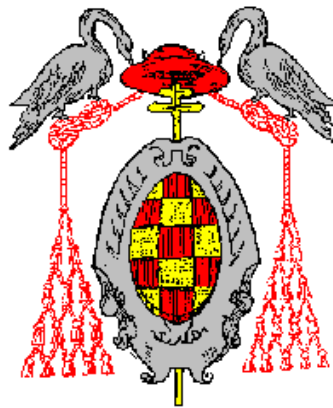


UNIVERSIDAD DE ALCALÁ
DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA

Ingeniería en Electrónica



Instrumentación Biomédica

Tema 5

Electroencefalografía

1.- INTRODUCCIÓN.

La Electroencefalografía es el registro y evaluación de los potenciales eléctricos generados por el cerebro y obtenidos por medio de electrodos situados sobre la superficie del cuero cabelludo.

El electroencefalograma (EEG) es el registro de la actividad eléctrica de las neuronas del encéfalo [14]. Dicho registro posee formas muy complejas que varían mucho con la localización de los electrodos y entre individuos. Esto es debido al gran número de interconexiones que presentan las neuronas y por la estructura no uniforme del encéfalo

Historia del EEG

Fue una guerra lo que brindó la oportunidad de explorar el cerebro humano por vez primera. En 1870, Fritsch y Hitzig, médicos militares del ejército prusiano, observaron que al estimular, mediante corriente galvánica, determinadas áreas laterales de cerebros descubiertos (de algunas de las bajas de la batalla de Sedán) se producían movimientos en el lado opuesto del cuerpo. Cinco años más tarde R. Caton confirmó que el cerebro es capaz de producir corrientes eléctricas. Ferrier, siguiendo en la misma línea, experimentó con la «corriente farádica». Como resultado de todo ello, hacia finales de siglo se tenían suficientes pruebas de que el cerebro de los animales poseía propiedades eléctricas comparables a las encontradas en el nervio y en el músculo. En 1913, Prawdycz-Neminski registró lo que llamó «electrocerebrograma» de un perro, siendo el primero en intentar clasificar semejantes observaciones. Hay que puntualizar, sin embargo, que todos los experimentos se hacían sobre cerebros descubiertos. Al ser los cambios eléctricos muy pequeños y sin procedimientos de amplificación, era imposible registrar los impulsos que alcanzaran el exterior del cráneo aún de haberse sospechado su existencia. Fue en 1928 cuando Hans Berger ideó un método que prometía una investigación de la actividad eléctrica cerebral, descubriendo lo que se conoció como «ritmo de Berger». Sin embargo debido a su falta de conocimientos técnicos, no fue hasta algunos años después cuando se reconoció su importancia. Mientras tanto, las posibilidades de la electroencefalografía clínica se discutían, por primera vez, en un reunión en el Laboratorio central de Patología del Hospital Maudsley de Londres, en 1929. A pesar de que el grupo de investigadores intentara obtener registros del «ritmo de Berger» usando amplificadores y un galvanómetro vetusto, sin embargo no se tomaba en serio el estudio del cerebro ni los descubrimientos de Berger. Fue en 1934 cuando a raíz de una demostración pública ante una auditorio británico en una reunión de la Sociedad de Fisiología, en Cambridge, Adrian y Matthews verificaron por primera vez el «Ritmo de Berger». Berger, utilizando las mejoras introducidas por Adrian, siguió avanzando hasta donde le permitía su técnica defectuosa, observando por ejemplo que cuando el sujeto abría los ojos o resolvía algún problema mentalmente se alteraba el ritmo amplio y regular. Esto fue verificado posteriormente por Adrian y Matthews quien al tener mejores conocimientos científicos y mejores técnicas avanzaron incluso mucho más, demostrando que el ritmo regular y amplio de diez ciclos por segundo surgía de las áreas visuales de asociación y no de todo el cerebro. Años más tarde se apreció la importancia de tal descubrimiento. Posteriormente la electropatología del cerebro creció en importancia, confirmandose las predicciones de Golla sobre las alteraciones de las oscilaciones rítmicas en las enfermedades. Se avanzó mucho en este campo, comenzando a interesar, entre los investigadores del EEG, el estudio de la epilepsia y otras enfermedades mentales, poniendose de relieve la complejidad del tema y la imposibilidad de aislamiento de funciones simples, siendo necesario estudiar al cerebro como un órgano total. A partir de estos

comienzos con el paso de los años y mediante evaluaciones sucesivas, se han llegado a conocer otros aspectos del EEG tal como lo conocemos hoy en día.

2.- ESTUDIO Y ANATOMÍA DEL ENCÉFALO.

El encéfalo, contenido en el cráneo, es la parte más voluminosa del sistema nervioso central (SNC), que continúa en la médula espinal, contenida en la columna vertebral, y en los nervios sensitivos y motores que llevan, respectivamente, información sensorial al encéfalo y el control de la musculatura del esqueleto.

El encéfalo se divide en las siguientes partes: tallo cerebral, cerebelo y cerebro (figura 1).

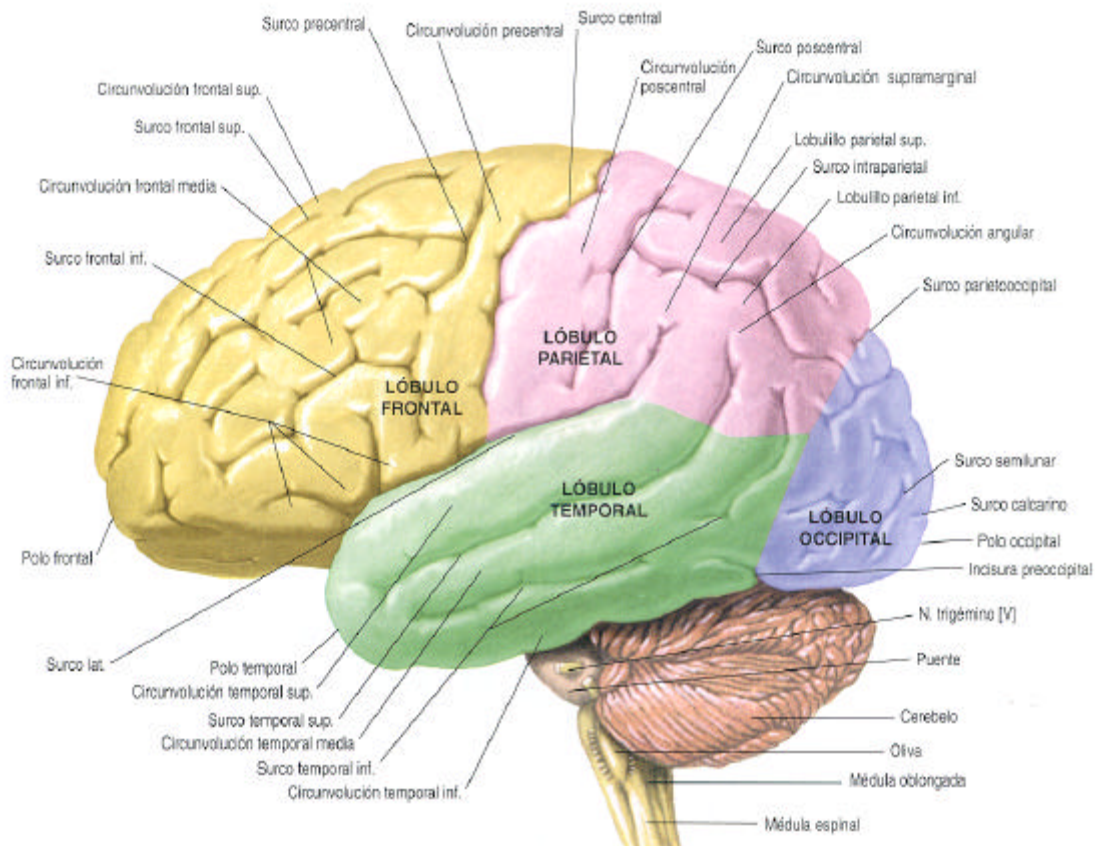


Figura 1.- Vista lateral izquierda del encéfalo y tronco del encéfalo.

El tallo cerebral es la parte evolutivamente más antigua del encéfalo; conecta entre sí el córtex cerebral, la médula espinal y el cerebelo; controla asimismo los ritmos cardíaco y respiratorio, y es el centro de diversos reflejos motores.

El cerebelo es el coordinador de los movimientos voluntarios, además de mantener el equilibrio. Además realiza una función de “filtro paso bajo” para alisar lo que de otro modo serían movimientos musculares “espasmódicos”.

