

Diseño e implementación de un equipo para la adquisición y visualización en pc de señales electroencefalográficas

Design and implementation of an equipment for the acquisition and visualization in pc of electroencephalographs signals

Gisella Borja¹, Tatiana Ortega¹ y Alejandro Romero².

1,2. Ingeniera Electrónica y de Telecomunicaciones. Docente-Investigadora.
Universidad Autónoma del Caribe. Centro de Bioingeniería Cebi-UAC
Barranquilla - Colombia

3, Especialista en Bioingeniería. Docente Catedrático Programa de Ingeniería Electrónica
y Telecomunicaciones. Director Centro de Bioingeniería Cebi-UAC
Universidad Autónoma del Caribe.

E-mail: cebi@uac.edu.co, alerome@ieee.org

Recibido 3/05/2009, Aceptado 10/06/2010

RESUMEN

El presente artículo está enfocado a la Adquisición y Visualización en PC de Señales Electroencefalográficas *EEG*, constituyéndose en el primer paso para el desarrollo de un sistema *Neurofeedback*, lo cual es útil en el diagnóstico de ciertos desórdenes psicológicos. El sistema de canales *EEG* propuesto está conformado por una etapa de adquisición y acondicionamiento de potenciales cerebrales, una etapa de control, dedicada principalmente a la intercomunicación con el PC, y un módulo de visualización, desarrollado bajo un lenguaje de programación gráfica de alto nivel como *LabVIEW*, ofreciéndole interactividad al sistema y permitiendo el procesamiento digital de los potenciales neurológicos. De la etapa de acondicionamiento se obtuvo una señal *EEG* confiable, la cual fue registrada en forma adecuada por el módulo de visualización.

Palabras Clave: EEG, Retroalimentación neuronal, Amplificador de ganancia programable, Filtros FIR.

ABSTRACT

The present article is intended for the Acquisition and Visualization in PC of Electroencephalographs Signals *EEG*. It constitutes the first step in the development of a *Neurofeedback* system, which is useful in studies dedicated to the diagnosis of certain psychology disorders. The proposed *EEG* channels equipment is composed of a brain potentials acquisition and conditioning stage, a control module, dedicated mainly to the intercommunication with the PC, and a visualization phase, which was developed under a high level programming graphic language as *LabVIEW*, providing the interactivity with the system and allowing also the digital processing of the neurological potentials. A reliable *EEG* signal has been obtained from the conditioning stage and displayed in a proper form in the visualization module.

Key words: EEG, Neurofeedback, Programmable Gain Amplifier, FIR Filters.

Introducción

El diseño y desarrollo de un Equipo para la Adquisición y Visualización en PC de Señales Electroencefalográficas EEG cobra gran relevancia en estudios destinados al diagnóstico de patologías cerebrales tales como la epilepsia y los desórdenes psiquiátricos [1], y constituye una pieza fundamental en el desarrollo de un sistema de *Neurofeedback*. La *Electroencefalografía* es una técnica orientada al registro de las variaciones de potencial producidas por las células cerebrales[2], mientras que el *Neurofeedback* es un procedimiento que le presenta al paciente información sobre su propia actividad eléctrica cerebral, con el fin de sintonizar ciertas funciones del Sistema Nervioso Central y controlándolas por medio de aprendizaje [3]. Un equipo de EEG tiene como objetivo principal captar las oscilaciones de potencial que aparecen en la superficie craneal por medio de electrodos superficiales o basales, las cuales son posteriormente amplificadas, filtradas y digitalizadas para ser finalmente visualizadas[4].

La accesibilidad de un equipo de electroencefalografía para efectos de aprendizaje en un Laboratorio de Electrofisiología o de Instrumentación Biomédica, o con fines de investigación para la implementación de técnicas de procesamiento digital de señales, compresión, encriptamiento, transmisión, entre otras, es una tarea que se dificulta, teniendo en cuenta los costos de adquisición asociados con este tipo de tecnología. Adicionalmente, el mantenimiento, la reparación y la consecución de repuestos es un

proceso complejo en razón de los trámites de importación de dichos productos o del acceso a los servicios técnicos relacionados, por lo que contar con el prototipo de un dispositivo biomédico como el descrito facilitaría ostensiblemente las labores de docencia e investigación en el área de la Bioingeniería e Ingeniería Biomédica. Por tales razones se diseñó un equipo de bajo costo capaz de adquirir y adecuar cuatro canales de registro de manera eficiente, confiable y segura, obteniendo así señales EEG de alta calidad. Además, posee una interfase gráfica desarrollada por medio de un software de programación orientado a objetos, altamente práctica y útil para la reconstrucción, visualización y procesamiento digital de dichas señales.

