

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
Ingeniería Mecatrónica**

Por: RODRIGO SEBASTIAN MENDOZA TEJADA

Tutor: JHON ORDOÑEZ

La Paz-Bolivia

Marzo, 2020

DEDICATORIA

La dedicatoria es opcional y cada autor podrá determinar la distribución del texto en la página, se sugiere esta presentación. En ella el autor dedica su trabajo en forma especial a personas y/o entidades.

Por ejemplo:

A mis padres

o

La preocupación por el hombre y su destino siempre debe ser el interés primordial de todo esfuerzo técnico. Nunca olvides esto entre tus diagramas y ecuaciones.

Albert Einstein

AGRADECIMIENTOS

Esta sección es opcional, en ella el autor agradece a las personas o instituciones que colaboraron en la realización de la tesis o trabajo de investigación. Si se incluye esta sección, deben aparecer los nombres completos, los cargos y su aporte al documento.

Resumen

El resumen es una presentación abreviada y precisa (la NTC 1486 de 2008 recomienda revisar la norma ISO 214 de 1976). Se debe usar una extensión máxima de 15 renglones. Se recomienda que este resumen sea analítico, es decir, que sea completo, con información cuantitativa y cualitativa, generalmente incluyendo los siguientes aspectos: objetivos, diseño, lugar y circunstancias, objetivo del estudio, intervención, mediciones y principales resultados, y conclusiones. Al final del resumen se deben usar palabras claves tomadas del texto (mínimo 3 y máximo 7 palabras), las cuales permiten la recuperación de la información.

Palabras clave: (máximo 10 palabras, preferiblemente seleccionadas de las listas internacionales que permitan el indizado cruzado).

Línea de investigación: (máximo 1 o 2 renglones en que se establezca la línea de investigación a la que pertenece el proyecto de grado).

Abstract

Es el mismo resumen pero traducido al inglés. Se debe usar una extensión máxima de 12 renglones. Al final del Abstract se deben traducir las anteriores palabras claves tomadas del texto (mínimo 3 y máximo 7 palabras), llamadas keywords. Es posible incluir el resumen en otro idioma diferente al español o al inglés, si se considera como importante dentro del tema tratado en la investigación, por ejemplo: un trabajo dedicado a problemas lingüísticos del mandarín seguramente estaría mejor con un resumen en mandarín.

Keywords: palabras clave en inglés (máximo 10 palabras, preferiblemente seleccionadas de las listas internacionales que permitan el indizado cruzado)

Research area: texto en inglés (máximo 1 o 2 renglones en que se establezca la línea de investigación a la que pertenece el proyecto de grado).

Notación

Esta sección es opcional, dado que existen disciplinas que no manejan símbolos y/o abreviaturas.

Se incluyen símbolos generales (con letras latinas y griegas), subíndices, superíndices y abreviaturas (incluir sólo las clases de símbolos que se utilicen). Cada una de estas listas debe estar ubicada en orden alfabético de acuerdo con la primera letra del símbolo.

Símbolo	Término
I_{\max}	Corriente máxima[A]
α	tasa de aprendizaje
λ_i	Autovalor i

Glosario

Abreviatura	Término
DP	Deep Learning - Aprendizaje profundo
$FCEM$	Fuerza contraelectromotriz
RAM	Random Access Memory - Memoria de Acceso Aleatorio

Índice

1. Marco Referencial	1
1.1. IntroducciÃ³n	1
1.2. Planteamiento del problema	1
1.2.1. DefiniÃ³n del problema	2
1.3. Objetivos	2
1.3.1. Objetivo general	2
1.3.2. Objetivos especÃ­ficos	2
1.4. JustificaciÃ³n	3
1.5. Limites y Alcances	3
1.5.1. LÃ­mites	3
1.5.2. Alcances	3
2. Marco TeÃ³rico	4
2.1. Estado del Arte [obj especificos]	4
2.1.1. ElectrÃ³nico	4
2.1.2. Modular	5
2.1.3. AnalÃ³gico	5
2.1.4. ComunicaciÃ³n	5
2.1.5. Software	6
2.1.6. Neurosky	6
2.1.7. Modular EEG	6
2.1.8. Emotivoc	6
2.1.9. OpenBCI	6
2.1.10. TÃ©cnico	6
2.1.11. Modular	6
2.2. Fundamentos TeÃ³ricos	6
2.2.1. ciencia investigada para desarrollar	6
2.2.2. Impedancia - aplicado	8
2.2.3. NO EXPLICAR Q ES BODE	8
2.2.4. EXPLICAR ANCHO DE BANDA	8

