La integridad de las vías auditivas periféricas (nervio auditivo) y centrales (núcleos cocleares, complejo olivar superior y colículo inferior) se determina midiendo la latencia de las ondas I, III y V (latencia absoluta) y el tiempo de conducción entre cada una de las ondas (latencia relativa) a la intensidad 2 veces o por encima del umbral pero no mayor de 105 dB nHL. Estos valores se comparan con los normales de acuerdo con la edad, para determinar si la función de los receptores y la conducción a través del nervio auditivo y las neuronas y sus axones de las vías centrales (los núcleos cocleares, complejo olivar superior y colículo inferior) son normales o no.

### **3.2.5.1 Normal**

El estudio es normal cuando las latencias absolutas y relativas están dentro de 3 desviaciones estándar que cubre el 99.7% de la población normal. Un estudio normal en recién nacidos indica que la vía auditiva está intacta desde los receptores cocleares hasta el colículo inferior. Por consiguiente, el paciente tiene todas condiciones para oír los sonidos pero no garantiza que entienda lo que oye o desarrolle posteriormente el lenguaje escuchado y hablado. Esto es más relevante si existen factores de riesgo perinatal. Semejante situación existe en niños mayores con factores de riesgo perinatal o retraso global del desarrollo psicomotor y el lenguaje.

No obstante, los resultados del escrutinio audiológico universal de recién nacidos en los Estados Unidos han demostrado una sensibilidad de 100%, especificidad de 99.7% y un valor predictivo positivo de 83.3% de desarrollar audición y lenguaje

normales. Un estudio normal en pacientes en coma debido a trauma cerebral o eventos hipóxicos-isquémicos cerebrales es un signo de buen pronóstico para sobrevivir sin secuelas neurológicas (valor predictivo positivo de 50%). El valor predictivo positivo es mayor si los resultados se asocian con potenciales evocados somatosensoriales normales (80%).

Un estudio normal en pacientes con enfermedades neurodegenerativas y desmielinizantes no indica que el paciente no tiene la condición, ni el grado de severidad ni el pronóstico.

### **3.2.5.2 Anormal**

El estudio es anormal debido a un defecto de conducción total con ausencia de todas las ondas, o parcial con ausencia de una o varias ondas, o presencia de todas las ondas pero con aumento de la latencia absoluta y/o relativa de una o varias ondas.

#### Ausencia de todas las ondas

La ausencia de todas las ondas puede ocurrir sin consecuencias en prematuros pequeños para su edad de concepción. También se observa en pacientes con sordera sensorial severa debido a ausencia, atrofia o mal funcionamiento de las células ciliares y/o del nervio auditivo en la gama de frecuencia explorada por los chasquidos (2.000 - 4.000 Hz) y muerte cerebral. También ocurre en procesos degenerativos de las neuronas del ganglio espiral y trastornos primarios de la mielina del nervio auditivo (neuropatía periférica motora-sensitiva hereditaria tipo I) o de todos los axones de la vía auditiva, ya sean procesos degenerativos (leucodistrofias) o raramente inflamatorios (esclerosis múltiple, encefalomiелitis aguda diseminada).

#### Ausencia de ondas específicas

- Onda I: La ausencia de la onda I casi siempre se asocia con ausencia de las ondas III y V en las sorderas cocleares severas y en los casos de muerte cerebral. La onda I está ausente y la latencia relativa III-V es normal en pacientes con neuromas del nervio acústico con o sin sordera sensorial. La ausencia de las ondas I y III con presencia de onda V se observa en las sorderas sensoriales severas de alta frecuencia.
- Onda III: La ausencia de la onda III casi siempre se asocia con gliomas del puente con aumento de la latencia relativa I-V.