Materiales y Métodos

El diseño y puesta en funcionamiento de un Equipo para la Adquisición y Visualización de Señales EEG exige un adecuado conocimiento de las características de las señales electroencefalográficas. El comportamiento de la señal EEG es de naturaleza aleatoria, caracterizada por un rango de voltaje comprendido entre 1 μV y 100 μV , y un ancho de banda que abarca entre los 0.5 Hz y 100 Hz [5]. Estas consideraciones fueron tenidas en cuenta a la hora de implementar la etapa de adquisición, encargada de capturar, amplificar y adecuar las señales provenientes del cerebro, las cuales pueden clasificarse en cuatro bandas de frecuencia que corresponden con los distintos ritmos cerebrales, tal como se establece en la Tabla No. 1.

Tabla 1. Principales Ritmos Cerebrales
Table 1. Main Brain Rhythms

Designación	Frecuencia [Hz]	Región Cerebral	Ocurrencia
Ondas Beta (β)	13 – 30	Parietal y frontal, normalmente.	Adultos en estado de vigilia.
Ondas Alfa (α)	8 - 13	Occipital, normalmente.	Relajación y concentración mental.
Ondas Teta (θ)	4 - 8	Regiones temporales.	Niños y adultos dormidos.
Ondas Delta (δ)	0.5 - 3	Varias regiones.	Bebés. Estados profundos de sueño.

A grosso modo, el proyecto consta de la etapa de adquisición de señal EEG señalada, una etapa de control cuya finalidad es la de convertir las señales EEG análogas a señales EEG digitales, para que posteriormente sean transmitidas a través del puerto paralelo al PC y luego visualizadas en el módulo de registro, desarrollado sobre la plataforma *LabView* de National Instruments, caracterizada por em-

plear un lenguaje de alto nivel de programación gráfica enfocado hacia la Instrumentación Virtual.

Etapa de Adquisición de Señal: La detección de las señales electroencefalográficas se realiza por medio de electrodos superficiales de plata forrados de cloruro de plata, recurriendo a la configuración unipolar. En este caso, se

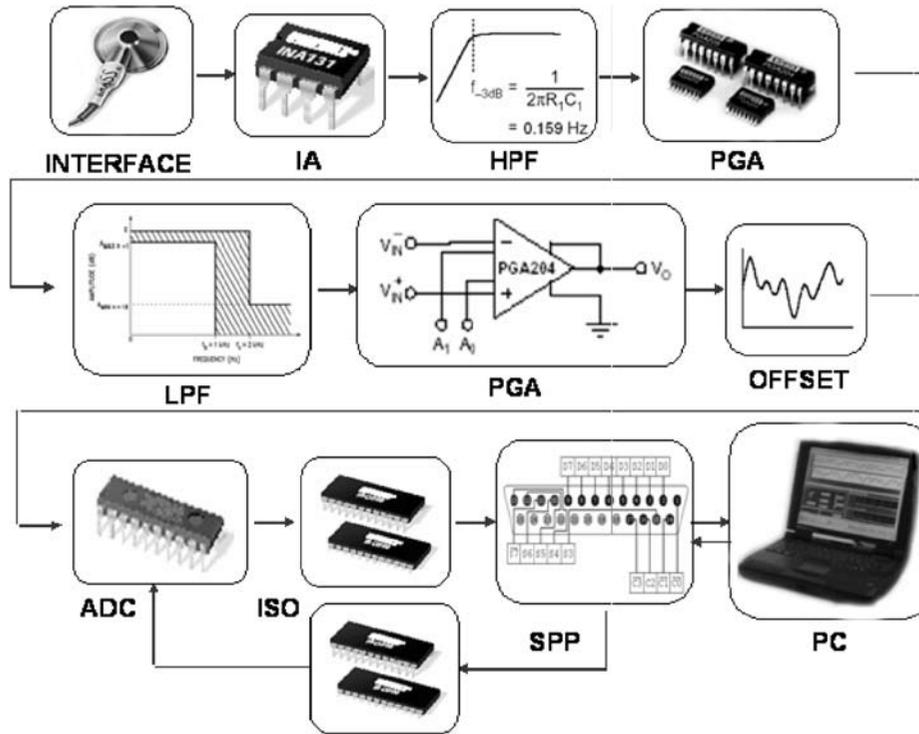
del tipo Butterworth de cuarto orden y de capacitor conmutado de *National Semiconductor* referencia *MFC4CN-50*. La frecuencia de corte de este tipo de filtros se define a través de un oscilador externo, lo que lo hace más ventajoso sobre los filtros analógicos convencionales al no requerir componentes adicionales como resistencias y condensadores. La frecuencia de oscilación externa (f_{CLK}) está dada

por la siguiente expresión, siendo f_c la frecuencia de corte requerida para el filtro pasa-bajo:

$$f_{CLK} = 50 * f_c \quad (1)$$

La siguiente figura ilustra las diferentes etapas que conforman el sistema de adquisición, acondicionamiento y visualización de señales *EEG* propuesto.