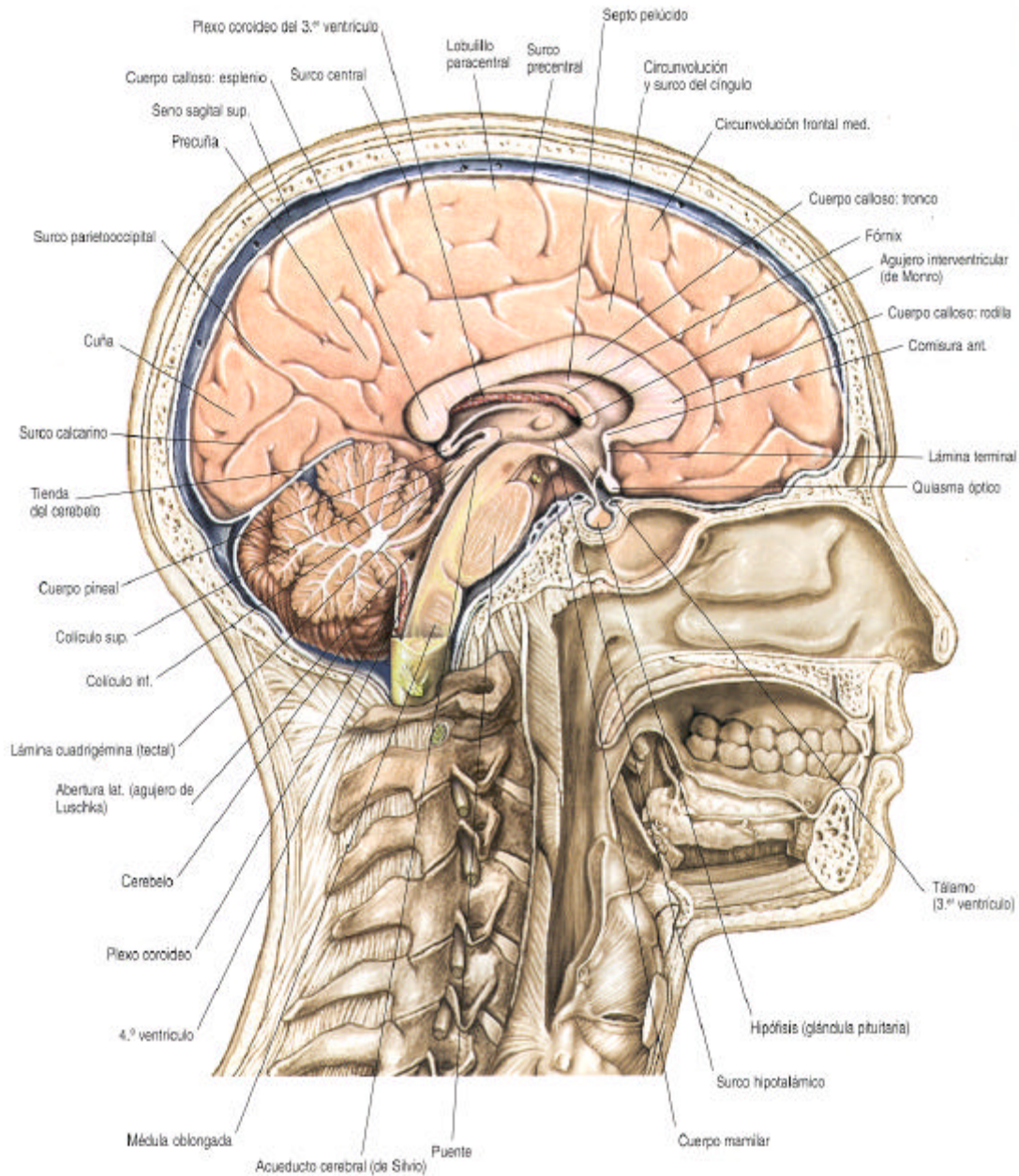


Figura 2.- Vista lateral de la sección media del encéfalo y tronco del encéfalo.

El cerebro es la parte más evolucionada del encéfalo y en él están localizadas las funciones conscientes del sistema nervioso. Posee dos partes llamadas hemisferios que se relacionan con las partes opuestas del cuerpo. La superficie externa del hemisferio se conoce por córtex y en ella se recibe la información sensorial. Las capas más profundas están formadas por axones y núcleos de células.

La subdivisión más importante del *encéfalo* es la *corteza cerebral*, que contiene unos 9 de los 12 billones de neuronas que hay en el cerebro humano. La corteza es en realidad una capa más bien fina de neuronas situada en la periferia del cerebro que contiene muchas fisuras o pliegues entrantes para dar una mayor área superficial. Algunas de las fisuras más profundas, llamadas

también *surcos* se utilizan como límites para dividir la corteza en ciertos lóbulos. En la figura 3 se muestran varias de las más prominentes, junto con la situación de los lóbulos más importantes.

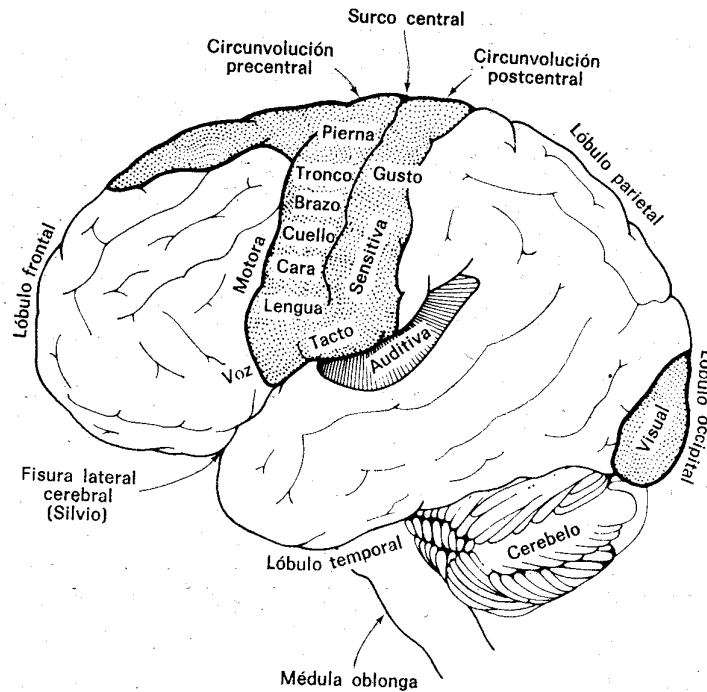


Figura 3.- La corteza cerebral.

Todas las entradas sensoriales alcanzan con el tiempo la corteza cerebral donde ciertas regiones parecen estar relacionadas específicamente, con ciertas modalidades de información sensitiva. Otras regiones de la corteza parecen estar relacionadas específicamente con las funciones motoras. Por ejemplo, todas las entradas sensoriales somáticas (calor, frío, presión, tacto, etc.) llegan a una región de la superficie cortical justo por detrás del surco central, abarcando la parte delantera del *lóbulo parietal*. Las entradas sensoriales somáticas de cada punto del organismo llevan a una parte específica de esta región, estando las entradas procedentes de las piernas y los pies más cerca de la parte superior, a continuación el torso, seguido de brazos, manos, dedos, cara, lengua, faringe y finalmente las regiones intraabdominales en la parte inferior. La cantidad de superficie adjudicada a cada parte del organismo es proporcional al número de nervios sensitivos que contiene y no a su tamaño físico real. Una representación gráfica de la disposición de estas áreas, denominada *homúnculo* parece una figura humana grotesca, cabeza abajo, con grandes dedos, cara, labios y lengua.

Justo delante del surco central está el *lóbulo frontal*, donde se encuentran las principales neuronas motoras que van a los distintos músculos del cuerpo. Las neuronas motoras también están distribuidas en la superficie de la corteza de una forma similar a las neuronas sensitivas. La situación de las distintas funciones motoras también se puede representar con un homúnculo igualmente boca abajo pero proporcionado según el grado de control muscular ofrecido por cada parte del organismo.

La figura 4 muestra el homúnculo sensor y el homúnculo motor, que representan la distribución espacial en la superficie cortical de las funciones sensitivas y motoras. En cada

caso, en la figura se muestra sólo la mitad del cerebro seccionado transversalmente por la región indicada.

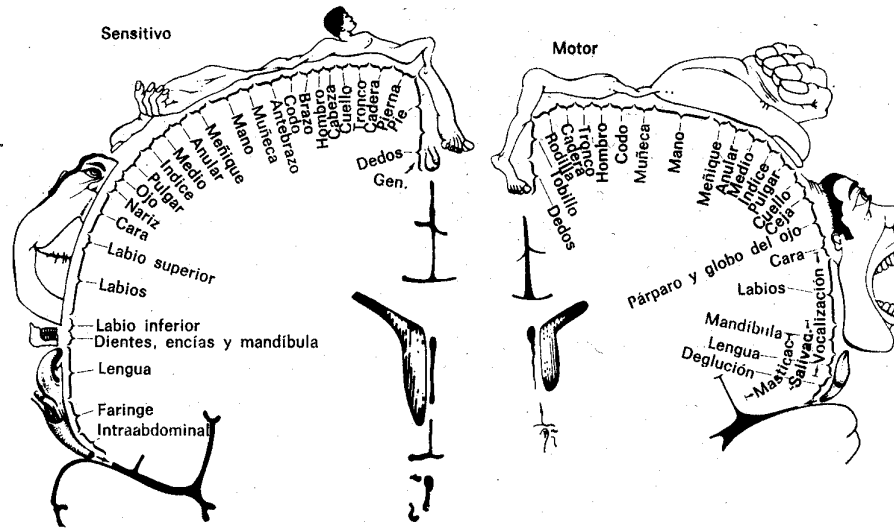


Figura 4.- Homúnculos humanos sensitivo y motor.

La parte delantera del cerebro llamada a veces *lóbulo prefrontal*, contiene neuronas para algunas funciones de control motor especiales, incluyendo el control de movimiento de los ojos.

El *lóbulo occipital* está muy hacia atrás de la cabeza, sobre el cerebelo. El lóbulo occipital contiene la corteza visual donde se proyectan en una representación geográfica las formas obtenidas en la retina.