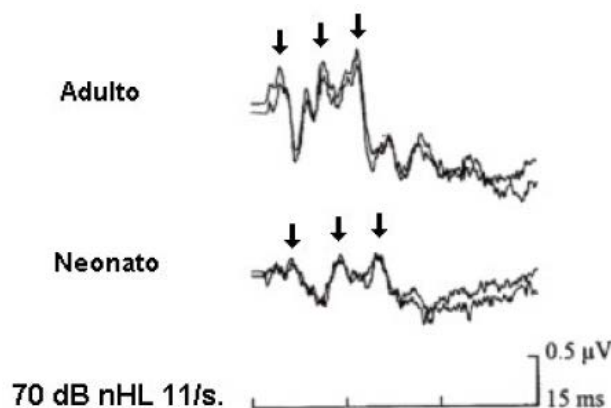
- Onda V: La ausencia de la onda V con latencias absolutas normales de la onda I y III y relativa I-III se observa en las etapas iniciales de los traumas cerebrales con aumento de la presión intracraneana, y en los procesos degenerativos y desmielinizantes.

#### Aumento de las latencias relativas

- Ondas I-V: El aumento de la latencia relativa I-V o tiempo de conducción central con latencia absoluta de la onda I normal se encuentra en procesos patológicos que afecten parcialmente a las vías auditivas en su porción próxima al puente (neurinomas del nervio auditivo) y en el puente (gliomas, trastornos desmielinizantes, enfermedades degenerativas y metabólicas).
- Ondas I-III y III-V: El aumento de la latencia relativa I-III con latencia absoluta de la onda I normal se encuentra en procesos patológicos que afecten parcialmente a las vías auditivas en su porción próxima al puente (neurinomas del nervio auditivo) y en el puente (gliomas, trastornos desmielinizantes, enfermedades degenerativas y mesocéfalo). El aumento de la latencia relativa III-V se encuentra en semejantes procesos patológicos que afectan la conducción entre el complejo olivar superior y el colículo inferior.

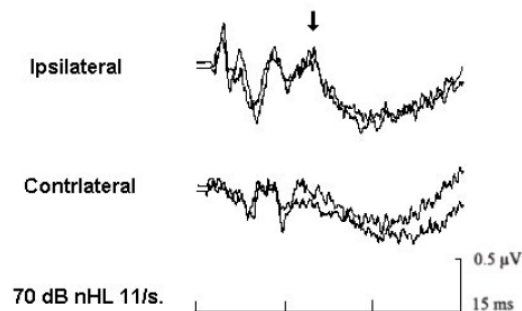
### 3.3 Principales diferencias entre PEATC Neonatal y Adulto

Una primera comparación entre los PEATC de un adulto y un neonato normales, se puede observar gráficamente en la siguiente figura:



Estas respuestas fueron registradas entre Cz y mastoides y en el caso del neonato, el electrodo en Cz se desplazó hacia delante hasta el comienzo de la fontanela. Se superponen los trazos del registro y su réplica correspondiente para demostrar la confiabilidad de los registros.

El PEATC neonatal posee menor amplitud, latencias más largas y los picos distintos al I, III y V son difíciles de ser observados. Además está orientado más lateralmente en infantes que en adultos, presentando una mayor amplitud y definición de picos en el registro ipsilateral, como se observa en la siguiente figura:



En cuanto al número de épocas a promediar necesarias para determinar la existencia o no de un PEATC es de entre 1000 y 4000.

### 3.4 Aplicación Clínica del PEATC

La mayor utilidad de la respuesta evocada auditiva es en el diagnóstico topográfico de lesiones del nervio auditivo, tallo cerebral y la determinación objetiva del umbral auditivo. La latencia de la onda V se utiliza para la determinación del umbral sin ser específica para una determinada banda de frecuencia aunque se pueden utilizar tonos puros si el equipo lo permite.

Las alteraciones del oído externo y medio producen pérdida auditiva de tipo conductivo que causan prolongación de las latencias y disminución de la amplitud a partir de la onda I. Una lesión del nervio auditivo prolonga las latencias desde la onda I y disminuye la amplitud del potencial hasta hacerlo desaparecer.

Esta alteraciones acontecen con la pérdida auditiva severa, en el neurinoma del VIII par y en tumores del ángulo pontocerebeloso se mantiene normal la respuesta contralateral normal.

