

UNIVERSIDAD CATÓLICA BOLIVIANA "SAN PABLO"
UNIDAD ACADÉMICA REGIONAL LA PAZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA



**SISTEMA MODULAR DE MEDICIÓN Y GRABADO DIGITAL DE BIO-
SEÑALES**

**Proyecto de grado presentado para la obtención del Grado de Licenciatura en
Ingeniería Mecatrónica**

Por: RODRIGO SEBASTIAN MENDOZA TEJADA

Tutor: Guillermo Sahonero

La Paz– Bolivia
Diciembre, 2019

1. Introducción

Las bioseñales son la actividad eléctrica generada por un ser viviente. Estas pueden ser los impulsos eléctricos enviados a los músculos para la contracción del mismo, así como los generados por las sinapsis del cerebro. Las señales más conocidas y estudiadas son la ECG¹ provenientes del corazón, EOG² movimiento intraocular, EMG³ movimiento muscular y EEG⁴ impulsos cerebrales.

Estas pueden ser medidas por medio de electrodos colocados en la superficie de piel más cercanas al origen del impulso eléctrico. Sin embargo, este método presenta grandes problemas con el ruido. Este, puede provenir de la carga electroestática que se encuentre sobre la piel o pelo en el área de contacto. Adicionalmente, se presentan muchos artefactos, señales que no están relacionadas a la señal de interés [6]; tanto de origen biológico como no biológico. En las bioseñales, los artefactos presentes suelen ser de la misma o incluso mayor magnitud que la señal de interés. Una forma de evitar estas interferencias es emplear amplificadores diferenciales como parte del diseño electrónico del dispositivo de adquisición [17]. En conjunto, se utiliza una cantidad de electrodos elevada para reducir los artefactos y colocarlos en disposiciones específicas según el caso de uso [8].

Por otro lado, existen dos tipos de usuarios que emplean y manipulan dispositivos de adquisición de bioseñales o BAS⁵:

- (1) Investigadores y desarrolladores de tecnologías. Estos emplean los dispositivos BAS para crear interfaces con computadores que asocian patrones en las bioseñales con intenciones del usuario. Cada asociación puede servir como un canal de entrada para la interfaz. Generalmente se realiza el uso de EEG para crear una BCI⁶ Interfaz Cerebro-Computador. En esta aplicación, pueden haber múltiples asociaciones de actividades resultando en múltiples canales de entrada para la interfaz desarrollada. Por ejemplo, un sistema BCI puede reconocer actividad cerebral motora (MI - *Motor Imagery*) de la mano izquierda y MIB de pie y/o mano derecha [4]; y finalmente asociar estas actividades como dos acciones en la interfaz.
- (2) Practicantes de ciencias como la medicina y psicología para el diagnóstico, rehabilitación, monitoreo; así como estudio de la naturaleza y comportamiento de las señales. En el caso

¹ ECG, por sus siglas en inglés: *Electrocardiography*

² EOG, por sus siglas en inglés: *Electrooculography*

³ EMG, por sus siglas en inglés: *Electromyogram*

⁴ EEG, por sus siglas en inglés: *Electroencefalography*

⁵ BAS, por sus siglas en inglés: *Biosignal Acquisition System*

⁶ BCI, por sus siglas en inglés: *Brain-Computer Interface*

de la medicina, puede ser crítico en algunos casos. Un ejemplo es el monitoreo de la presencia de actividad cerebral en pacientes en coma [14]. En otros casos puede ser utilizados en estudios de polisomnografía para diagnosticar enfermedades o trastornos en el sueño.

No obstante, todos los casos se ven afectados por el número de electrodos disponibles debido a que la actividad cerebral se da simultáneamente en múltiples lugares. Por ello, mientras se emplee mayor cantidad de electrodos; la cantidad de entradas en una interfaz BCI puede aumentar, como también se ve la mejora de desempeño en estudios como el de polisomnografía [2].

2. Planteamiento del problema

De todas las bioseñales, la EEG presenta las mayores dificultades ya que la magnitud de la señal que puede llegar a estar varios ordenes por debajo del ruido y también de los artefactos; esto indica que la relación SNR⁷ señal-ruido en condiciones normales es la más baja entre las bioseñales. Por este motivo acompañado de la gran similitud entre las bioseñales, un dispositivo que sea capaz de medir una señal EEG es capaz de medir las otras mencionadas anteriormente [1]. Podemos observar cómo esto es posible si nos enfocamos en tres características de cualquier señal: frecuencia, magnitud y SNR.