La entrada sensitiva auditiva se puede seguir hasta los *lóbulo temporales* de la corteza, situados justo por encima de los oídos. Las neuronas que responden a las distintas frecuencias de la entrada de sonido se encuentran dispersas por toda la región, estando situadas las frecuencias más altas hacia la parte delantera y las más bajas hacia la parte trasera.

El olfato y el gusto no tienen situaciones específicas sobre la corteza cerebral, aunque en la percepción del olor interviene un bulbo cercano al centro del cerebro.

La corteza cerebral tiene muchas áreas que no son ni sensitivas ni motoras. En el hombre, esto sucede en la mayor parte de la corteza. Muchos científicos creen que estas áreas, denominadas *áreas de asociación* están involucradas en la integración o asociación de las distintas entradas para producir las respuestas de salida apropiadas y transmitir las a las neuronas motoras para controlar el organismo.

Electrogénesis cerebral

El tejido nervioso presenta como una de sus funciones básicas la capacidad de generar potenciales eléctricos que son la base de la excitabilidad del organismo. Para comprender la forma en que se generan estos potenciales es preciso un conocimiento de la estructura y las conexiones de aquellas partes del cerebro que los originan. En rigor, todo el sistema nervioso posee capacidad electrogénica. Sin embargo, para los propósitos del EEG bastará con considerar la corteza cerebral y las regiones directamente relacionadas con ella.

Histológicamente, la neocorteza está constituida por seis capas celulares: (fig. 5)

I: Capa superficial plexiforme de pequeñas células.

II: Capa de células granulares III.

III: Capa de células piramidales.

IV: Capa de células granulares.

V: Capa de células piramidales.

VI: Capa profunda polimorfa.

Las células de las capas III y V son efectoras.

Las células de las capas II y IV son receptoras.

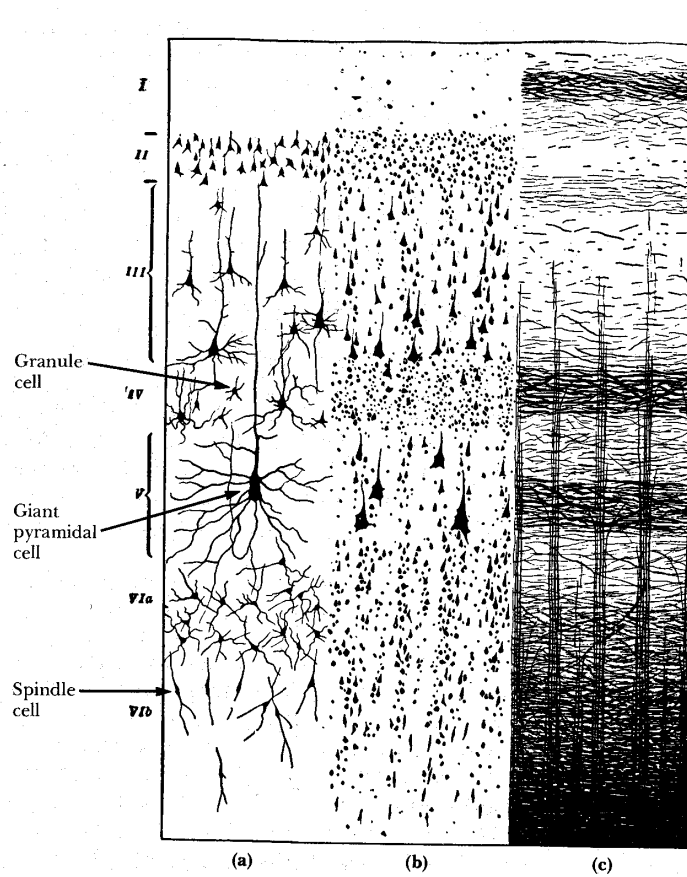


Figura 5.- Sección de la corteza parietal mostrando las seis capas histológicas.

Electrogénesis cortical

Un fragmento de tejido cortical aislado es asiento de actividad eléctrica espontánea. Esta actividad se caracteriza por salvas de ondas lentas sobre las que se superponen ritmos rápidos. Entre una salva y otra aparecen períodos de silencio eléctrico.

Estas señales son producidas como consecuencia de la actividad sináptica general de regiones discretas de tejido: los PPSE (potenciales postsinápticos excitadores) y los PPSI (potenciales postsinápticos inhibidores) se suman entre si y dan origen a potenciales lentos que son las ondas registradas. Una de estas porciones de tejido capaz de producir actividad eléctrica se llama un *GENERADOR*.

Se han puesto de manifiesto tres generadores corticales:

Generador A: Situado a unas 500 micras de la superficie cortical está producido por la despolarización de las dendritas apicales de las células piramidales. Su actividad produce ondas negativas en la superficie de la corteza. No tiene relación con la descarga de potenciales de acción de las células.

Generador B: Situado a 900 micras de profundidad está formado por las despolarizaciones de los somas de las células piramidales. Produce ondas positivas en la superficie cortical y su actividad coincide con la aparición de potenciales de acción en las células.

Generador C: Está situado también a 900 micras, pero su actividad determina ondas negativas en la superficie cortical y es el resultado de la hiperpolarización de las células. Su actividad coincide con una interrupción de la descarga de potenciales de acción en las células piramidales.

De forma general, una tensión positiva en la superficie cortical traduce una despolarización en las capas más profundas de la corteza. En cambio, una tensión negativa puede ser resultado, bien de una despolarización superficial, o de una hiperpolarización profunda.

Sincronización de la actividad celular

De lo dicho anteriormente, las señales corticales son consecuencia de la actividad neuronal. Sin embargo, dado que en un registro normal se recoge la actividad de muchos miles de neuronas, para poder conseguir una actividad global mínima es preciso que las neuronas vecinas se encuentren sincronizadas. Cuando así ocurre, se pueden observar ondas tanto mayores y tanto mas lentas, cuanto mayor sea la sincronía de los generadores.

La sincronización se encuentra bajo control de estructuras subcorticales, fundamentalmente ciertos núcleos talámicos que actúan como los marcapasos sincronizadores de las actividades rítmicas corticales. Por el contrario, otras regiones más caudales que van desde el hipotálamo hasta la porción rostral del bulbo constituyen estructuras desincronizadoras.

3.- CAPTACIÓN DEL EEG.

La actividad bioeléctrica cerebral puede captarse por diversos procedimientos:

- Sobre el cuero cabelludo.
- En la base del cráneo.
- En cerebro expuesto.
- En localizaciones cerebrales profundas.

Para captar la señal se utilizan diferentes tipos de electrodos:

- *Electrodos superficiales*: Se aplican sobre el cuero cabelludo.
- *Electrodos basales*: Se aplican en la base del cráneo sin necesidad de procedimiento quirúrgico.
- *Electrodos quirúrgicos*: para su aplicación es precisa la cirugía y pueden ser corticales o intracerebrales.

El registro de la actividad bioeléctrica cerebral recibe distintos nombres según la forma de captación:

- Electroencefalograma (EEG) : cuando se utilizan electrodos de superficie o basales. Electroencefalograma (ECoG): si se utilizan electrodos quirúrgicos en la superficie de la corteza.
- Estereo Electroencefalograma (E-EEG) : cuando se utilizan electrodos quirúrgicos de aplicación profunda.

Tipos de electrodos:

Superficiales: Existen varios tipos:

a) Adheridos. Son pequeños discos metálicos de 5 mm de diámetro. Se adhieren con pasta conductora y se fijan con colodión que es aislante. Aplicados correctamente dan resistencias de contacto muy bajas (1-2 kilo ohmios).

b) De contacto. Consisten en pequeños tubos de plata clorurada roscados a soportes de plástico. En su extremo de contacto se colocan una almohadilla que se humedece con solución conductora. Se sujetan al cráneo con bandas elásticas y se conectan con pinzas de «cocodrilo». Son de colocación muy fácil, pero incómodos para el paciente. Por ésto no permiten registros de larga duración (fig. 6).

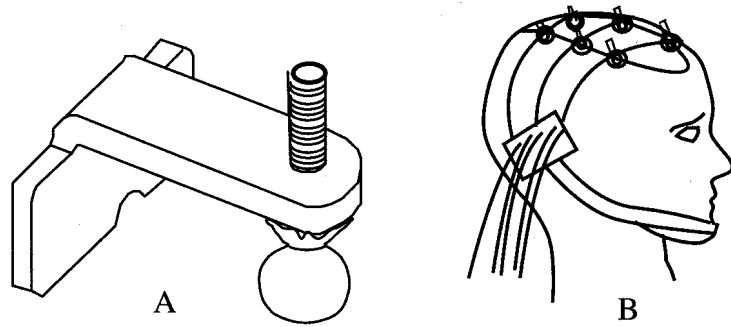


Figura 6.- A. Esquema de un electrodo de contacto. B. Colocación de los electrodos de contacto.

c) En casco de malla (fig. 7). De introducción reciente. Los electrodos están incluidos en una especie de casco elástico. Existen cascos de diferentes tamaños, dependiendo de la talla del paciente. Se sujetan con cintas a una banda torácica. Como características mas importantes presentan la comodidad de colocación, la comodidad para el paciente en registros de larga duración, su gran inmunidad a los artefactos y la precisión de su colocación, lo que los hace muy útiles en estudios comparativos, aunque para sacar provecho de esta característica es precisa una técnica muy depurada.