3. Marco Práctico	9
3.1. Esquema general del proyecto	9
3.2. Etapa n	9
3.2.1. Requerimientos	9
3.2.2. Cálculos y Dimensionamiento	9
3.2.3. Desarrollo	9
3.3. Herramientas	9
3.3.1. Hardware	9
3.3.2. Software	9
3.4. Resultados y Discusión	9
3.4.1. Análisis de costos	9
4. Marco Conclusivo	10
4.1. Conclusiones	10
4.2. Recomendaciones	10
4.3. Trabajo futuro*	10
5. Marco Referencial	11
5.1. Introducción	11
5.2. Planteamiento del Problema	12
5.2.1. Definición del problema	12
5.3. Objetivos	12
5.3.1. Objetivo General	12
5.3.2. Objetivos específicos	12
5.4. Justificación	13
5.5. Límites y Alcances	13
5.5.1. Límites	13
5.5.2. Alcances	13
A. Anexo: Nombrar el anexo A de acuerdo con su contenido	14
B. Anexo: Nombrar el anexo B de acuerdo con su contenido	15
C. Anexo: Nombrar el anexo C de acuerdo con su contenido	16
Bibliografía	14

Índice de figuras

Índice de tablas

CAPÍTULO 1

Marco Referencial

1.1. Introducci3n

Las bioseñales son originadas por la actividad eléctrica generada por un ser viviente. Estas pueden ser impulsos como los generados por las sinapsis del cerebro. Las señales más conocidas y estudiadas son: las provenientes del sistema nervioso central. Estas señales pueden ser medidas por medio de electrodos colocados en la superficie de la piel más cercana al origen de la señal. 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 dispositivo de adquisición [17]. Pero además, en conjunto, se utiliza una cantidad de electrodos que sea suficiente para el uso [8].

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

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 computador. En esta aplicación, pueden haber múltiples asociaciones de actividades resultando en múltiples (Motor Imagery) de la mano izquierda y MIB de pie y/o mano derecha [4]; y finalmente asociar estas actividades

Practicantes de ciencias como la medicina y psicología para el diagnóstico, rehabilitación, monitoreo; así como el estudio de la naturaleza y comportamiento de las señales. En el caso de la medicina, puede ser crítico en algunos aparatos diagnósticos en 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. Mientras mayor sea la cantidad de electrodos, se obtendrán mejores resultados. Un ejemplo de esto son los estudios de polisomnografía, donde es necesario contar con... [2].

1.2. Planteamiento del problema

La medición de bioseñales requiere hardware especializado ya que por naturaleza es un área compleja. Estos dispositivos son muy sensibles a las interferencias de radiofrecuencia y a las variaciones de temperatura y humedad. Además, se encuentran en un ambiente de mucho ruido de interferencias

ales. Para lograr unamediciÃ³n efectiva se deben implementar circuitos analÃ³gicos que lidien con estÃ©tipos de seÃ±ales con baja tasa de seÃ±al respecto al ruido (SNR).

Medir las seÃ±ales EEG requieren hardware aunmÃ¡s especializado ya que es la mÃ¡s tenue de las bioseÃ±ales, pues su magnitud promedio es de 100 μV [7]. Mientras, el ruido se mantiene al mismo nivel que en todas las bioseÃ±ales por lo que se requieren mayor tratamiento. Si bien el diseÃ±o es simple e igual para cada canal, cada uno requiere un diseÃ±o de pre-procesamiento de manera analÃ³gica.

Los dispositivos para EEG que cumplen requerimientos de estandarizaciÃ³n internacional son inaccesibles para los grupos de investigaciÃ³n. Los costos se elevan para cumplir requerimientos y recomendaciÃ³n de instituciones.

El costo del hardware causa que exista menos cantidad de desarrollo de neurociencia a nivel mundial.

Este campo de la ciencia se mantiene contraido ya que existen pocas personas capaces de hacer investigaciones fidedignas. En resultado el mercado se mantiene pequeÃ±o causando que los proveedores de equipos de bioanÃ¡lisis para reducir los costos se suele sacrificar alguno de los siguientes 3 aspectos: Uno, la cantidad de canales. Esto es evidente por lo mencionado anteriormente; cada canal requiere un nÃºmero de componentes necesarios para tratar la seÃ±al de manera analÃ³gica. Dos, software e interfaz. Para mantener la rentabilidad de las bioseÃ±ales; sin embargo, pocos dispositivos como el openBCI [ref] cuentan con los medios necesarios integrados para poder ser adaptados.