Figura 2. Diagrama de Bloques del Sistema
Figure 2. System Block Diagram



Offset: Las señales cerebrales se caracterizan por su bipolaridad, por lo que presentan niveles de amplitud por encima y por debajo de un nivel isoeléctrico, que para este caso específico corresponde a cero voltios. No obstante, el Conversor Análogo-Digital empleado presenta un rango de voltaje para la señal analógica de entrada de 0 a 5Vp-p, constituyéndose en un conversor unipolar. Por tal razón, se hace necesario introducir un nivel de offset con el fin de convertir los potenciales cerebrales de propiedades bipolares a señales unipolares. Los amplificadores diferenciales utilizados para tal objetivo fueron los *INA105* de *Burr-Brown*, los cuales convierten una señal de entrada bipolar de $\pm 5V$ a una señal unipolar de 0 a 5V.

Etapas de Control: Esta etapa está destinada a la conversión analógica digital, el multiplexado analógico de los ca-

nales *EEG*, el aislamiento eléctrico y la intercomunicación con el puerto paralelo del PC.

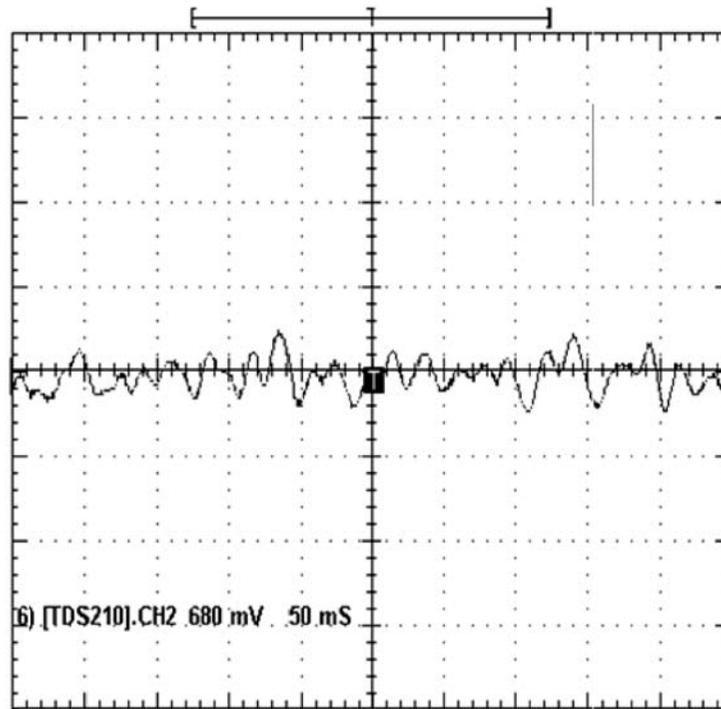
a) Convertidor Análogo-Digital

Las señales analógicas obtenidas por la etapa de adquisición deben ser digitalizadas para que puedan ser transferidas a la memoria de una computadora, para lo cual se utilizó el *ADC0809* de *National Semiconductor*. El diseño de este Convertidor proporciona alta velocidad, gran desempeño, mínima dependencia a la temperatura y mínimo consumo de potencia. El *ADC0809* es un componente electrónico de tecnología CMOS, de salida paralela de ocho bits y con resolución suficiente para la representación digital de la señal *EEG*. De igual forma, posee una circuitería de multiplexaje en el mismo circuito integrado, con lo cual

es posible multiplexar ocho entradas analógicas por medio de un código de entrada de selección de tres bits, que determina la entrada analógica a convertir por el *ADC*. La técnica de conversión utilizada por este conversor es la de aproximaciones sucesivas y la frecuencia de reloj aplicada

es de 500KHz para un periodo de $2\mu\text{s}$, que es el tiempo que demora el *ADC* en llevar a cabo la conversión. Este *ADC* es manejado a través de comandos enviados desde el Puerto Paralelo y controlados a través de la plataforma *LabView*.