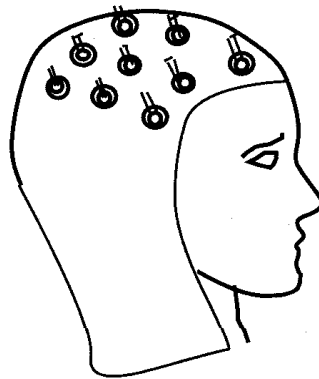


Figura 7.- Principio de colocación de electrodos en casco de malla.

d) De aguja. Su uso es muy limitado; solo se emplea en recién nacidos y en UCI. Pueden ser desechables (de un solo uso) o de uso múltiple. En este caso, su esterilización y manipulación deben ser muy cuidadosos. Todos los electrodos descritos hasta aquí registran solamente la convexidad superior de la corteza. Para el estudio de la cara basal del encéfalo se utilizan electrodos especiales como el faríngeo, el esfenoidal, y el timpánico.

e) *Quirúrgicos*. Se utilizan durante el acto quirúrgico y son manipulados exclusivamente por el neurocirujano. Pueden ser duros, corticales o intracerebrales.

Sistemas de posicionamiento de los electrodos superficiales

Aunque hay varios sistemas diferentes (Illinois, Montreal, Aird, Cohn, Lennox, Merlis, Oastaut, Schwab, Marshall, etc), el sistema internacional «Diez-Veinte» es el más utilizado en el momento actual. Para situar los electrodos según este sistema se procede de la forma siguiente:

- Se mide la distancia entre el nasion y el inion pasando por el vertex. El 10% de esta distancia sobre el nasion señala el punto Fp (Frontal Polar). El 10% de esta distancia sobre el inion señala el punto O (Occipital) (fig. 8).

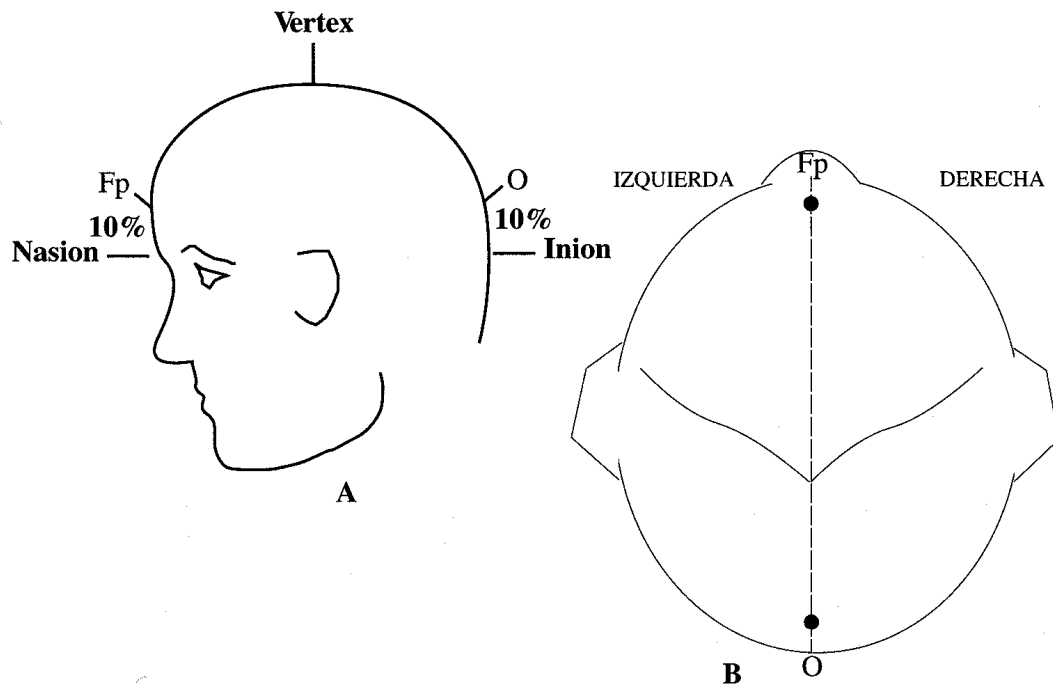


Figura 8.- A. Vista de perfil. B. Vista superior. Fp, punto frontal polar; O, punto occipital.

– Entre los puntos FP y O se sitúan otros tres puntos espaciados a intervalos iguales (entre cada dos el 20% de la distancia nasion-inion). Estos tres puntos son, de delante hacia atrás, el Fz (Frontal) el Cz (Central o Vertex) y el Pz (Parietal). No deben confundirse Fz, Cz o Pz cuyos subíndices significan «cero» («zero» en inglés) con la letra «O» referente a los electrodos occipitales (fig. 9).

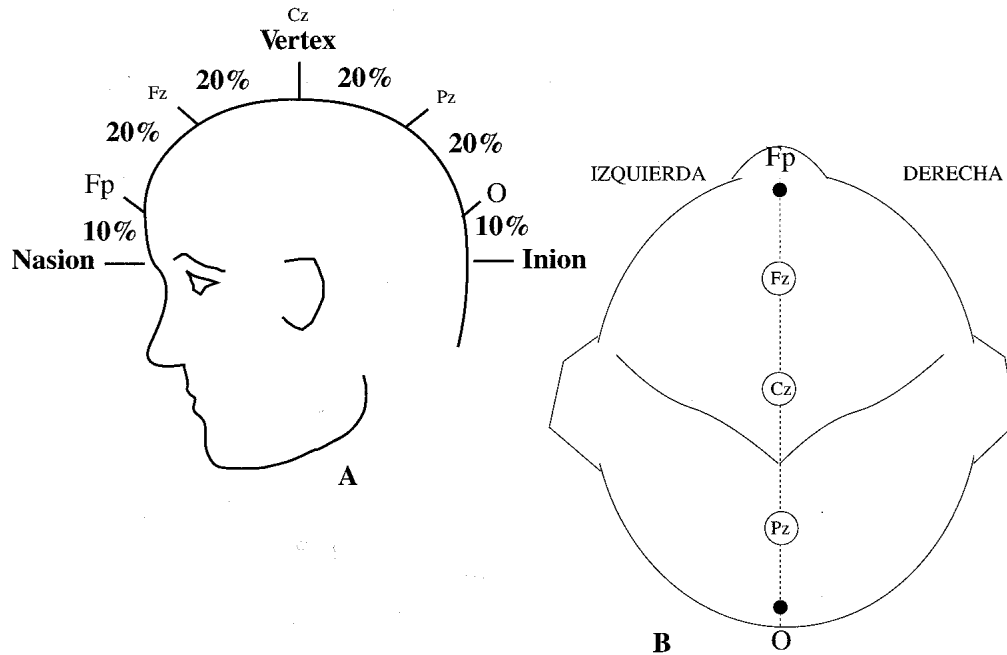


Figura 9.- A. Vista perfil. B. Vista superior. Fz, punto frontal; cz, punto central; Pz, punto parietal.

– Se mide la distancia entre los puntos preauriculares (situados por delante del pabellón auditivo) pasando por el vertex (Cz). El 10% de esta distancia marca la posición de los puntos temporales mediales, T3 (izquierdo) y T4 (derecho) (fig. 10).

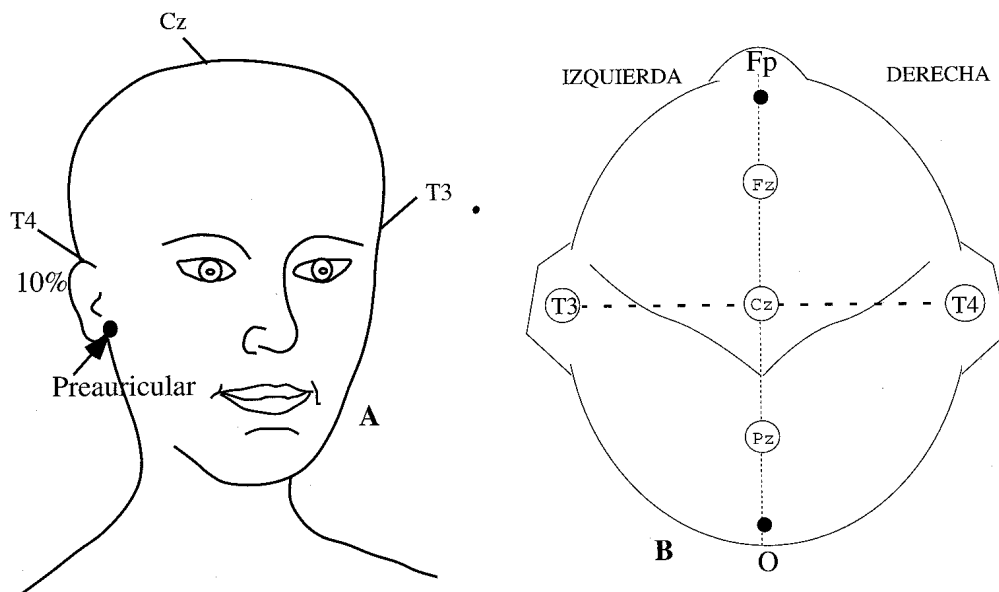


Figura 10.- Medición coronal lateral. A. Vista frontal. B. Vista superior. Situación de los electrodos T3 y T4.

– Un 20% de la medida por encima de los puntos temporales medios se colocan los electrodos C3 (izquierda) y C4 (derecha). El vertex es ahora el punto de intersección entre la línea anteroposterior y la línea coronal lateral (fig. 11).