En lesión del tallo cerebral la onda I se mantiene normal siempre y cuando la audición sea normal. Se produce prolongación en latencias y disminución en la amplitud a partir de la onda II hasta la V. Tumores ubicados en el tallo cerebral pueden localizarse topográficamente de acuerdo a la morfología del potencial. Por ejemplo lesiones que alteran la respuesta a partir de la onda III se localizan más frecuentemente a nivel del puente inferior, a partir de la onda IV en el puente superior y de la onda V en el mesencéfalo.

Procesos inflamatorios conllevan a un déficit auditivo permanente o transitorio, especialmente en niños. Infecciones como varicela, poliomielitis, paperas y especialmente meningitis por neumococo son responsables de daño auditivo bilateral, lo que hace mandatorio el estudio de PEA-TC en este tipo de pacientes.

En esclerosis múltiple (EM) ayuda a detectar lesiones subclínicas aunque su sensibilidad no es contundente y la evidencia insuficiente para recomendar los PEA-TC en el diagnóstico de EM definitiva. Otras patologías en las que el PEA-TC puede ser de utilidad incluyen; lesiones vasculares con sordera súbita por trombosis de la arteria laberíntica, infarto en el tallo cerebral como en el síndrome de Wallemborg, evaluación de trauma cráneo-encefálico y monitoreo intraoperatorio. En cuidados intensivos en pacientes en coma de causa metabólica, tóxica, o hipóxica y evaluación del tallo cerebral en muerte cerebral.

## 4. FORMAS DE ADQUISICIÓN DEL PEATC

Existen diversas fuentes de actividad bioeléctrica que pueden contaminar el PEATC. La actividad eléctrica del cerebro (EEG), músculo (EMG), ojo (ERG) y corazón (ECG) tienen voltajes mucho mayores que cualquier componente en el PEATC y pueden pasar a través de los electrodos de registro. Algunas fuentes no biológicas de interferencia eléctrica también pueden contaminar el registro y llegar a formar parte del PEATC. Aunque no es posible eliminar completamente el ruido de una señal, mejorar la relación señal a ruido se puede lograr mediante amplificación diferencial, filtrado, rechazo de artefacto y promediación.

### 4.1 Origen de los PEATC

Se acepta que los PEATC son originados en el nervio auditivo y en los subsiguientes tractos nerviosos y núcleos dentro de las vías auditivas del tronco cerebral. La primera clasificación realizada por Jewett de los sitios primarios de generación de los PEATC fue la siguiente:

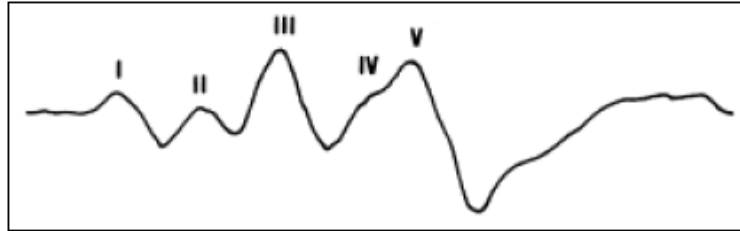
Onda I:	Nervio auditivo
Onda II:	Núcleo coclear
Onda III:	Complejo de la oliva superior
Onda IV:	Lemnisco lateral
Onda V:	Colículo inferior
Onda VI y VII:	No han sido extensamente estudiadas

Sin embargo, Moller y Janetta en 1985 reportaron un nuevo lugar en la generación de los PEATC. Estudiaron a pacientes que eran sometidos a diversos procedimientos neuroquirúrgicos y midieron simultáneamente la actividad eléctrica desde las localizaciones expuestas a lo largo de la vía auditiva del tronco cerebral y los PEATC registrados desde el cuero cabelludo de la forma habitual, examinando la correspondencia temporal entre las respuestas desde varios sitios intracraneales y las ondas de los PEATC.