Para reducir los costos se suele sacrificar alguno de los siguientes 3 aspectos: Uno, la cantidad de canales. Esto es evidente por lo mencionado anteriormente; cada canal requiere un nÃºmero de componentes necesarios para tratar la seÃ±al de manera analÃ³gica. Dos, software e interfaz. Para mantener la rentabilidad de las bioseÃ±ales; sin embargo, pocos dispositivos como el openBCI [ref] cuentan con los medios necesarios integrados para poder ser adaptados.

La poca variedad en productos dificulta la optimizaciÃ³n de costos en funciÃ³n de la aplicaciÃ³n. Esto causa que el uso de dispositivos para EEG sea limitado.

La poca variedad en productos dificulta la optimizaciÃ³n de costos en funciÃ³n de la aplicaciÃ³n. Esto causa que el uso de dispositivos para EEG sea limitado.

1.2.1. DefiniciÃ³n del problema

Medir bioseÃ±ales EEG es un tarea bastante compleja, por lo que las mÃ¡s comunes son las que se pueden medir con un electrodo en la cabeza. Esto reduce los costos y la variedad de productos del tipo BAs para EEG en el rango menor a los 1000 US\$. Sin embargo, como lo es la flexibilidad, compatibilidad y facilidad de uso del hardware y software. Estos suponen dificultades en el desarrollo de los BAs para EEG que cuentan con las capacidades necesarias para mÃºltiples tipos de seÃ±ales e inclusive bioseÃ±ales, pero no cuentan con los medios necesarios integrados en su diseÃ±o para poder ser adaptados. AdemÃ¡s, las dificultades en el hardware como software para los usuarios que no estÃ¡n involucrados en el desarrollo tecnolÃ³gico.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

DiseÃ±ar e implementar un sistema modular que permita medir y grabar digitalmente bioseÃ±ales EEG.

1.3.2. Objetivos especÃ­ficos

1. Medir, grabar y visualizar seÃ±ales EEG en vivo de manera digital en 2 canales independientes. Validar las mediciones.
2. DiseÃ±ar e implementar un sistema modular. DiseÃ±ar un sistema de protecciÃ³n contra descargas electrostÃ¡ticas.
3. Desarrollar software cuyo uso no requiera conocimientos de programaciÃ³n para el usuario del sistema. Implementar un sistema de control de acceso.

1.4. Justificaci3n

El proyecto se ve entonces justificado con motivo de reducir la brecha de conocimiento al generar m3s documentaci3nal respectoyas3 mismo incrementar la investigaci3nal proveer de una alternativa que, por fco. El aporte acad3mico en un punto de vista conceptual brindar3 un formato m3s sencillo y pr3ctico para en ayneurociencia, producto de la aplicaci3ny documentaci3n que se van a generar. En el3reat3cnica aporta una oque sea f3cil de reproducir para aplicaciones que requieran el uso de un sistema de medici3nde este tipo. Del punto ode un dispositivo de adquisici3nde se3a la anal3gicas digitales con una precisi3ny robustez muy elevada.

1.5. Limites y Alcances

1.5.1. L3mites

1. Si bien este proyecto apunta a cumplir ciertos niveles de est3ndares internacionales IFCN, no se llevara a cabo ning3n proceso de certificaci3n. No se evaluar3 el alcance del proyecto en la comunidad de
2. No se implementar3 en todas las variaciones posibles de m3dulos compatibles para el dise3o, se limitar3 a una unidad y un tipo espec3fico por m3dulo. No se optimizar3 la comunicaci3n con webso
3. No se implementara un medio para guardar datos en caso de desconectaci3n. No se implementar3 un reloj en tiem

1.5.2. Alcances

1. Accesible

C3digo Abierto, Documentaci3n amplia. Proporcionar los dise3os y breves manuales en repositorios p3blicos. Animar3 a ser expansible. El sistema debe poder cumplir con las tareas m3s requeridas para tener un on debe limitar la expansi3n en funcionalidades y capacidades.

2. Flexible/potenciable

- Dise3o modular con compatibilidad con EEG, ECG, EMG, EOG al variar la magnitud de amplificaci3n
- Dise3o flexible. El dise3o debe ser capaz de ser modificado sin tener completo conocimiento sobre todo el di. opara adaptar su funcionamiento y aumentar sus capacidades m3ximas con pocos cambios.

3. Numero de entradas expansible. El sistema original implementado medir3 hasta 2 canales digitales; sin embargo el sistema debe ser capaz de aumentar el n3mero de entradas hasta al menos 24 canales con el intercambio o adici3n de nuevos m3dulos.