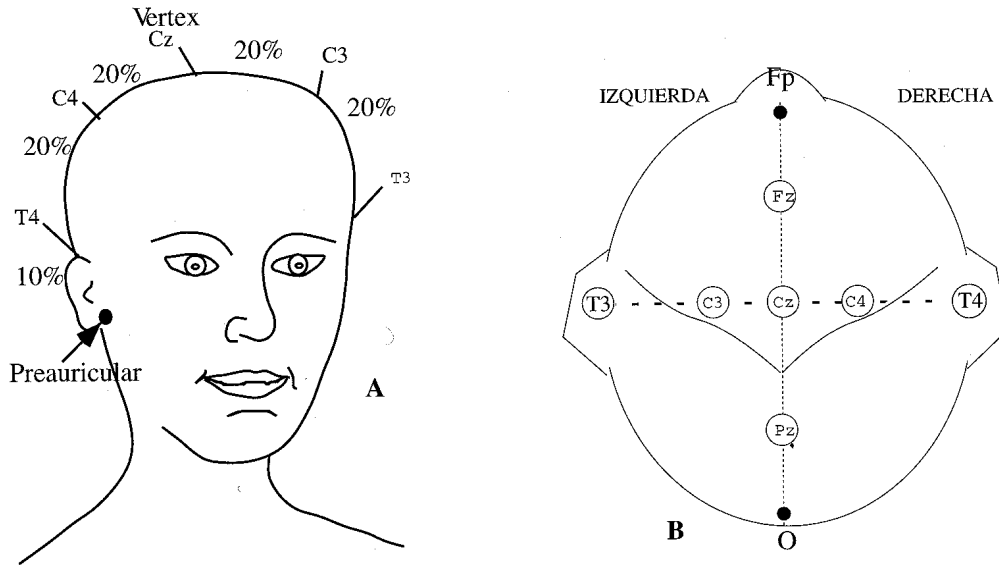


Figura 11.- A. Vista de frente. B. Vista superior. Situación de los electrodos C3 y C4.

– Los electrodos F3 y F4 (Izquierda y derecha, respectivamente) están situados de forma equidistante entre el punto frontal medio (Fz) y la línea de electrodos temporales (fig. 12).

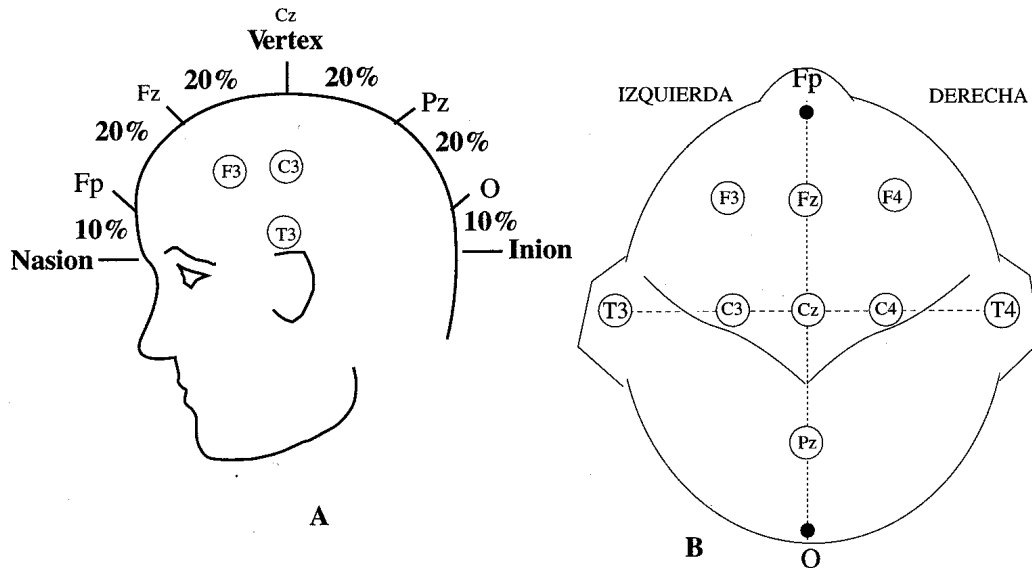


Figura 12.- A. Vista de perfil. B. Vista superior. Situación de los electrodos F3 y F4.

– Los electrodos P3 y P4 (izquierda y derecha, respectivamente) equidistan entre el punto P medio y la línea de los electrodos temporales (fig. 13).

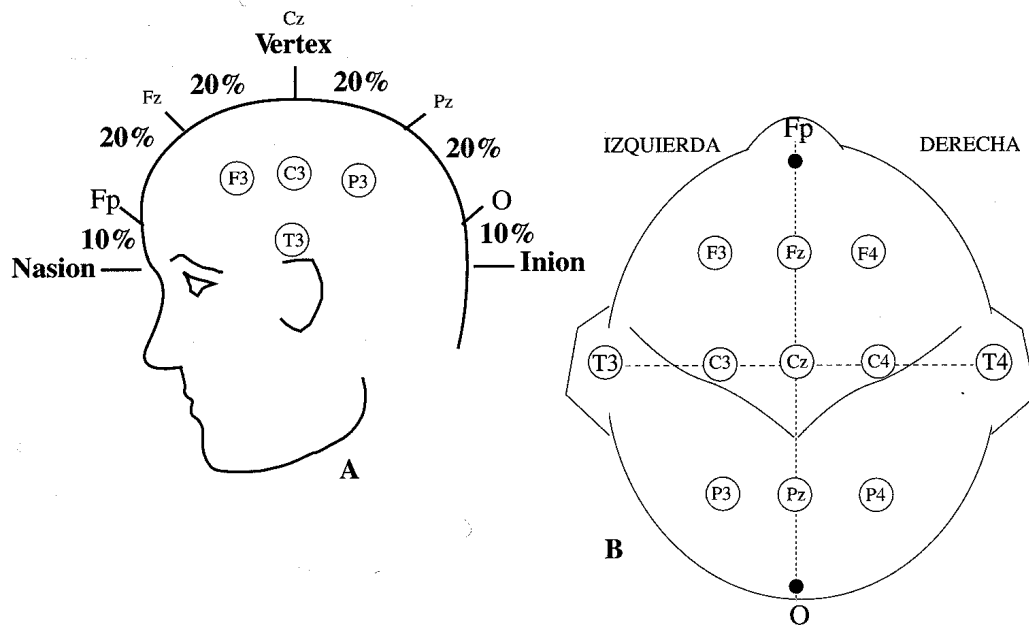


Figura 13.- A. Vista de perfil. B. Vista superior. Situación de los electrodos P3 y P4.

– Se mide la distancia entre el punto medio Fp y el punto medio O a través de T3. El 10% de esta distancia a través de Fp corresponde a los electrodos FP1 y FP2. El 10% de esta distancia a través de O corresponde a los electrodos O1 y O2.

El electrodo F7 (y el F8) se sitúa equidistante entre los puntos FP1 (ó FP2) y T3 (ó T4).

El electrodo T5 (y el T6) se sitúa en la línea media entre T3 (ó T4) y O1 (ó O2) (fig. 14).

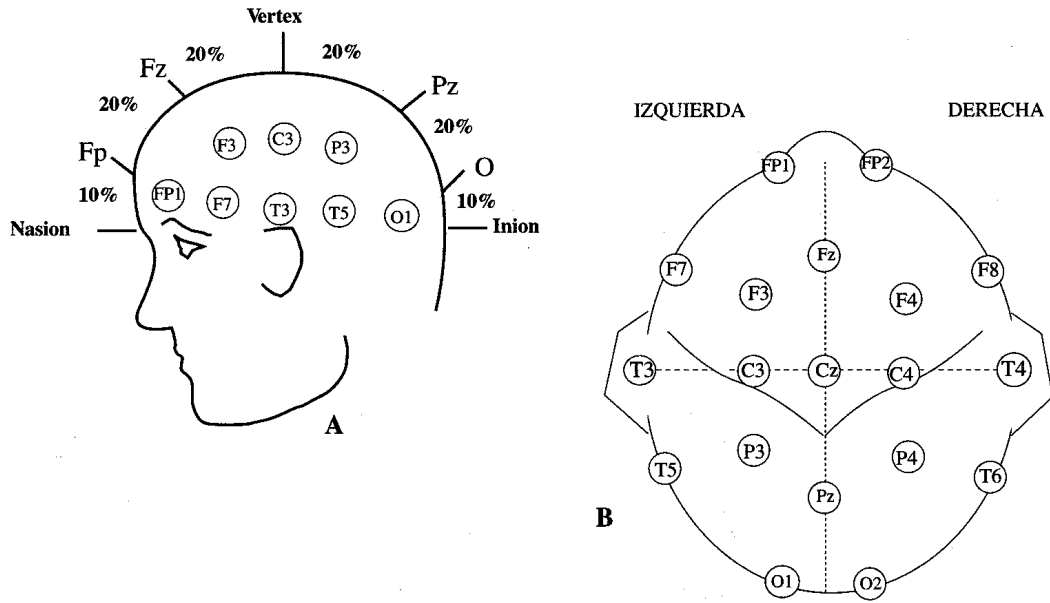


Figura 14.- A. Vista de perfil. B. Vista superior. Situación de los electrodos F7, F8, T5, T6, FP1, P2, O1 y O2.

- A un 10% de los temporales T3 y T4 se sitúan los electrodos auriculares A1 y A2 respectivamente (fig. 15).

