

Generación de estímulos para potenciales evocados y sistema de adquisición, acondicionamiento y visualización de señales EEG*

*Andrés Felipe Leiva Gualy**
Ronald Hernán Narváez Trujillo****

Resumen

El cerebro humano, es el órgano más complejo y fascinante que existe en el universo, con más de 30 billones de neuronas las cuales son como computadores en miniatura, pero mucho más perfecto que cualquier PC construido hasta hoy; tienen cerca de 100 billones de conexiones entre ellas con idéntica capacidad en bits, esto es mucho más que el número de estrellas que se estima hay en la Vía Láctea. Además, es el encargado de controlar todo el funcionamiento del cuerpo humano, desde el rápido movimiento de la mano de un pianista que interpreta una melodía, la realización de un complejo cálculo matemático, la integración del estímulo visual en tres dimensiones, hasta ser capaz de reflexionar sobre sí mismo y todo lo que lo rodea, no quedando duda que su desarrollo en el ser humano, ha permitido que este se separe de los demás seres vivos, domine la tierra y cambie el curso de la evolución.

Debido a la importancia del cerebro, al limitado conocimiento que se tiene sobre su funcionamiento y a la fascinación que causa, el grupo de investigación Tratamiento de Señales y Telecomunicaciones – GTST- del programa de Ingeniería Electrónica de la Universidad Surcolombiana, generó la rama de potenciales evocados asociados a Electroencefalogramas – EEG-, que planteó construir un sistema de adquisición, acondicionamiento y visualización de señales EEG, con su respectivo generador de estímulos para potenciales evocados (electroencefalógrafo de 8 canales); con la finalidad de investigar y procesar dichas señales aprovechando que el EEG, es uno de los pocos dispositivos que permite evaluar la función del sistema nervioso central, registrando la actividad eléctrica cerebral espontánea (expresión de la actividad de grupos neuronales que trabajan de forma conjunta) de una manera no cruenta y a bajo costo. A diferencia, las modernas técnicas de neuroimágenes, como la tomografía y resonancia, son métodos estructurales, que permiten ver la lesión, pero no informan acerca del proceso patofisiológico que se sucede en la misma, como si lo hace el EEG.

Palabras claves: EEG, instrumentación biomédica, biopotenciales, hiperpolarización, patofisiológico, neurofisiología.

* José de Jesús Salgado Patrón. Director Proyecto de Grado. M.Sc. Electrónica y Computadoras. Profesor Asistente. Facultad de Ingeniería. Universidad Surcolombiana. josesalgadop@usco.edu.co

** Ingeniero Electrónico. Universidad Surcolombiana.

*** Ingeniero Electrónico. Universidad Surcolombiana.



ABSTRACT

The human brain is the most complex organ of the human body, with more than 30 billions of neurons which work in a similar way micro-computers do. Neurons have approximately 100 billions of connections with identical bit capacity. This amount is more than the number of stars of the Milky Way. Moreover, the human brain controls the operation of the human body which is represented in examples such as a piano performance, mathematics calculation and visual stimulus in three dimensions. All this has been critical for the continuous development of human evolution.

The importance of the human brain and the lack of information about its operation have led to the Research Group in Signal Processing and Telecommunications from the Electronics Engineering Program in Surcolombiana University to generate an acquisition system and a stimulus generator to adapt and visualise EEG signals. The goal is to research and process those type of signals by registering the spontaneous activity of the brain.

Key words: EEG, biomedical instrumentation, biopotentials, hiperpolarization, patophysiology, neurophysiology.

Introducción

En los últimos dos decenios, el EEG ha ganado importancia en la psiquiatría clínica, debido al análisis cuantitativo que ofrece el EEG apoyado por la computación. Con resultados altamente consistentes y sólidos en el diagnóstico y localización de diferentes enfermedades como la epilepsia, la enfermedad de Creutzfeldt-Jakob, etiología degenerativa, trastornos del sueño, etc. En muchos casos, es posible hasta determinar la intensidad de una lesión orientando así al médico especialista sobre el diagnóstico y tratamiento a seguir.

En cumplimiento de la inquietud planteada por el grupo de investigación, se implementó un sistema de EEG, constituido por un hardware de ocho canales, compuestos de una etapa de amplificación, aislamiento, filtrado y adecuación, encargado de tomar las señales de EEG, directamente de la superficie craneal del paciente, por medio de electrodos no invasivos. Para la conversión A/D y transmisión de la señal al PC, se empleó una tarjeta de adquisición de National Instruments de 8 canales con conexión por USB. El software, fue desarrollado en LABVIEW desde donde se controló la tarjeta de adquisición, se procesaron y visualizaron todas las señales pertinentes (alfa, beta, theta y delta). Además, se desarrolló un sistema generador de estímulos visual (gafas - luz estroboscópica) y auditivo.