En cuanto a la frecuencia, las máximas que se encuentran en las bioseñales son de 100Hz, 159Hz, 564Hz, 15Hz para las EEG, ECG, EMG, EOG respectivamente [7][1]. Pocos dispositivos implementan un medio para hallar compatibilidad en este ámbito. Para ello se pudieran implementar filtros con frecuencias de corte modificables [1], ó en forma alternativa, implementar filtros digitales utilizando un filtro analógico en la máxima frecuencia y muestreo que cumpla con Nyquist.

En cuanto a la magnitud, todas las bioseñales son menores a 1V por lo cual una fase de amplificación es necesaria para poder utilizar el espectro completo de un ADC. Sin embargo, las magnitudes vistas en el EEG son hasta 1000 veces mas pequeñas por lo cual es necesario un medio para modificar la magnitud de amplificación para lograr la compatibilidad. Esta flexibilidad no se presenta en muchos de los dispositivos.

En cuanto al SNR, encontramos que es bajo en todas las señales; por ello se utilizan varios métodos como filtros analógicos para eliminar ruidos específicos como el de 60Hz[18] así como los amplificadores diferenciales con alta tasa de rechazo de nodo común (CMRR⁸) y circuitos especializados para eliminación ruido común en los canales de la señal [17]. Finalmente, para lograr una compatibilidad general máxima se puede hacer cambio del tipo de electrodo utilizado [10][9][3].

⁷ SNR, por sus siglas en inglés: *Signal to Noise Ratio*

⁸ CMRR, por sus siglas en inglés: *Common Mode Rejection Ratio*

La EEG es una practica relativamente nueva siendo el 1958 cuando se presenta por primera vez el estándar para la colocación de electrodos para la realización de mediciones EEG [Jasper 1958]. Si bien la tecnología en general ha avanzado exponencialmente desde ese entonces, la EEG se encuentra sub-desarrollada en comparación a las otras bioseñales si se compara cantidad de dispositivos BAS en EEG vs el resto. Existen causas inherentes a la naturaleza de la señal así como causas prácticas.

La tarea de medir ondas cerebrales es particularmente compleja como se indicaba anteriormente. Las señales pueden ser tan bajas como los $20\mu\text{V}$ por lo cual se requiere una precisión hasta de $0.5\mu\text{V}$ y el ruido no debe pasar $1.5\mu\text{V}$ [7]. El ruido presente al medir la señal desde el electrodo llega a ser hasta 1000 veces más grande en magnitud que la señal original, por lo cual se requiere un CMRR alto de aproximadamente 120db [11]. Esto sirve a modo de combatir los artefactos en conjunto a un circuito DRL⁹ que es esencial en sistemas de adquisición de bioseñales de cualquier tipo [17].

En el lado del hardware, para poder cumplir con estos objetivos se utilizan amplificadores operacionales de instrumentación los cuales suelen ser costosos tomando en cuenta que se utiliza uno por cada canal. Además, los filtros para acondicionar el muestreo son analógicos restringiendo el rango de operación. Los micro-controladores dependen enteramente del ADC utilizado para poder obtener señales limpias y continuas, esto es lo que limita el numero máximo de canales utilizables. A pesar de utilizar protocolos de comunicación eficientes como SPI o I2C para la comunicación con el ADC, pocos dispositivos muestran una forma sencilla de expandir el máximo número de canales explotando las capacidades de estos protocolos. Debido a la naturaleza analógica y el diseño in-expansible, los dispositivos cuentan con muchas limitaciones en cuanto a potenciación si no se elimina al financiamiento como un factor determinante. Como efecto, dificulta la generación de variantes más económicas que se ajusten a distintos tipos de aplicación.

Finalmente, en el lado del software, los dispositivos comerciales suelen brindar actualizaciones de firmware que puedan optimizar el funcionamiento a través de filtros digitales así como otros algoritmos de manejo de datos. Este procedimiento de actualización es trivial y no presentan mayores complicaciones debido a que las versiones suelen ser estables, permitiendo obviar las actualizaciones sin causar mayores complicaciones. Sin embargo, los distintos dispositivos cuentan con distintos software propietarios causando una gran incompatibilidad entre los dispositivos. Existen software como EEGLAB y BCILAB [22] que son compatibles con algunos de los dispositivos de medición de bioseñales EEG, sin embargo están programados sobre intermediarios como MATLAB. Otros como el OpenBCI [21] y OpenVibe [25] permiten compatibilidad con lenguajes y tecnologías mas modernas; pero la compatibilidad se mantiene muy limitada ya que requiere que el usuario programe.