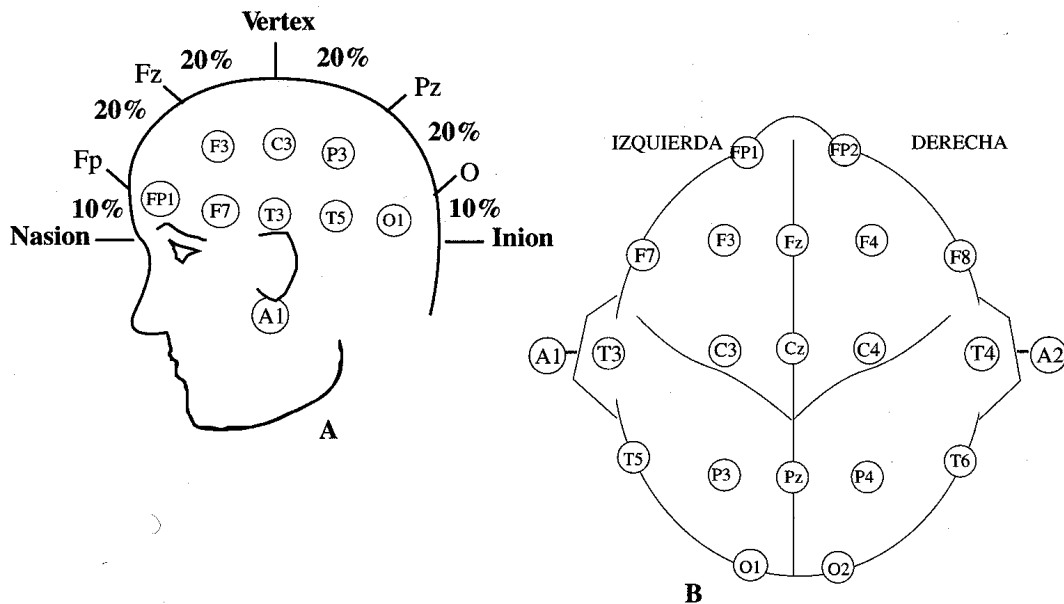


Figura 15.- A. Vista de perfil. B. Vista superior. Situación de los electrodos A1 y A2.

Como regla general, los electrodos del lado izquierdo llevan numeración impar mientras que los del lado derecho la llevan par. Además, como ya se dijo, los electrodos de la línea media reciben el subíndice «z» (por «zero», cero en inglés).

– La versión europea del sistema presenta ligeras variaciones (fig. 8.16): Los electrodos temporales mediales, llamados T3 y T4 se representan como Tm (temporal medial). Paralelamente, los electrodos F7 y F8, T5 y T6 son denominados como temporales anteriores Ta (F7 y F8) y temporales posteriores Tp (T5 y T6). Es decir que la versión europea considera los frontales superiores F7 y F8 como temporales anteriores, habiendo así una pequeña diferencia de posición. Los electrodos F3 y F4 son representados como Fs (frontales superiores) y los P3 y P4 como P (parietales). Finalmente los centrales C3 y C4 son representados como CI y CD.

Además la versión europea considera dos electrodos más, los mastoideos, colocados junto a las apófisis mastoideas (M).

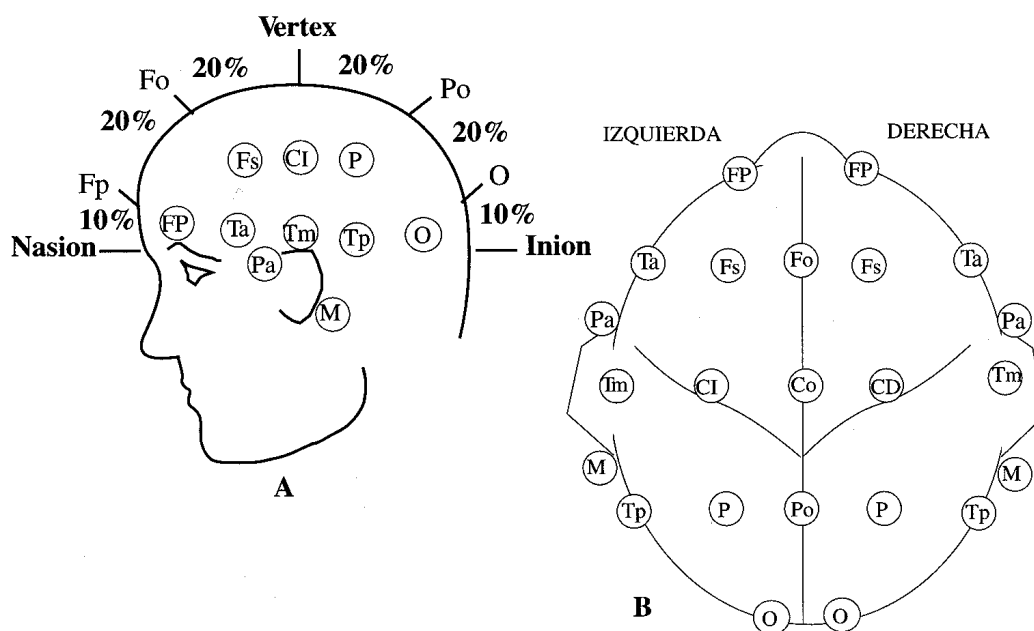


Figura 16. Sistema de colocación de electrodos según versión europea. A. Vista de perfil. B. Vista superior.

Montajes de un EEG

Para proceder a registrar el EEG se parte de una serie de electrodos situados sobre la superficie del cuero cabelludo en situaciones precisas, tal como ya se ha explicado, determinadas según el sistema internacional diez-veinte. Cada electrodo es un punto de registro. Sin embargo, para poder realizar este registro es preciso disponer de dos terminales. Por esto habrá que seleccionar cuáles de los electrodos deben ser la fuente de señal registrada en el electroencefalógrafo, dependiendo del número de canales disponibles y del propósito específico del registro a realizar. En este aspecto, la primera decisión que se deberá tomar será el seleccionar entre *Registros Monopolares* y *Registros Bipolares*.

En los Registros *Monopolares* o *Referenciales* (fig. 17) se toma la señal de cada uno de los electrodos independientemente de la de los demás. En esta situación el electrodo de registro se llama electrodo activo y el segundo cable de entrada al equipo se toma de un electrodo llamado de Referencia.

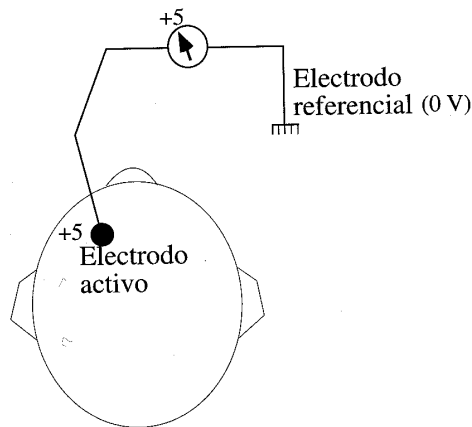


Figura 17. Esquema que representa el montaje para un registro monopolar.

Teóricamente este electrodo debe estar situado a potencial cero, aunque esto en la práctica real nunca hay seguridad de que sea posible de conseguir. Por esto se emplean referencias aproximadas como son el uso de electrodos en el lóbulo de la oreja, en el mentón o en el mastoides. Otra forma de conseguir un electrodo referencial consiste en reunir todos los demás electrodos entre sí, con lo cual tendremos un punto cuyo potencial será la suma de los potenciales de cada uno de ellos dependiendo del número de canales disponibles.

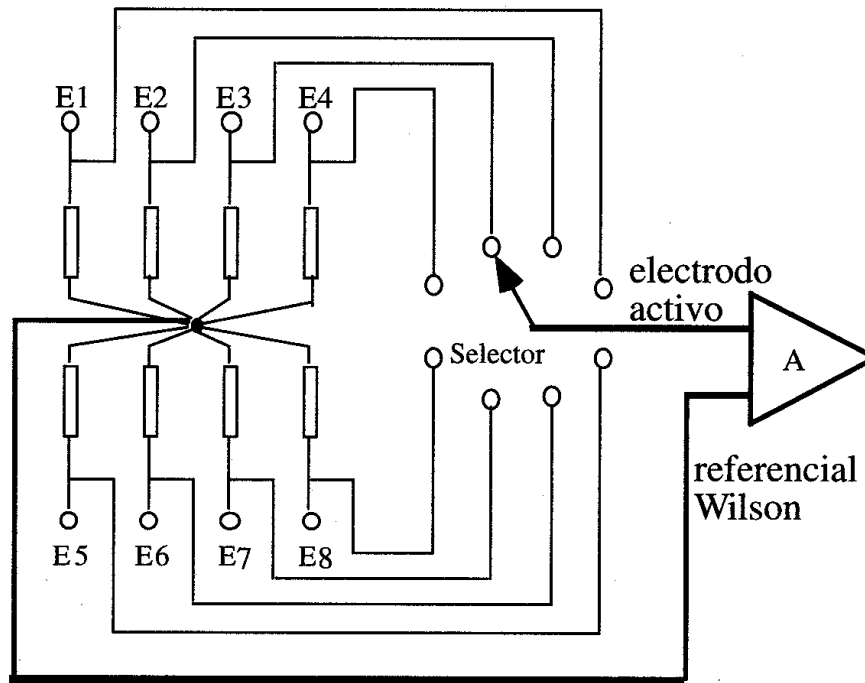


Figura 18. Esquema del sistema Wilson en el registro del EEG (vease explicación en el texto). E1-E8, electrodos; A, amplificador.