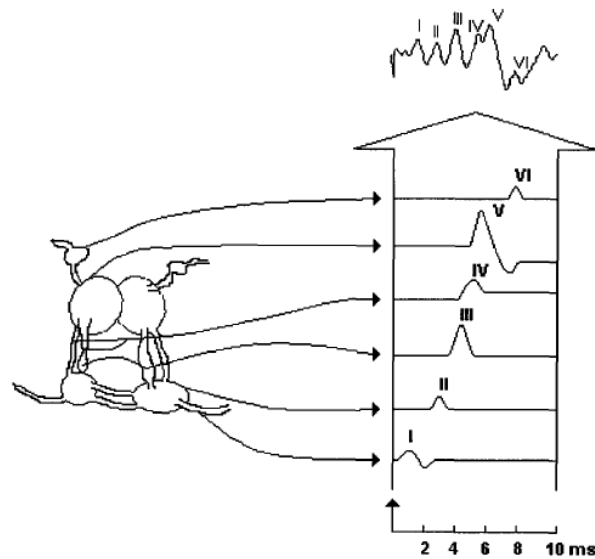
En el estudio concluyeron que las ondas I y II se originaban desde el nervio auditivo, la onda I desde la porción distal del nervio en la cóclea y la onda II desde la porción proximal del nervio auditivo en su entrada al tronco cerebral. Apuntaron que las subsecuentes ondas generadas en el tronco cerebral eran como previamente se suponían, y que la larga y lenta deflexión negativa después de la onda V, así como las sucesivas ondas VI y VII eran generadas principalmente en



el colículo inferior. Experimentos similares realizados por Hashimoto en 1981, respaldaron las anteriores conclusiones quedando la clasificación actual de los sitios primarios de generación de los PEATC de la siguiente forma:



Onda I:	Nervio auditivo (porción distal)
Onda II:	Nervio auditivo (porción proximal)
Onda III:	Núcleo coclear
Onda IV:	Complejo de la oliva superior
Onda V:	Lemnisco lateral
Onda VI y VII:	Colículo inferior



#### 4.2 Condiciones de registro

- Ambiente de prueba: Los potenciales evocados deben registrarse en un ambiente silencioso y luz tenue, dentro de un recinto con aislamiento acústico y blindaje eléctrico para reducir artefactos.

- Condiciones del paciente: Se debe procurar que el sujeto se encuentre tranquilo y relajado para evitar artefacto muscular. Preferentemente se debe recostarlo asegurando que su cabeza y cuello queden en posición cómoda. Pedirle cierre los ojos, se relaje y dependiendo del tipo de potenciales, que duerma.
- Instrumentación: Los sistemas de registro de potenciales evocados están formados por un generador de estímulos, electrodos, amplificadores, filtros, etapas para el rechazo de artefacto, una computadora para promediar la señal, dispositivo de visualización, facilidades para procesar la respuesta y forma de imprimir los resultados de la prueba.
- Generador de estímulos: El estímulo más efectivo y más ampliamente utilizado en aplicaciones neurológicas es un pulso o transiente acústico denominado "click, con una duración de 100 microsegundos. El ancho de banda para una señal así se extiende de 0 a 10 kHz, aunque este intervalo se ve recortado por la presencia de los audífonos, usualmente del tipo TDH-39, dejándolo en un intervalo de 0 a 8 kHz. Se sabe que este tipo de estimulación permite observar la actividad de las porciones basales de la cóclea principalmente. Los estímulos pueden ser presentados de manera independiente al oído derecho, izquierdo, o en presentación binaural. El nivel de estimulación se ajusta a través de uno o varios atenuadores. El estímulo puede ser de fase positiva (condensación) o negativa (rarefacción) o bien alternos.
- Disparo: Usualmente el pulso de disparo se sincroniza con la aparición del estímulo a fin de dar comienzo al registro, sin embargo en ocasiones, con el propósito de retirar ruido, puede ser conveniente dar inicio al registro antes o después de la estimulación.

### 4.3 PEATC automatizados

En los últimos años se ha perfeccionado la técnica de los PEATC, y se ha extendido el uso de los llamados PEATC automatizados, sobre todo en EEUU, que pueden utilizarse en la población general neonatal porque permiten emplear personal no especializado, disminuyendo el coste. Stewart ha encontrado una sensibilidad del 100% y una especificidad del 96% para los PEATC automatizados. Otros autores hallan una correlación del 94% entre PEATC automatizados y los PEATC convencionales. Según refiere Maxon, los PEATC

automatizados no detectan con facilidad la hipoacusia de transmisión, ya que el aparato está preparado para ignorar los incrementos de latencias de la onda I y V mientras busca la presencia de una onda V reproducible. Según Hunter, se tarda una media de 20 minutos en explorar a un neonato con PEATC automatizados, mientras que el screening con OEAT es bastante más rápido.