Desarrollo Del Proyecto

Electrofisiología:

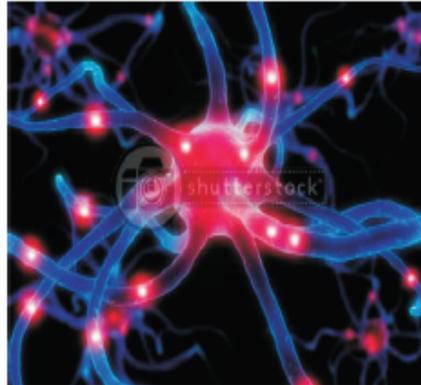


Figura 1. Neurona activa.

Las señales de EEG, se pueden registrar al colocar electrodos en la superficie de la cabeza, observándose una actividad sinusoidal rítmica. Dicha actividad es el resultado de la suma de múltiples potenciales locales que tienen lugar en las dendritas apicales.

Estos potenciales locales, son generados por la interacción de neurotransmisores con su receptor específico, ubicados en la membrana de dendritas (membrana postsináptica), conduciendo a una respuesta graduada ya sea de despolarización o de hiperpolarización llamada potencial postsináptico (PPS). La respuesta será tan grande, en la medida que sea mayor el número de vesículas que liberen el neurotransmisor.



Rítmos de EEG

Al realizar un EEG en un ser humano, se pueden observar diferentes señales sobre la superficie craneal, las cuales van desde 0.1 Hz hasta los 100 Hz, con amplitudes desde 10µV a 100µV.

Tabla 1. Rítmos EEG más importantes.

Ritmo	Frecuencia	Amplitud
Alfa	8-13 Hz	20-60 µV
Beta	18-25 Hz	5-10 µV
Theta	4-8 Hz	
Delta	0.1-3 Hz	

Potenciales evocados (PE)

Los PE, son señales eléctricas cerebrales de baja amplitud (0.5-2µV) que se producen como respuesta a un estímulo sensorial, se encuentran inmersos en las señales de EEG las cuales deben ser procesadas para su obtención.

Tabla 2. Potenciales evocados exógenos más conocidos

ESTÍMULO	POTENCIAL EVOCADO
Flash, tablero, figura, frase escrita	Visual
Tono, click, palabra	Auditivo
Presión, toque mecánico o eléctrico	Somatosensorial
Olor	Olfativo
Sabor	Gustativo
Giro, aceleración	Vestibular



Figura 2. Examen de EEG

Hardware del sistema

Para el desarrollo del hardware, se tuvo en cuenta las principales características de las señales de EEG, como son su amplitud y ancho de banda, las cuales fueron claves para la determinación de las ganancias de los amplificadores y la construcción de los filtros que eliminaron los diferentes ruidos.

Se realizó una primera amplificación en donde se buscó dar la mayor ganancia a dichas señales, evitando saturar el amplificador por la inherente amplificación del ruido, el cual tiene una amplitud mucho mayor que la señal bioeléctrica. Para ello, se empleó el amplificador de instrumentación INA128, especial para este tipo de aplicación. Teniendo en cuenta el parámetro anterior, se determinó que la ganancia idónea sería aproximadamente 100.

$$G = 1 + \frac{50K\Omega}{RG} \Rightarrow G = 1 + \frac{50K\Omega}{499\Omega} \Rightarrow G = 1 + 100 = 101$$

Posteriormente se implementó la referencia activa, garantizando la estabilidad en continua de la etapa de entrada del amplificador de instrumentación, permitiendo reducir la señal de modo común a la que está sometido el paciente y con esto se logra capturar la señal de EEG mucho más limpia. Todo ello además sin disminuir la seguridad del paciente.

Para incrementar la protección del paciente se utilizó el amplificador de aislamiento AD210. Pues este ofrece un aislamiento galvanico de tres puertos (entrada, salida y fuente de poder), hasta con 2500Vrms y ±3500Vp de aislamiento de voltaje en modo común entre la entrada y la salida. Todo esto al mejor precio del mercado.