Presumiblemente, esta suma será cero, con lo que tendremos ya el punto que buscábamos. Pero con esto, solo se podría registrar la actividad de un electrodo cada vez, ya que todos los demás estarían cortocircuitados entre sí. Para evitar este problema, la interconexión entre todos se realiza por medio de resistencias de valor moderadamente bajo (entre 1 y 1.5 Mohmios). Este es el llamado *sistema Wilson* (fig. 18) y con él se pueden tomar tantos pares referencial-activo como se desee, por supuesto, dependiendo del número de canales disponibles en el equipo.

Existen otros tipos de referencia diferentes que se utilizan, por ejemplo, para reducir algunas interferencias particulares. Por ejemplo, para reducir los artefactos debidos al electrocardiograma, muy corrientes en los registros referenciales, se disponen dos o mas electrodos en lugares proximos al corazón (fuera del cráneo) y se unen entre si. De esta forma en ellos se cortocircuita la señal electrocardiográfica con lo que ésta se atenúa en gran medida. Incluso es posible balancear, por medio de un mando adecuado, el punto de referencia virtual formado con estos electrodos para asegurar una atenuación mas completa de la señal ECG indeseada.

En los Registros *Bipolares* se toman parejas de electrodos, dos a dos y se registran las diferencias de tensión entre cada par de puntos (fig. 19). Los dos electrodos de cada pareja son activos.

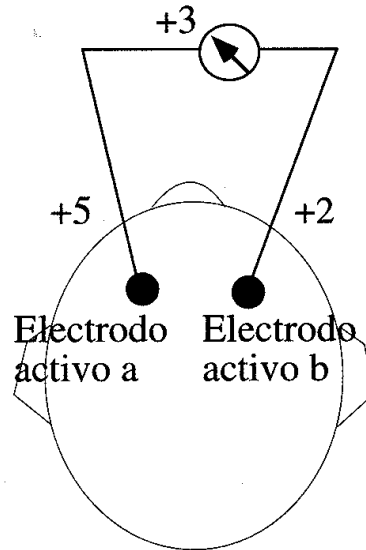


Figura 19. Esquema de un montaje para un registro bipolar. El electrodo a está a un potencial de +5, el electrodo b a un potencial de +2, registrándose así un potencial de $(+5) - (+2) = +3$.

De acuerdo con lo anterior es posible realizar un número enorme de registros bipolares diferentes, tantos como parejas diferentes de electrodo, tomadas en grupos de 8, de 12, de 16 ... (según el número de canales disponibles para registro simultáneo). Por supuesto, este número de combinaciones es enorme y por otra parte, muchas de las combinaciones posibles no rendirían información de interés. Por esta razón es preciso seleccionar, de entre todas las posibles, las combinaciones más interesantes. Cada una de las combinaciones seleccionadas se llama un *Montaje*.

Se utilizan *Montajes a Largas Distancias*, cuando se registra entre electrodos no contiguos. Por el contrario, en los *Montajes a Distancias Cortas* se hacen registros entre electrodos vecinos.

Por otra parte, los montajes también han sido clasificados por la Federación Internacional de EEG y Neurofisiología en *Longitudinales* y *Transversales*.

En los *Montajes Longitudinales* se registra la actividad de pares de electrodos dispuestos en sentido anteroposterior de cada mitad del cráneo. En los *Montajes Transversales* se realizan registros de pares de electrodos dispuestos transversalmente según los planos sagitales anterior, medio o posterior (fig. 20).

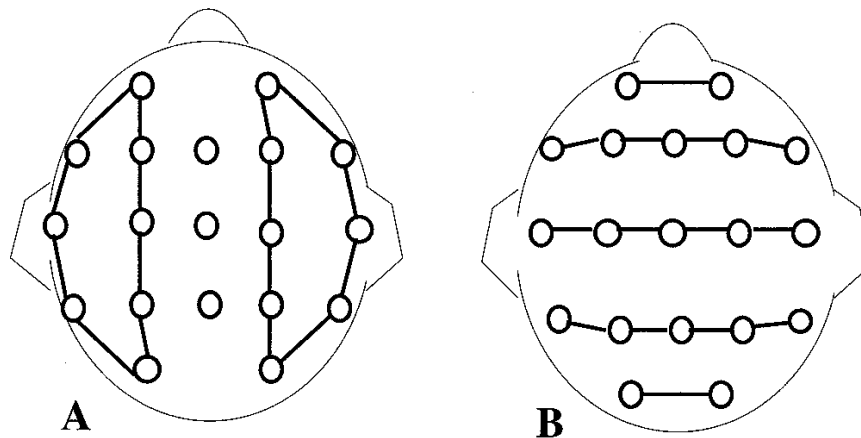


Figura 20. Esquema de un montaje A. longitudinal bipolar, B. transversal bipolar. Cada segmento situado entre dos puntos representa un canal de registro.

Además de estos montajes, existen otros muy usados, como las Zetas del Standard Cero, o las triangulaciones, pero no están normalizados por la Federación Internacional.

Se recomienda, además, seguir las siguientes directrices en el diseño de montajes para registro del EEG:

- Registrar como mínimo 8 canales.
- Utilizar el sistema diez-veinte para colocación de electrodos.
- Cada sesión rutinaria de registro EEG debe incluir como mínimo un montaje de los tres tipos principales: referencial, longitudinal bipolar y transversal bipolar.

Los 16 canales recomendados por la «*American Electroencephalographic Society*» (1986) para cada uno de los tipos de montajes utilizados en adultos están representados en la tabla 8.1. Los canales adicionales pueden utilizarse para registrar otras funciones biológicas como ECG, movimientos oculares, respiración, EMG, ...

Canales	LB	TB	R
1	FP1-F3	FP1FP2	FP1-A1
2	F3-C3	F7-F3	FP2-A2
3	C1-P3	F3-Fz	F3-A1
4	P3-O1	Fz-F4	F4-A2
5	FP2-F4	F4-F8	C3-A1
6	F41-C4	A1-T3	C4-A2
7	C4-P4	T3-C3	P3-A1
8	P4-O2	C3-Cz	P4-A2
9	FP1-F7	Cz-C4	O1-A1
10	F7-T3	C4-T4	O2-A2
11	T3-T5	T4-A2	F7-A1
12	T5-O1	T5-P3	F8-A2
13	FP2-F8	P3-Fz	T3-A1
14	F8-T4	Pz-P4	T4-A2
15	T4-T6	P4-T6	T5-A1
16	T4-O2	O1-O2	T6-A2

Tabla 8.1. Montajes recomendados para EEG. LB, montaje longitudinal; TB, montaje transversal bipolar; R, montaje referencial.

4.- ONDAS DEL ECG.

Poseen amplitudes que van desde los 10 mV en registros sobre el córtex, a 100 μ V en la superficie del cuero cabelludo. Las frecuencias de estas ondas se mueven entre 0,5 y 100 Hz y dependen mucho del grado de actividad del córtex cerebral. La mayoría de las veces estas ondas no poseen ninguna forma determinada, en algunas son ritmos normales que suelen clasificarse en ritmos α , β , θ y δ . En otras poseen características muy específicas de patologías cerebrales como la epilepsia (figura 21).

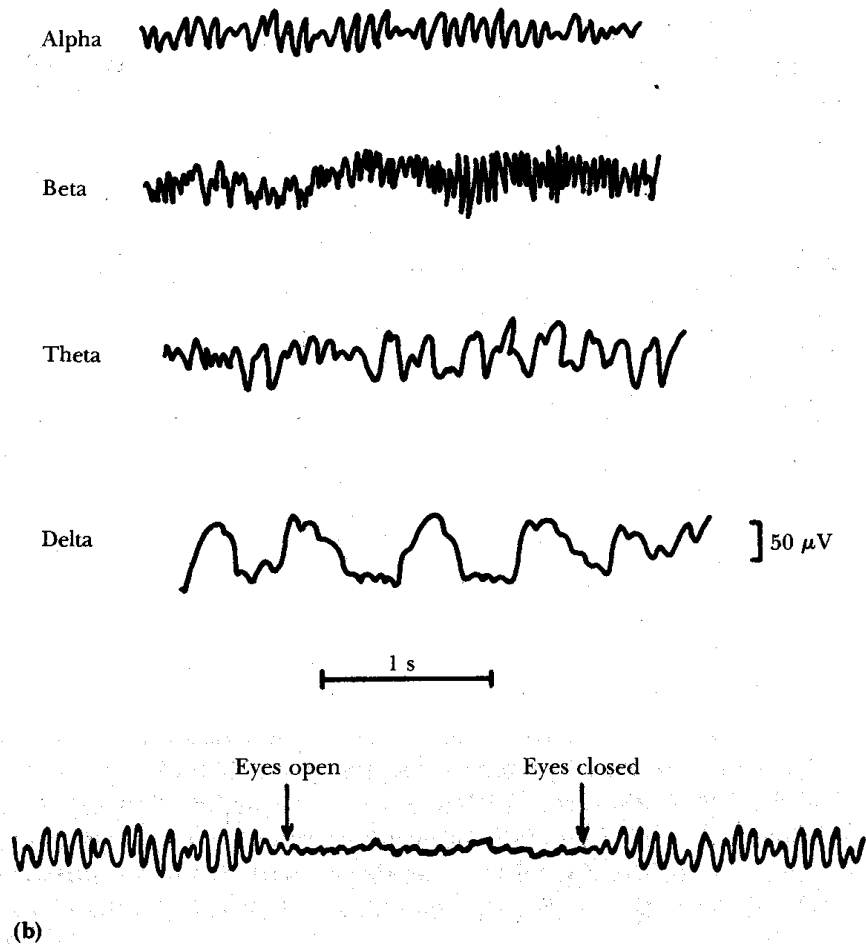


Figura 21.- Ritmos normales en electroencefalografía.