⁹ DRL, por sus siglas en inglés: *Driven Right-Leg*

3. Objetivos

3.1. Objetivo General

Diseñar e implementar un sistema modular que permita medir y grabar digitalmente bioseñales EEG.

3.2. Objetivos Específicos

- Medir, grabar y visualizar señales EEG en vivo de manera digital en 2 canales independientes.
- Validar las mediciones según su forma y frecuencia comparando con mediciones realizadas por otros dispositivos.
- Diseñar e implementar un sistema modular.
- Diseñar un sistema de protección contra descargas electroestáticas.
- Desarrollar software que no requiera conocimientos de programación para el uso del sistema.
- Implementar un sistema de comunicación de datos a través de WiFi.

4. Justificación

El proyecto se ve entonces justificado con motivo de reducir la brecha de conocimiento al generar más documentación al respecto y así mismo incrementar la investigación al proveer de una alternativa que, por su flexibilidad, pueda ser más adecuada a la hora de elegir un dispositivo en un caso de uso más específico. El aporte académico en un punto de vista conceptual brindará un formato mas sencillo y práctico para entender los conceptos de la electroencefalografía y neurociencia, producto de la aplicación y documentación que se van a generar. En el área técnica aporta un diseño que sea fácil de reproducir para aplicaciones que requieran el uso de un sistema de medición de este tipo.

Del punto de vista académico el aporte es interdisciplinario, uniendo conceptos de sistemas informáticos como el ser redes de comunicación y bases de datos con sistemas de computación embebidos. Asimismo, se le suma el diseño de un dispositivo de adquisición de señales analógicas a digitales con una precisión y robustez muy elevada.

5. Límites y Alcances

5.1. Límites

- Si bien este proyecto apunta a cumplir ciertos niveles de estándares internacionales *IFCN*, no se llevara acabo ningún proceso de certificación.
- No se evaluará el alcance del proyecto en la comunidad de código abierto.

- No se implementarán todas las variaciones posibles de módulos compatibles para el diseño, se limitará a una unidad y un tipo específico por módulo.

5.2. Alcances

1. Accesible

- Código Abierto, Documentación amplia. Proporcionar los diseños y breves manuales en repositorios como GitHub con su respectiva wiki. Generar una licencia sobre el contenido.

- Diseño mínimo básico expansible. El sistema debe poder cumplir con las tareas mínimas requeridas para tener una funcionalidad completa sin asistencia de otros dispositivos. El diseño no debe limitar la expansión en funcionalidades ni capacidades.

2. Flexible/potenciable

- Diseño modular con compatibilidad con EEG, ECG, EMG, EOG al variar la magnitud de amplificación, reemplazo de filtros y cantidad de canales.

- Diseño flexible. El diseño debe ser capaz de ser modificado sin tener completo conocimiento sobre todo el diseño para adaptar su funcionamiento y aumentar sus capacidades máximas con pocos cambios.

- Numero de entradas expansible. El sistema original implementado medirá hasta 2 canales digitales; sin embargo el sistema debe ser capaz de aumentar el número de entradas hasta al menos 24 canales con el intercambio o adición de nuevos módulos.

3. Facilidad de uso (amigable)

- Requerimiento de cero programación. Tanto la configuración inicial como el uso del dispositivo se deben poder llevar a cabo sin conocimientos en programación ni computacionalmente avanzados.

- Tener un manual de usuario completo. Este manual debe indicar el uso del software y hardware.

4. Seguridad

- Protección contra descargas ESD al circuito. El sistema debe contar con protección de descargas electroestáticas sobre el circuito.

- Protección contra descargas desde fuente alimentación. El sistema debe contar con protección a menos de 1kV por 1s a través de un aislamiento galvánico o utilizar una batería que físicamente limite la energía total.