#### **4.4 Potenciales Evocados Auditivos de Estado Estable Múltiples Frecuencias**

Actualmente se están validando resultados con PEMf, que permiten realizar una exploración audiométrica de forma objetiva en ambos oídos simultáneamente. Los PEMf son respuestas periódicas que se obtienen a determinadas frecuencias de estimulación en la corteza cerebral. En el rango comprendido entre 80 y 110 Hz, los PEMf se generan por superposición de los potenciales auditivos de tallo cerebral de manera que no se afectan por la sedación ni el sueño. Con esta técnica pueden obtenerse audiogramas en neonatos o pacientes que no colaboran.

#### **4.5 Respuestas Auditivas Evocadas Corticales**

Las Respuestas Auditivas Evocadas Corticales son difíciles de interpretar y si a ello añadimos que se afectan con el nivel de alerta, sueño y el uso de medicación, que son caras y requirieren personal especializado y mucho tiempo, no extraña que se hayan desestimado como prueba screening para la audición.

## 5. SENSORES

Para medir y registrar los potenciales y, por lo tanto, corrientes en el cuerpo humano, es necesario proporcionar alguna interface entre éste y el circuito electrónico de medida. Esta función de interface es realizada por los electrodos que registran potenciales, los cuales toman potenciales iónicos producidos por la distribución de potencial creada en el interior del tejido vivo y los transforman en potenciales eléctricos, que puedan ser transmitidos a lo largo de conductores y tratados de forma adecuada posteriormente, mediante instrumentación electrónica convencional.

Aparentemente, la primera impresión sobre la función que cumplen los electrodos que miden biopotenciales es que ésta relativamente simple y directa. Pero cuando se considera el problema con más detalle, se observa que realmente el electrodo realiza una función de transducción, debido a que la corriente corporal es iónica, mientras que los electrodos y en los alambres conectores es electrónica. Por esta razón el electrodo tiene que servir como un transductor que cambie la corriente iónica en corriente electrónica. Esto complica grandemente los electrodos y coloca limitaciones sobre su operación. Un electrodo, está formado por una superficie metálica y un electrólito (en contacto con la piel).

Existen dos transiciones en el camino de la señal bioeléctrica entre el interior del cuerpo y el circuito de medida. La primera, se refiere al contacto entre la piel y el electrólito. La segunda, es el contacto entre el electrólito y la parte metálica del electrodo.

Los electrodos, son los encargados de transformar en corrientes eléctricas las corrientes iónicas del cuerpo humano. Al colocar el electrodo con la piel se producen una distribución de cargas que origina el potencial de contacto que varía según la posición. Estos instrumentos deben cumplir con las ciertas características:

- Transformar corrientes con poca pérdida de información.
- Higiénicos.
- No produzca efectos secundarios en el paciente.
- Baja impedancia.
- Potencial de contacto estable y pequeño.
- Duradero en el tiempo.

Para la medición de potenciales evocados auditivos se colocan tres electrodos, vertex (Cz), aurícula o mastoide izquierda (A1) y mastoide o aurícula derecha (A2). Se colocan limpiando previamente la superficie de la piel donde se van a ubicar con un agente ligeramente abrasivo que ayude a retirar la grasa, suciedad y células muertas del cuero cabelludo. Luego se aplica pasta conductiva entre la piel y el electrodo y se fija a la piel mediante cinta adhesiva.

Los sensores utilizados para esta medida son de un solo tipo: Electrodo de superficie llamados Electrodo de Ag/AgCl. Para obtener un buen registro es necesario que la impedancia interelectródica sea menor a 5 Kohms.