En cuanto a la eliminación de los ruidos, se optó por emplear filtros activos por diferentes razones: su bajo costo, son ideales para trabajar con bajas frecuencias, ocupan poco espacio, no requieren inductores, no se necesitan relojes externos, no adhieren mucho ruido al sistema, permiten adicionar ganancia según lo necesite el filtro, etc. Dichos filtros se diseñaron con el amplificador operacional AD706 y el software Filter Wiz Pro 3.2. Planteándose de clase Bessel (Thompson), debido a que ofrece; un retardo de fase constante que permite la fácil obtención de la respuesta del paciente a los estímulos, la mejor respuesta al escalón y por tanto, muy buena para la posterior digitalización de señales.

Se diseñó un filtro rechaza banda de cuarto orden, constituido por dos etapas de segundo orden con topología Fliege, con frecuencia central de atenuación 60Hz y sin ninguna ganancia con el objetivo de eliminar la componente de ruido de 60Hz, introducida por la señal de alimentación en el sistema.

Seguidamente, se implementó un filtro pasa bajo de octavo orden, constituido por cuatro etapas de segundo orden con topología Sallen-Key, sin ganancia y con frecuencia de corte en 100Hz., con la finalidad de limitar en frecuencia la señal de electroencefalografía, eliminando así los ruidos de alta frecuencia.

El filtro pasa alto, fue diseñado con la finalidad de eliminar los ruidos de baja frecuencia, corregir el offset de voltaje introducido por los amplificadores en el sistema y eliminar cualquier nivel DC producido por el paciente. Por ello, fue implementado un filtro de cuarto orden, formado por dos etapas de segundo orden con topología Sallen-Key, sin ganancia y con frecuencia de corte en 0.1Hz.

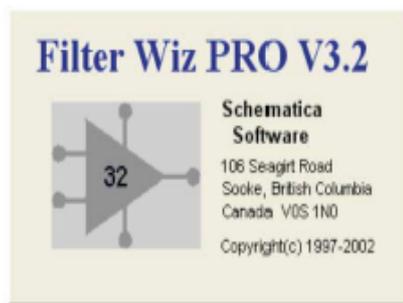
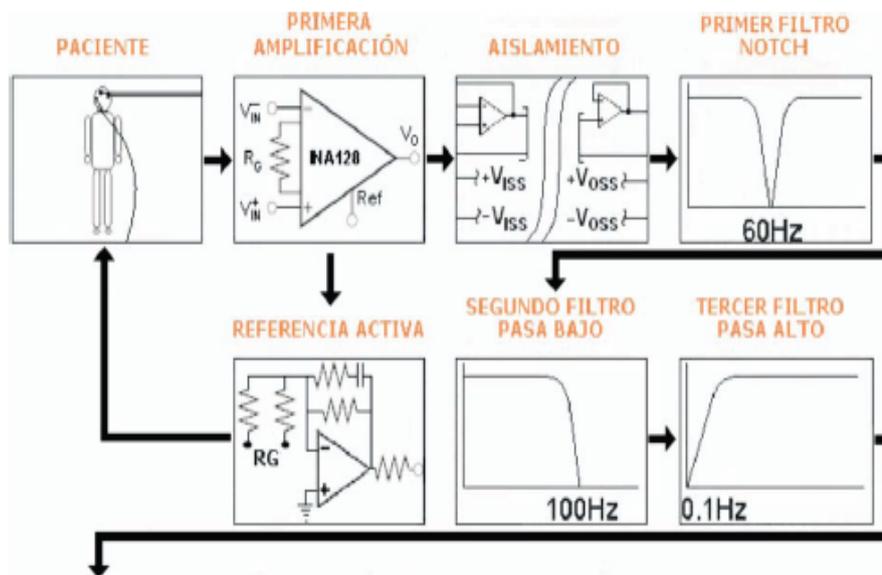
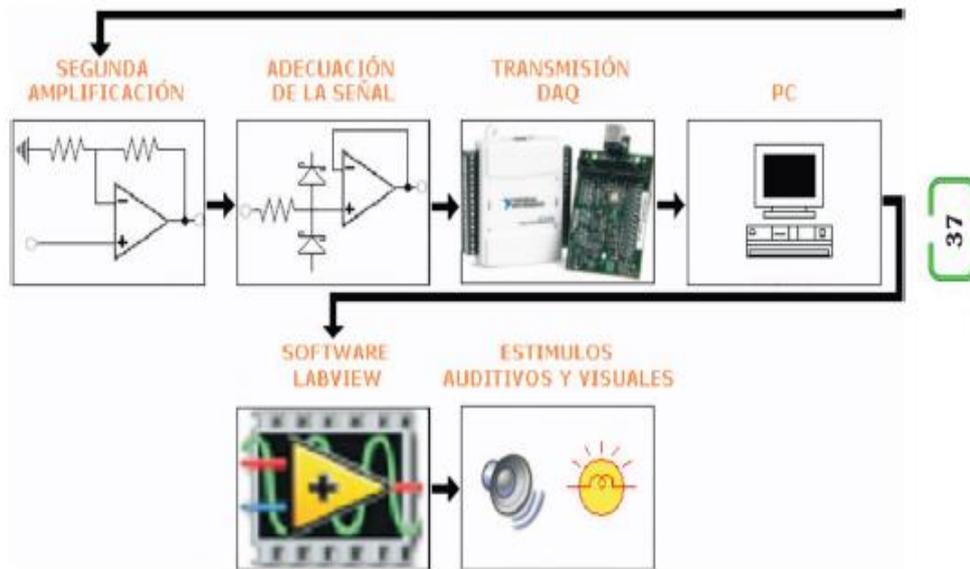