8. Bibliografia

- [1] A. Ahamed, A.-Ahad, H. A. Sohag, and M. Ahmad, “Development of Low Cost Wireless Biosignal Acquisition System for ECG EMG and EOG,” no. Eict, pp. 195–199, 2015.
- [2] E. J. Bubrick, S. Yazdani, and M. K. Pavlova, “Beyond standard polysomnography: advantages and indications for use of extended 10-20 EEG montage during laboratory sleep study evaluation,” *Seizure Eur. J. Epilepsy*, vol. 23, no. 9, pp. 699–702, 2014.
- [3] P. Fiedler et al., “Number 3 | 33, Comparison of three types of dry electrodes for electroencephalography,” identifier, 2014.
- [4] V. Gandhi, G. Prasad, D. Coyle, L. Behera, and T. M. McGinnity, “EEG-Based Mobile Robot Control Through an Adaptive Brain–Robot Interface,” pp. 1–8, 2014.
- [5] G. Gargiulo, P. Bifulco, R. A. Calvo, M. Cesarelli, C. Jin, and A. Van Schaik, “A mobile EEG system with dry electrodes,” 2008 IEEE-BIOCAS Biomed. Circuits Syst. Conf. BIOCAS 2008, pp. 273–276, 2008.
- [6] A. M. T. and E. W. L. I. R. Keck, V. Fischer, C. G. Puntonet, “Finding Gold in The Dirt - Biomedical Artifacts in The Light of ICA,” in *Recent Advances in Biomedical Signal Processing*, 2011, pp. 149–156.
- [7] IFCN, “IFCN standards for digital recording of clinical EEG. The International Federation of Clinical Neurophysiology,” *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol. Suppl.*, vol. 52, pp. 11–4, 1999.
- [8] V. Jurcak, D. Tsuzuki, and I. Dan, “10 / 20 , 10 / 10 , and 10 / 5 systems revisited : Their validity as relative head-surface-based positioning systems ☆,” vol. 34, pp. 1600–1611, 200.
- [9] M. A. Lopez-Gordo, D. Sanchez Morillo, and F. Pelayo Valle, “Dry EEG electrodes,” *Sensors (Switzerland)*. 2014.
- [10] K. E. Mathewson, T. J. L. Harrison, and S. A. D. Kizuk, “High and dry? Comparing active dry EEG electrodes to active and passive wet electrodes,” in *Psychophysiology*, 2017.
- [11] A. C. MettingVanRijn, A. Peper, and C. A. Grimbergen, “Amplifiers for bioelectric events: A design with a minimal number of parts,” *Med. Biol. Eng. Comput.*, vol. 32, no. 3, pp. 305–310, 1994.
- [12] R. Oostenveld and P. Praamstra, “The five percent electrode system for high-resolution EEG and ERP measurements,” vol. 112, pp. 713–719, 2001.

- [13] S. R. Sinha et al., “American Clinical Neurophysiology Society Guideline 1: Minimum Technical Requirements for Performing Clinical Electroencephalography,” *J. Clin. Neurophysiol.*, vol. 33, no. 4, pp. 303–307, 2016.
- [14] W. O. Tatum et al., “American Clinical Neurophysiology Society Guideline 6: Minimum Technical Standards for EEG Recording in Suspected Cerebral Death,” *Neurodiagn. J.*, vol. 56, no. 4, pp. 324–327, 2016.
- [15] T. Uktveris and V. Jusas, “Development of a Modular Board for EEG Signal Acquisition,” *Sensors*, vol. 18, no. 7, p. 2140, 2018.
- [16] C. S. Wang, “Design of a 32-channel EEG system for brain control interface applications,” *J. Biomed. Biotechnol.*, vol. 2012, 2012.
- [17] B. B. Winter and B. B. Winter, “Driven-Right-Leg Circuit Design,” *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, vol. BME-30, no. 1, pp. 62–66, 1983.
- [18] W. N. Reining, "Bandwidth consideration for the elimination of '60 Hz' interference," in *Proc. AAMI Annu. Meet.*, 1977, p. 203.
- [19] Extraído Enero 10, 2019, from <https://www.emotiv.com/>
- [20] Extraído Enero 10, 2019, from <http://openeeg.sourceforge.net/doc/modeeg/modeeg.html>
- [21] Extraído Enero 10, 2019, from <https://openbci.com>
- [22] Extraído Enero 10, 2019, from <https://sccn.ucsd.edu/eeglab/index.php>
- [23] Extraído Enero 10, 2019, from <http://www.gtec.at/Products/Hardware-and-Accessories/g.Nautilus-Specs-Features>
- [24] Extraído Enero 10, 2019, from <https://www.ant-neuro.com/products/eego-mylab>
- [25] Extraído Enero 10, 2019, from <https://openvibe.inria.fr>