### **5.1 Registro de la respuesta Auditiva Tronco encefálica**

La respuesta auditiva troncoencefálica se mide a partir de la señal diferencial (diferencia de potencial) creada entre un par de electrodos de superficie de registro electroencefalográfico. Un electrodo se coloca sobre un área de gran actividad de respuesta (electrodo activo), y un segundo electrodo se coloca sobre un área de baja actividad de respuesta (electrodo de referencia). El estímulo óptimo para evocar una respuesta debe ser lo suficientemente brusco como para producir una descarga sincrónica en gran número de fibras nerviosas. Por esta razón, el estímulo que se utiliza más extensamente es el clic, que consiste en un pulso eléctrico de 100 MG, calibrado en dB HL o dB NHL. El estímulo acústico resultante posee energía detonante sobre una gama de frecuencias amplia, y evoca una respuesta auditiva generada fundamentalmente en la espira basal coclear (especificidad tonal para “agudos” o altas frecuencias). El umbral de la respuesta auditiva troncoencefálica evocada por un clic se corresponde (margen de error de  $\pm 10$  dB) con el umbral auditivo subjetivo promedio en el espectro de frecuencias comprendido entre 2 y 4 KHz.

Los potenciales de acción del tronco del encéfalo se recogen con una amplitud muy reducida (alrededor de 1  $\mu$ V) en comparación con la actividad electroencefalográfica de fondo (hasta 100  $\mu$ V). Es necesario un estímulo repetitivo para poder mejorar el cociente de amplitud respuesta/ruido mediante un promediador de señales. Deben promediarse al menos 1000 barridos de respuesta con el fin de identificar de forma fiable la configuración de las ondas. El número de barridos a analizar dependerá de las condiciones en que se efectúe el registro. La onda V es resistente a ritmos de presentación rápidos y, en condiciones normales, pueden utilizarse ritmos de 20 a 30 Hz (20 a 30 ciclos por segundo) sin riesgo de atenuación de la respuesta.

En investigación audiológica se hacen registros a distintos niveles de intensidad de estimulación hasta que deja de obtenerse respuesta. La intensidad mínima necesaria para generar una onda y se utiliza como estimación del umbral auditivo.

En estudios rutinarios no se considera necesario descender el nivel de estimulación por debajo de 20-30 dB HL.

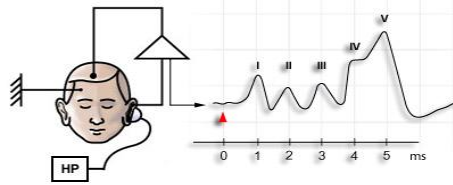
## 5.2 Ubicación de los Electroodos

Los PEATC son extremadamente sensibles a la localización de los electrodos. La posición de los electrodos determina la latencia y morfología de los componentes que constituyen la respuesta de los PEATC.



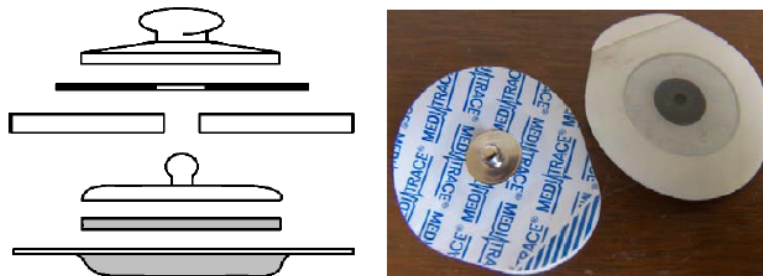
El registro de los PEATC se realiza midiendo la diferencia de la actividad eléctrica entre dos electrodos colocados en posiciones específicas. Es importante que la impedancia no sea mayor a 5 kOhm. Se emplearán tres electrodos, uno positivo, uno negativo y uno de tierra. Aunque existen varios patrones de colocación, el más recomendable para registro ipsilateral es:

- Electrodo positivo: se coloca en la frente alta, justo por debajo de la línea del cabello. En realidad se prefiere esta ubicación por su practicidad, aunque donde se registra mayor amplitud de onda es en el vertex.
- Electrodo negativo: se coloca en el lóbulo o en la mastoides del lado que se va a estimular. Se prefiere el lóbulo porque presenta menor interferencia por artefacto miogénico de los músculos del cuello.
- Electrodo tierra: se coloca preferentemente en el lóbulo, o en la mastoides contralateral, también puede colocarse en la nuca, en la frente baja (Nasion).