Las ondas α poseen frecuencias entre 8 y 13 Hz. Se registran en sujetos normales despiertos, sin ninguna actividad y con los ojos cerrados, localizándose sobre todo en la zona occipital; su amplitud está comprendida entre 20 y 200 μ V.

Las ondas β poseen frecuencias entre 14 y 30 Hz, aunque pueden llegar hasta los 50 Hz; se registran fundamentalmente en las regiones parietal y frontal. Se dividen en dos tipos fundamentales, de comportamiento muy distinto, β_1 y β_2 . Las ondas β_1 , tienen una frecuencia doble a las ondas β_2 y se comportan de forma parecida a ellas. Las ondas β_2 , aparecen cuando se activa intensamente el SNC o cuando el sujeto está bajo tensión.

Las ondas θ poseen frecuencias entre 4 y 7 Hz y se presentan en la infancia aunque también pueden presentarlas los adultos en períodos de *stress* emocional y frustración. Se localizan en las zonas parietal y temporal.

Las ondas δ poseen frecuencias inferiores a 3,5 Hz y se presentan durante el sueño profundo, en la infancia y en enfermedades orgánicas cerebrales graves.

Hemos visto cómo la actividad cerebral durante la vigilia modifica sustancialmente el EEG. Algo parecido ocurre durante el sueño, en el que tienen lugar de forma cíclica cambios

espectrales muy notables, pudiendo ser cualquier desviación indicativa de una patología cerebral. En la figura 22 se distinguen distintas fases del sueño que corresponden sucesivamente a los estados de alerta o excitación, de relajación, de somnolencia, de sueño y, finalmente, de sueño profundo. Obsérvese que la frecuencia de las ondas del EEG va disminuyendo progresivamente, aunque pueden aparecer ondas transitorias rápidas (puntas, ondas V y complejos K). Además del EEG se suelen registrar conjuntamente otras variables fisiológicas como el EOG (electrooculograma), el ECG (electrocardiograma), el EMG (electromiograma) y la frecuencia respiratoria, que ayudan a determinar la profundidad del sueño del sujeto en observación. Así por ejemplo, el EOG permite determinar las fases REM (*rapid eye movement*) del sueño, el EMG el grado de relajación muscular, etc.

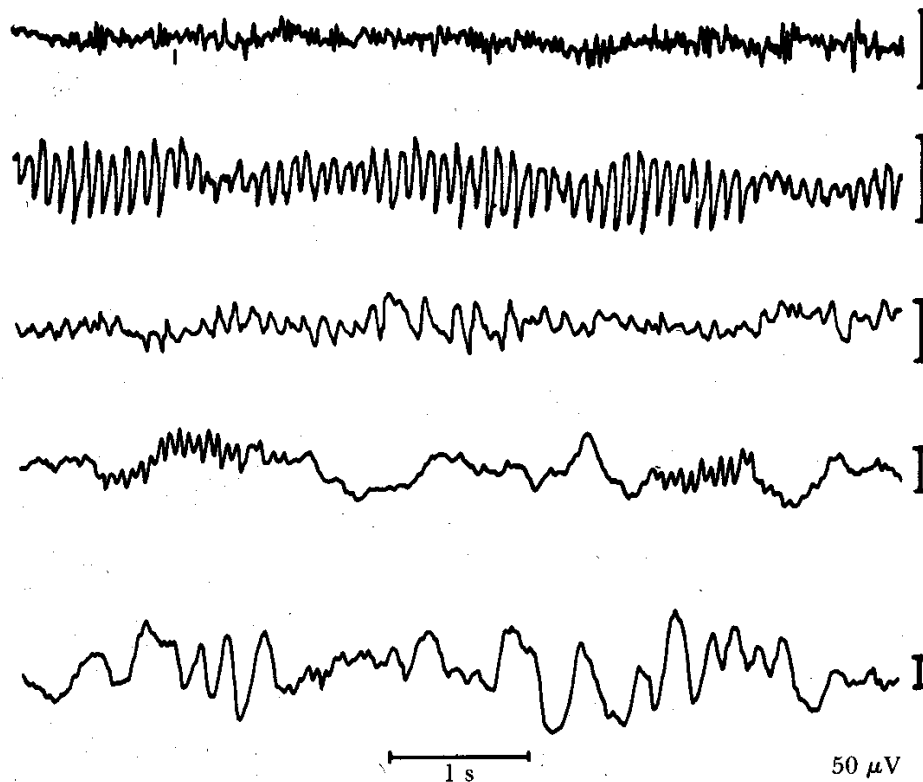


Figura 22.- EEG durante distintas fases del sueño.

Por último señalaremos que las distintas fases del sueño se suelen repetir de forma cíclica durante la noche. Uno de los usos fundamentales del EEG está en el diagnóstico y localización de la epilepsia, que tiene su origen en una activación excesiva de parte o de todo el SNC. Existen tres grupos básicos de epilepsia: la epilepsia generalizada – que abarca todo el cerebro –, la parcial – que sólo lo hace en parte – y la de difícil clasificación – que no corresponde a ninguno de los tipos anteriores.

Algunos ejemplos de crisis más frecuentes que presentan sujetos con epilepsia generalizada son las crisis tónico-clónicas (*grand mal*), las crisis mioclónicas y las crisis de ausencia. Las crisis tónico-clónicas parecen tener origen en la hiperexcitabilidad o anormalidad de las neuronas del sistema de activación reticular. Las descargas se expanden por todo el sistema nervioso dando lugar a convulsiones del cuerpo entero que duran desde algunos segundos hasta 3 o 4 minutos.

Después del ataque el sujeto puede permanecer inconsciente bastantes minutos (hasta una hora). El EEG presenta, en la fase tónica, ondas de frecuencia igual a las ondas α pero de mayor amplitud y registrables desde cualquier punto del córtex (figura 23b).

Durante las crisis mioclónicas el sujeto experimenta un ataque parecido al “gran mal”, pero el proceso termina muy rápidamente sin que el sujeto pierda la conciencia ni cese su actividad. En las crisis de ausencia el sujeto presenta de 5 a 20 segundos de inconsciencia con contracciones musculares en la región de la cabeza, volviendo a continuación a la actividad que estaba desarrollando antes del ataque. El EEG muestra puntas y ondas características (figura 23a). Las epilepsias parciales suelen ser causadas por lesiones cerebrales orgánicas focales (tumores, traumatismos, tejido destiuido,...). Algunos ejemplos de crisis parciales son las crisis con síntomas motores (posturales, jacksonianas, afásicas,...), con síntomas sonatosensoriales (visuales, auditivos,...), con trastornos de la conciencia (automatismos, crisis de angustia, de risa,...), etc. En la figura 23c se observa un ejemplo gráfico de una crisis motriz: ondas rectangulares de frecuencia entre 2 y 4 Hz con ondas superpuestas de 14 Hz.

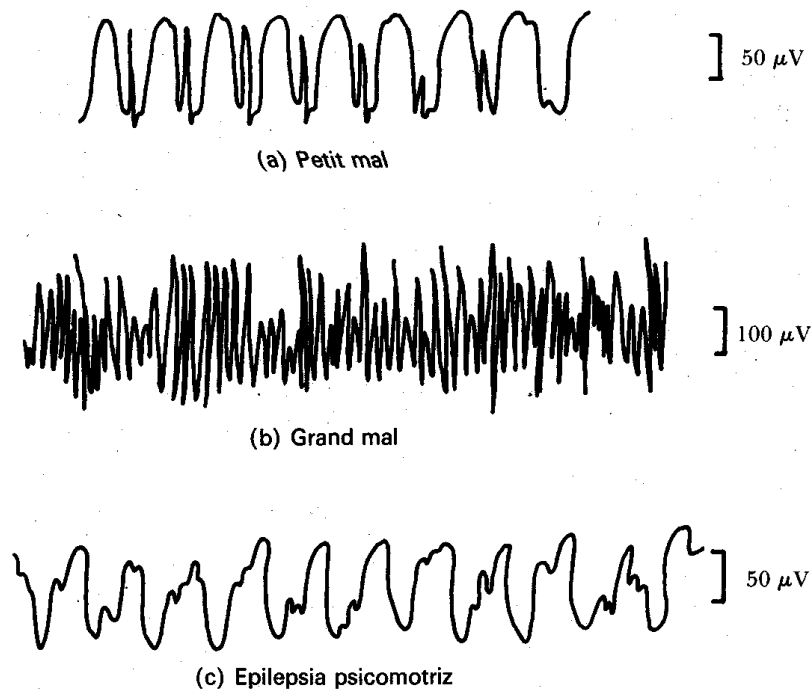


Figura 23.- EEG correspondiente a distintos tipos de epilepsia.

5.- VALOR CLÍNICO DEL ECG.

6.- ELECTROENCEFALÓGRAFOS.