Figura 3. Señal EEG Adquirida
Figure 3. EEG Signal Acquired



b) Aislamiento Eléctrico

La corriente eléctrica aplicada al cuerpo humano puede producir desde daños leves hasta daños irreparables, que incluso pueden originar el deceso de una persona. Es por esta razón, que todos los dispositivos biomédicos deben presentar una etapa de aislamiento eléctrico y de esta forma estar en concordancia con las normas técnicas que para este tipo de equipos se requieren. Para ajustarse a la normatividad internacional en lo que a protección eléctrica al paciente se refiere, se decidió incluir una etapa de aislamiento galvánico conformada por dos circuitos integrados (*ISO508*), los cuales se definen como acopladores digitales aislados - *Isolated Digital Couplers*. En el caso específico de este proyecto, uno de estos dispositivos se encarga de aislar eléctricamente las salidas digitales provenientes del *ADC*, correspondientes principalmente a los potenciales

EEG digitalizados, y que constituyen señales de entrada para el Puerto Paralelo.

Por tratarse de aisladores digitales unidireccionales y dado que se requieren datos de control por parte del Puerto Paralelo para comandar las funciones básicas de configuración y conversión del *ADC0809*, fue indispensable emplear un segundo *ISO508*, el cual aislara las señales provenientes del Puerto Paralelo y que constituyen señales de entrada para el *ADC*. De esta manera se aísla eléctricamente el computador personal, utilizado para el registro de los potenciales neurológicos, del sistema de adquisición, con lo cual se minimiza cualquier riesgo de sufrir una descarga eléctrica por parte del paciente.

Un resumen de los componentes electrónicos y sus características, empleados en las etapas adquisición y control de la señal *EEG* se presenta en la Tabla No. 2.

Tabla 2. Dispositivos de la Etapa de Adquisición y Control
Table 2. Devices of acquisition and control stage

Etapa	Dispositivo	Característica
Pre-amplificador	INA131 (Burr-Brown)	Amplificador de Instrumentación Ganancia = 100 CMRR =110 dB
Filtro Pasa-Alto	OPA2277 (Burr-Brown)	$f_c = 0.159\text{Hz}$
Amplificación	PGA204 PGA205 (Burr-Brown)	Gain = 1, 10, 100 y 1000 Gain = 1, 2, 4 y 8
Filtro Pasa-Bajo	MFC4CN50 (Nacional Semiconductor)	Butterworth $f_c = 53.78\text{Hz}$
Control de Offset	INA105 (Burr-Brown)	Amplificador Diferencial
Convertidor Análogo-Digital	ADC0809 (Nacional Semiconductor)	Resolution = 8 Bits Conversion Time = 100 μs
Aislamiento Eléctrico	ISO508	8 – Channel

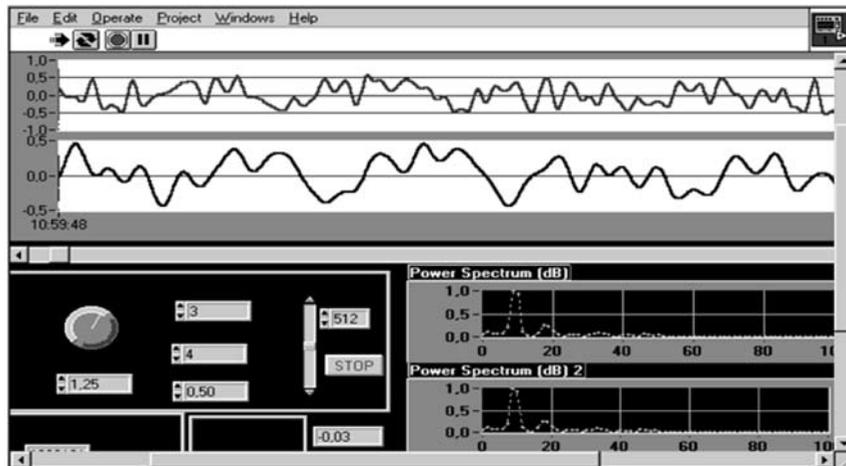
c) Puerto Paralelo

Para poder visualizar los datos convertidos por el ADC0809, se empleó el Puerto Paralelo de un computador personal como una interfaz de entrada/salida para la transferencia de ocho bits de datos, y de esta forma obtener la lectura y posterior visualización de la información relacionada con la actividad electroencefalográfica usando la plataforma *LabView*. Se decidió utilizar en primera instancia el puerto paralelo como interfaz con el PC por su facilidad de uso y comprensión en el ambiente académico, y para evitar utilizar un sistema de control digital como un microcontrolador o una FPGA para la conversión de la información a un formato serial. No obstante en etapas posteriores de desarrollo de este equipo y otros prototipos de dispositivos biomédicos, se ha optado por la utilización de la transmisión serial vía RS-232 o USB, teniendo en cuenta la proliferación de este tipo de interfaces. De igual forma, la plataforma *LabView* cuenta con los controladores para este tipo de puertos.