### 5.3 Electrodo de Superficie

Los electrodos a utilizar para adquirir el potencial evocado son Electrodo de plata/cloruro de plata (Ag/AgCl). En su forma básica se trata de un conductor metálico en contacto con la piel y se utiliza una pasta electrolítica para establecer y mantener el contacto, como se muestra la siguiente figura:



Tradicionalmente el electrodo se hace de plata alemana (una aleación plata-niquel). Antes de adherirlo al cuerpo, su superficie cóncava se cubre con una pasta electrolítica. La misión de los electrodos consiste en recoger la señal de la superficie cutánea.

Los electrodos de Ag-AgCl, son los que poseen menor potencial de media celda y en general, son los electrodos seleccionados para esta aplicación. Comúnmente son de tipo sombrero de copa, y poseen una cavidad donde debe ser colocada pasta electrolítica. Los electrodos desechables pueden ser utilizados cuando el paciente se encuentra completamente estático. Es recomendable limpiar cuidadosamente la piel del paciente con alcohol u otro solvente o abrasivo con el objeto de disminuir la impedancia de contacto electrodo – piel.

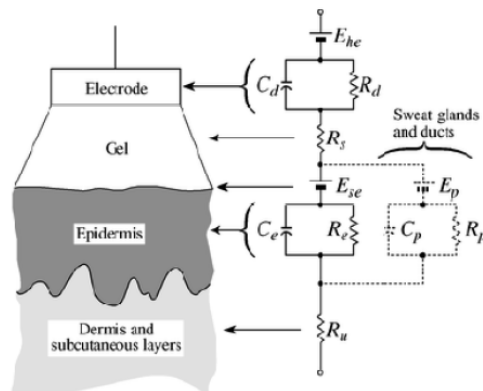
Los electrodos que se utilizan para la señal corresponden a las siguientes especificaciones técnicas:

- Impedancia de corriente alterna por debajo de 2 kW.
- Voltaje de desplazamiento de corriente directa menor de 100 mV.

- Recuperación de Sobrecarga de desfibrilación menor de 100 mV., con una proporción de cambio de potencial residual de polarización menor de 1mV/s.
- Inestabilidad combinada de desplazamiento y Ruido Interno no mayor de 150 mV.

Al tomar biopotenciales de la superficie de la piel se debe considerar una interfaz adicional, la interfaz entre el electrodo-electrolito y la piel, esto ayuda a comprender el comportamiento del electrodo. Casi siempre para unir un electrodo a la piel se utiliza un gel para electrodos transparente el cual contiene  $\text{Cl}^-$  como principal unión para mantener un buen contacto. Otra alternativa es utilizar una crema para electrodos la cual también contiene este anión y tiene la consistencia de una crema de manos. Entre este gel o crema y el electrodo hay una interfaz que es la interfaz electrodo-electrolito, pero la interfaz entre el electrolito y la piel es diferente.

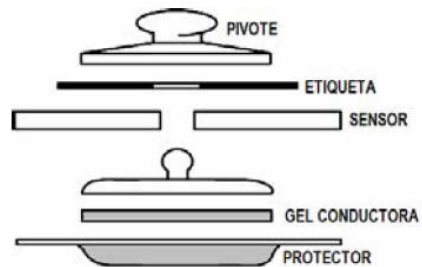
La piel consiste de tres capas principales que rodean el cuerpo para protegerlo de medio ambiente y también sirven como interfaces. Para representar la conexión entre un electrodo y la piel por medio de un gel se debe ampliar el circuito anterior al siguiente circuito:



El circuito equivalente a la interfaz electrodo-electrolito es el que está al lado del gelectrodo,  $R_s$  es la resistencia efectiva entre la piel y el electrodo, y el estrato córneo se puede considerar como una membrana semipermeable a iones, de tal modo que si hay una diferencia en la concentración de iones a lo largo de la membrana hay una diferencia de potencial  $E_{se}$ , la cual está dada por la ecuación de Nerst. La capa epidérmica tiene una impedancia eléctrica y se comporta como un circuito RC en paralelo, para  $1\text{cm}^2$  la impedancia de la piel se reduce desde  $200\text{k}\Omega$  a  $1\text{Hz}$  hasta  $200\ \Omega$  a  $1\text{MHz}$  la dermis y las capas subcutáneas se comportan como resistencias.