Figura 4. Filter Wiz PRO V3.2.





37

Figura 5. Diagrama de bloques de un canal del sistema.

Se determinó implementar una segunda etapa de amplificación, debido a que en la primera sólo se logró amplificar la señal 101 veces sin saturar los amplificadores por el ruido. Esta etapa se diseñó para lograr una amplificación de 1.001, para un total de 101.101 de ganancia en el sistema. Para ello, se empleó el amplificador operacional AD706 configurado como no inversor.

En esta fase, se diseñó un limitador de tensión para proteger la tarjeta de adquisición (DAQ), evitando así que un sobrevoltaje superase el valor máximo de 20Vp-p admitido por esta. También, se implementó un seguidor de voltaje para mejorar el acoplamiento de dicha tarjeta con el canal.

La transmisión se implementó con la tarjeta de adquisición de datos de NATIONAL INSTRUMENTS NI USB-6009. Esta fue seleccionada por sus cualidades tales como son: su bajo costo, portabilidad, conectividad por USB, lo que la hace plug and play, una resolución de 14 bits de entrada para la conversión analógica/digital, una tasa de muestreo máxima de 48.000 muestras por segundo muy superior al doble de nuestra frecuencia de Nyquist (250 Hz), su compatibilidad con diferentes sistemas

operativos, su funcionalidad bajo LAB VIEW, etc.

Software del sistema

El software para la adquisición, procesamiento, almacenamiento y visualización de las señales EEG, fue desarrollado en el lenguaje LabVIEW 8.0 de National Instruments. Este lenguaje no sólo, es poderoso, flexible y especializado en tareas de adquisición y procesamiento de información, sino que simplifica el manejo del dispositivo de adquisición al ser ambos del mismo fabricante (DAQ modelo USB - 6009).

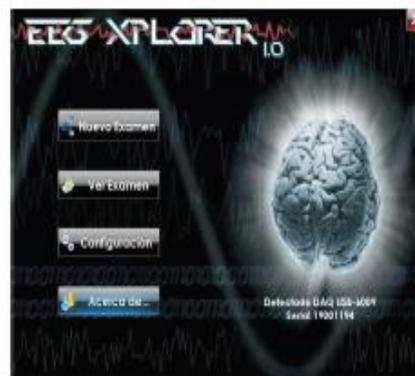


Figura 6. Ventana principal del software.



Para mejorar la calidad de la señal, se programaron una serie de filtros digitales de topología Bessel y de la familia de filtros IIR. Primero se aplica un filtro Notch a 60 Hz, luego actúa sobre la señal un filtro pasa alto y por último se aplica un filtro pasa bajo. Las frecuencias de corte de dichos filtros, se pueden variar en uno de los apartes del software. El sistema además, permite llevar un completo registro de los pacientes y de todos los exámenes realizados. Desde fotografía, datos personales, hora de realización, medico, operario, estímulos y tiempo de aplicación etc.

archivo binario que contiene la información del examen. Esta información se guarda sin aplicar los filtros digitales (señal pura) para que el médico pueda observar el examen empleando cada una de las frecuencias de corte de los filtros. Igualmente se genera un archivo XML, el cual contiene información de los canales seleccionados, montajes, estímulos y eventos que se listaron en la tabla. El anterior archivo lleva como nombre: numero de identificación _ fecha del examen _ hora del examen.eeg y se almacena en la misma ruta.



Figura 7. Ventana "datos del paciente"

Las señales de EEG, son muestreadas a 2 KHz, lo cual asegura un muestreo óptimo que garantiza un procesamiento fidedigno para esta adquisición, ya que la máxima frecuencia de interés es de 100 Hz.