Facilidad de uso (amigable)

Requerimiento de cero programaci3n. Tanto la configuraci3n inicial como el uso del dispositivo deben poderlle

Seguridad

Protecci3n contra descargas ESD al circuito. El sistema debe contar con protecci3n de descarga electroest3tica que fisicamente limite la energ3a total.

CAPÍTULO 2

Marco Teórico

2.1. Estado del Arte [obj específicos]

2.1.1. Electrónica

PWR - ESD

Analógico

1. OPA

a) INA

2. ADC

3. ESD

Digital

1. SPI, I2C, Serial

2. MCU (ESP, teensy)

2.1.2. Modular

CH[spi]

DRL

ADC+MCU

PWR

2.1.3. Anal³ógico

INA CMMR_i120db (laser trimmed)

ADC 24bits

2.1.4. Comunicaci³ón

SPI, I2C, Serial

BT, WIFI

1. HTTP, MQTT, WS, CoAP

2.1.5. Software

Engine

BD

GUI

Com protocol

(broker - mqtt)

SQL, Mongo, Cassandra, TimeSeries

2.1.6. Neurosky

2.1.7. ModularEEG

2.1.8. Emotivoc

2.1.9. OpenBCI

2.1.10. Tecnico

2.1.11. Modular

2.2. Fundamentos Te³ricos

2.2.1. ciencia investigada para desarrollar

- Electroodos (tipos)
 - Activo
 - Pasivo
 - Materiales
- Impedancia
- Potencia
- Virtual GND
- ESD
- ESD/DC-DC
- Filtros
 - BP

- Notch
- INA
 - CMRR
 - 3 vs 2 opa
 - rail-rail
 - slew rate
- Gain basic opa
 - PGA
- ADCS
 - bits
 - spi
 - diff
 - clock
- MCU
 - wifi, bt
 - lua - esp
 - Arduino
- COM Protocol
 - TCP
 - Ws, CoAP
 - MQTT
- Software engine
 - Protocol interface
- Server
 - (Broker)
 - DB
 - GUI
 - PWA
- API and other tech

2.2.2. Impedancia - aplicado

2.2.3. NO EXPLICAR Q ES BODE

2.2.4. EXPLICAR ANCHO DE BANDA

CAPÍTULO 3

Marco Práctico

3.1. Esquema general del proyecto

3.2. Etapa n

3.2.1. Requerimientos

3.2.2. Cálculos y Dimensionamiento

3.2.3. Desarrollo

3.3. Herramientas

3.3.1. Hardware

3.3.2. Software

3.4. Resultados y Discusión

3.4.1. Análisis de costos

CAPÍTULO 4

Marco Conclusivo

4.1. Conclusiones

4.2. Recomendaciones

4.3. Trabajo futuro*

CAPÍTULO 5

Marco Referencial

5.1. Introducción

En la introducción, el autor presenta y señala la importancia, el origen (los antecedentes teóricos y prácticos), los objetivos, los alcances, las limitaciones, la metodología empleada, el significado que el estudio tiene en el avance del campo respectivo y su aplicación en el área investigada. No debe confundirse con el resumen y se recomienda que la introducción tenga una extensión de mínimo 2 páginas y máximo de 4 páginas.

La presente plantilla maneja una familia de fuentes utilizada generalmente en LaTeX, conocida como Computer Modern, específicamente LMRomanM para el texto de los párrafos y CMU Sans Serif para los títulos y subtítulos. Sin embargo, es posible sugerir otras fuentes tales como Garomond, Calibri, Cambria, Arial o Times New Roman, que por claridad y forma, son adecuadas para la edición de textos académicos.

La presente plantilla tiene en cuenta aspectos importantes de la Norma Técnica Colombiana - NTC 1486, con el fin que sea usada para la presentación final de las tesis de maestría y doctorado y especializaciones y especialidades en el área de la salud, desarrolladas en la Universidad Nacional de Colombia.

Las márgenes, numeración, tamaño de las fuentes y demás aspectos de formato, deben ser conservada de acuerdo con esta plantilla, la cual esta diseñada para imprimir por lado y lado en hojas tamaño carta. Se sugiere que los encabezados cambien según la sección del documento (para lo cual esta plantilla esta construida por secciones).

Si se requiere ampliar la información sobre normas adicionales para la escritura se puede consultar la norma NTC 1486 en la Base de datos del ICONTEC (Normas Técnicas Colombianas) disponible en el portal del SINAB de la Universidad Nacional de Colombia¹, en la sección Recursos bibliográficos. opción "Bases de datos". Este portal también brinda la posibilidad de acceder a un

¹ver: www.sinab.unal.edu.co

instructivo para la utilización de Microsoft Word y Acrobat Professional, el cual está disponible en la sección "Servicios", opción "Trámites" enlace "Entrega de tesis".