Los electrodos Ag/AgCl en su forma básica se trata de un conductor metálico en contacto con la piel y se utiliza una pasta electrolítica para establecer y mantener el contacto. Tradicionalmente el electrodo se hace de plata alemana (una aleación plata-niquel). Antes de adherirlo al cuerpo, su superficie cóncava se cubre con una pasta electrolítica. La misión de los electrodos consiste en recoger la señal de la superficie cutánea. A continuación se presenta las partes de los electrodos:



## 6. FACTORES QUE AFECTAN LOS PEATC

Los PEATC no son afectados por cambios en el estado mental como el estado de conciencia o el grado de atención puesto al estímulo auditivo. No existe diferencia entre el estado de vigilia o sueño, así como tampoco entre los estadios en que se divide el sueño. Para el uso clínico, la estabilidad de los PEATC ante los cambios del estado mental es una de las características más importantes. Sin embargo, algunos factores del individuo pueden influenciar en las características de los PEATC por lo que el clínico debe de estar precavido, entre las que se encuentran:

### 6.1 Edad

La edad del paciente debe de ser considerada al interpretar los resultados de los PEATC. En neonatos y niños jóvenes, la estructura de los PEATC, las amplitudes y las latencias de cada una de las ondas difieren de los adultos. La forma de la onda del PEATC en neonatos consiste primariamente de las ondas I, III y V. Durante los primeros 18 meses de vida, los otros componentes de la onda (II y IV), emergen hasta que la onda del PEATC adopta la estructura adulta. La amplitud de la onda I en recién nacidos es mas larga que en los adultos, lo cual es probablemente debido a que el electrodo de grabación esta más cercano a la cóclea, por el pequeño tamaño del cráneo de los infantes.

Las latencias de las ondas del PEATC son más grandes en los neonatos que en los adultos y disminuyen progresivamente a través del periodo neonatal debido a la maduración de la cóclea y el tronco cerebral. La onda I madura más rápidamente, asume las características que en el adulto cerca de los 2 a 3 meses de edad. Existen reportes que demuestran que la onda V asume un valor similar a la de los adultos entre los 12 a 18 meses. Otros autores consideran que esta maduración ocurre ligeramente después de los dos años o incluso hasta los 2.5 años. Por lo tanto, a medida en que la vía auditiva madura el intervalo I-V se reduce a valores similares a los del adulto.

### 6.2 Género

Existen reportes en que la latencia y la amplitud de las ondas III y V se encuentran ligeramente acortadas en las mujeres comparadas con los hombres. Esta diferencia es mayor para la onda V, resultando en que el intervalo I - V es 0.1 a 0.2 ms mas corto en mujeres. Sin embargo, este efecto del género no es bien

conocido, y la diferencia ha sido atribuida al menor diámetro del cráneo y dimensiones del cerebro en las mujeres.

### **6.3 Agentes farmacológicos**

La mayoría de los sedantes, anestésicos generales y bloqueadores neuromusculares no tienen efecto sobre los PEATC y por lo tanto no interfieren con la validez del estudio. Una contraindicación de anestésico general es el enflurane el cual causa un incremento del intervalo I - V. Otras drogas que ha demostrado que incrementan el intervalo I - V son algunos anticonvulsionantes (phenytoin) y la lidocaina (el anestésico local) cuando se administra para el tratamiento de las arritmias cardiacas. La intoxicación alcohólica ha demostrado que también aumenta las latencias del PEATC pero este efecto esta relacionado con la concomitante disminución de la temperatura del cuerpo.

### **6.4 Temperatura del cuerpo**

Una disminución de la temperatura del cuerpo por debajo de lo normal causa un incremento en los intervalos de onda de los PEATC. Este efecto es debido a la lenta velocidad de conducción neuronal y la transmisión sináptica debido a la hipotermia. Debido a que los infantes de poco peso y los pacientes comatosos están propensos a la hipotermia, se recomienda se tome la temperatura previamente a la realización del estudio para que se normalice y no intervenga con la interpretación.