En cuanto a la visualización, se desarrolló una ventana que permite además de ver las señales capturadas, maximizarlas, minimizarlas, almacenarlas, aplicar los filtros, los estímulos, etc.

El examen, se guarda en la ruta establecida en la opción configuración, como archivo binario nombrado de la siguiente manera: numero_de_identificación_fecha_del_examen_hora_del_examen. Cada 500 mSeg, se envían los datos al disco duro y paralelamente se completa el



Figura 8. Ventana de visualización

Sistema generador de estímulos

Para esta fase, se implementó un sistema encargado de producir estímulos visuales y auditivos solamente, debido a que dichos potenciales evocados están claramente definidos, tienen desarrollada una metodología y se garantiza su obtención en condiciones clínicas.

Se decidió aplicar un estímulo a todo el campo visual del tipo on-off, para ello se desarrollaron dos dispositivos: una luz estroboscópica y unas gafas, donde su frecuencia y tiempos de activación estarían controlados por el software.

En cuanto a los estímulos auditivos, se pueden generar tonos de frecuencia, volumen y duración ajustable; y clicks (señal cuadrada bipolar de frecuencia 10Hz con ciclo de trabajo de 50%) de duración ajustable.



Figura 9. Ventana de aplicación de estímulos.

Resultados

- El electroencefalógrafo presentado cumple con los requisitos técnicos mínimos exigidos para equipos de esta clase, con lo cual se puede garantizar la confiabilidad en los resultados obtenidos en los electroencefalogramas, la completa seguridad del paciente y del operario.
- Los costos de fabricación del dispositivo resultan bajos, comparados con equipos de esta clase. Permitiendo ahorrar una gran cantidad de dinero al grupo de investigación.
- La utilización de la DAQ NI USB-6009 como medio de comunicación entre el hardware y el software permite un intercambio de datos bastante rápido y seguro (no tiene problemas de ruido).
- El hardware del equipo, se diseñó de forma modular, permitiendo el fácil reemplazo o reparación de sus canales de adquisición, sin necesidad de sacar el dispositivo de operación por el daño de alguno de ellos.
- El componente de software implementado en el electroencefalógrafo, permite que se realicen modificaciones en el equipo (por ejemplo, se pueden variar las frecuencias de corte de los filtros) sin tener que modificar el hardware.
- El equipo desarrollado es un sistema integral,

si se toma en cuenta que permite realizar los electroencefalogramas, presentar resultados detallados de los mismos y a la vez llevar un historial de los pacientes y sus respectivos exámenes.

- El software de National Instruments, LabVIEW 8.0, es una muy buena opción a la hora de desarrollar este tipo de aplicaciones. Pues es poderoso, flexible y especializado en tareas de adquisición y procesamiento de señales.
- Los filtros digitales, no se deben aplicar en cada periodo de muestreo de la señal, ya que los coeficientes de dichos filtros se reinician para cada muestra, observándose periódicamente el efecto de estabilización de los filtros sobre la señal de EEG.
- Visualización de los principales ritmos y grafos de un electroencefalograma normal y fueron comparados con los expuestos por el doctor José Tejero Martínez en su obra. Obteniendo resultados positivos, validando el buen funcionamiento del dispositivo desarrollado "EEG Explorer 1.0".

Bibliografía

1. CLARK, John w. et al. 1978. Medical instrumentation application and design. Boston: Houghton Mifflin Company, 729 p.
2. GUYTON, Arthur c. y HALL, John e. 1997. Tratado de fisiología médica. 9 ed. Mexico: Mcgraw-Hill. 1262 p.
3. WEBSTER JOHN G. 1989. Medicine and Clinical Engineering. Prentice Hall, Inc. Englewood Cliffs, 1985. WILCHES Mauricio. Bioingeniería . tomo 4. Editorial Universidad de Antioquia.
4. TEJEIRO MARTÍNEZ, José. Electroencefalografía clínica básica. [en línea]. [citado noviembre 2007]. Disponible en Internet: <<http://www.viguera.com/pdf/muestra/8485424557.pdf>>



5. BAREA NAVARRO, Rafael. Instrumentación Biomédica (Tema 3: Sistemas de Acondicionamiento y Adquisición de Señales Bioeléctricas). Alcalá (España) Departamento Electrónica. Universidad Alcalá. [en línea]. [citado noviembre 2007]. Disponible en Internet: <<http://www.ate.uniovi.es/8695/documentos/varios%20doctos/amplificacion%20señales.PDF>>