La redacción debe ser impersonal y genérica. La numeración de las hojas sugiere que las páginas preliminares se realicen en números romanos en mayúscula y las demás en números arábigos, en forma consecutiva a partir de la introducción que comenzará con el número 1. La cubierta y la portada no se numeran pero si se cuentan como páginas.

Para trabajos muy extensos se recomienda publicar más de un volumen. Se debe tener en cuenta que algunas facultades tienen reglamentada la extensión máxima de las tesis o trabajo de investigación; en caso que no sea así, se sugiere que el documento no supere 120 páginas.

No se debe utilizar numeración compuesta como 13A, 14B ó 17 bis, entre otros, que indican superposición de texto en el documento. Para resaltar, puede usarse letra cursiva o negrilla. Los términos de otras lenguas que aparezcan dentro del texto se escriben en cursiva.

5.2. Planteamiento del Problema

5.2.1. Definición del problema

5.3. Objetivos

5.3.1. Objetivo General

5.3.2. Objetivos específicos

- Objetivo específico 1
- Objetivo específico 2
- Objetivo específico 3
- Objetivo específico 4
- Objetivo específico 5
- Objetivo específico 6

5.4. Justificación

5.5. Límites y Alcances

5.5.1. Límites

- Límite 1
- Límite 2
- Límite 3
- Límite 4
- Límite 5
- Límite 6

5.5.2. Alcances

- Alcance 1
- Alcance 2
- Alcance 3
- Alcance 4
- Alcance 5
- Alcance 6

APÉNDICE A

Anexo: Nombrar el anexo A de acuerdo con su contenido

Los Anexos son documentos o elementos que complementan el cuerpo de la tesis o trabajo de investigación y que se relacionan, directa o indirectamente, con la investigación, tales como acetatos, cd, normas, etc.

APÉNDICE B

Anexo: Nombrar el anexo B de acuerdo con su contenido

A final del documento es opcional incluir índices o glosarios. Éstos son listas detalladas y especializadas de los términos, nombres, autores, temas, etc., que aparecen en el mismo. Sirven para facilitar su localización en el texto. Los índices pueden ser alfabéticos, cronológicos, numéricos, analíticos, entre otros. Luego de cada palabra, término, etc., se pone coma y el número de la página donde aparece esta información.

APÉNDICE C

Anexo: Nombrar el anexo C de acuerdo con su contenido

MANEJO DE LA BIBLIOGRAFÍA: la bibliografía es la relación de las fuentes documentales consultadas por el investigador para sustentar sus trabajos. Su inclusión es obligatoria en todo trabajo de investigación. Cada referencia bibliográfica se inicia contra el margen izquierdo.

La NTC 5613 establece los requisitos para la presentación de referencias bibliográficas citas y notas de pie de página. Sin embargo, se tiene la libertad de usar cualquier norma bibliográfica de acuerdo con lo acostumbrado por cada disciplina del conocimiento. En esta medida es necesario que la norma seleccionada se aplique con rigurosidad.

Es necesario tener en cuenta que la norma ISO 690:1987 (en España, UNE 50-104-94) es el marco internacional que da las pautas mínimas para las citas bibliográficas de documentos impresos y publicados. A continuación se lista algunas instituciones que brindan parámetros para el manejo de las referencias bibliográficas:

Institución	Disciplina de aplicación
Modern Language Association (MLA)	Literatura, artes y humanidades
American Psychological Association (APA)	Ambito de la salud (psicología, medicina) y en general en todas las ciencias sociales
Universidad de Chicago/Turabian	Periodismo, historia y humanidades.
AMA (Asociación Médica de los Estados Unidos)	Ambito de la salud (psicología, medicina)
Vancouver	Todas las disciplinas
Council of Science Editors (CSE)	En la actualidad abarca diversas ciencias
National Library of Medicine (NLM) (Biblioteca Nacional de Medicina)	En el ámbito médico y, por extensión, en ciencias.
Harvard System of Referencing Guide	Todas las disciplinas
JabRef y KBibTeX	Todas las disciplinas

Para incluir las referencias dentro del texto y realizar lista de la bibliografía en la respectiva sección, puede utilizar las herramientas que Latex suministra o, revisar el instructivo desarrollado por el Sistema de Bibliotecas de la Universidad Nacional de Colombia¹, disponible en la sección "Servicios", opción "Trámites enlace .^{Entrega de tesis}".

¹Ver: www.sinab.unal.edu.co