d) Etapa de Visualización

Esta etapa fue desarrollada bajo un Lenguaje de Alto Nivel de Programación Gráfica como *LabView*, el cual permite la capacidad de crear rápidamente una interfaz gráfica de usuario que proporcione la interactividad con el sistema. Esta herramienta es altamente útil en aplicaciones para sistemas de medición, generación de señales, procesamiento en tiempo real de parámetros biomédicos, manipulación de imágenes y audio, automatización, diseño de filtros digitales, monitoreo de procesos y aplicaciones de control, entre otras. *LabView* es una herramienta computacional enfocada hacia la Instrumentación Virtual, por lo que cuenta con aplicaciones para la presentación de gráficas, botones, indicadores, controles, etc. Los Instrumentos Virtuales se caracterizan por ser un cuadrado con entradas y salidas, que tienen su respectivo símbolo relacionado con su funcionalidad.

Figura 4. Señal EEG Visualizada en LabView
Figure 4. EEG Signal Displayed on LabView



Filtrado Digital: Con el fin de eliminar el ruido, principalmente el de 60Hz proporcionado por la red eléctrica domiciliar, se diseñó un filtro FIR (Finite Impulse Response) Butterworth Pasa-Bajo con una frecuencia de corte de 50Hz. Una de las características más importantes que presentan estos filtros es que tienen una respuesta plana en la banda de atenuación y en la banda de paso, además de ser muy estables. En la Figura No. 4 se observa con un

trazado de color rojo la señal EEG original sin filtrado digital y en color azul la señal ya filtrada, presentando menores componentes de ruido. Adicionalmente se utilizó la herramienta de LabView para análisis espectral, determinando que los mayores componentes de la señal EEG estaban entre los 0 y 30 Hz, lo que corrobora la fidelidad del sistema.

Figura 5. Montaje Final del Equipo
Figure 5. Final Assembly Equipment



Resultados

Realizando pruebas sobre un paciente en vigilia y monitoreando sus potenciales cerebrales por medio de electrodos activos ubicados en la región temporal y frontal, se obtuvo un registro electroencefalográfico con componentes espectrales alrededor de los 15 Hz, comprobando de esta forma la confiabilidad del sistema.

Discusión

La Electroencefalografía Digital presenta innumerables ventajas en lo que respecta a la adquisición y procesamiento de los potenciales neurológicos. La reducción en el número de componentes, la disminución de las dimensiones físicas, el bajo consumo de potencia y el desarrollo de una interfaz gráfica de usuario de fácil entendimiento y manipulación, constituyen características esenciales del sistema.

Conclusión

El diseño e implementación de forma exitosa de un equipo de Electroencefalografía es un paso fundamental en la conformación de un sistema de *Neurofeedback*. A través de su propio registro *EEG*, el paciente puede ser entrenado

para que comande y modifique su actividad eléctrica cerebral, y de esta forma corregir déficits en la función reguladora del cerebro.

Referencias

- [1] Carr, J. (1998) Instrumentation for Measuring Brain Function. En: Carr, J. Introduction to Biomedical Equipment Technology. New Jersey, Prentice-Hall, p. 372-387.
- [2] Simon, O. (1983) Génesis del Electroencefalograma (EEG). En: Simon, O. Electroencefalografía, Introducción y Atlas. Barcelona, Salvat Editores, S.A., p. 1 - 15.
- [3] Psychiatric Times [Internet]. Disponible desde: <http://www.psychiatrictimes.com/> [Acceso 19 de agosto 2009].
- [4] García, Ma. y OTROS, Potenciales Bioeléctricos: Origen y Registro. Universidad Autónoma Metropolitana, México, D.F., 1998.
- [5] Bronzino, J., The Biomedical Engineering Handbook. CRC Press and IEEE Press, USA, 2001.
- [6] Mompin, J., Introducción a la Ingeniería. Serie Mundo Electrónico, Editorial Marcombo, Barcelona, 1988.