



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MONITOR
ELECTROENCEFALOGRÁFICO BASADO EN LA TECNOLOGÍA DE LOS
MICRO-CONTROLADORES”

TESINA DE SEMINARIO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

**INGENIERO EN ELECTRICIDAD ESPECIALIZACIÓN ELECTRÓNICA Y
AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL**

Presentado por:

JORGE ANDRÉS SANTILLÁN VÁSCONEZ

JAVIER REINALDO MACÍAS CANO

Guayaquil – Ecuador

2013

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por tenerme con vida en este momento importante de mi vida, de manera especial a mis padres que siempre estuvieron pendientes de mí, fueron mi apoyo incondicional en todo lo que necesitaba, nunca me faltó nada y gracias a ellos pude alcanzar esta meta tan deseada, a mis hermanos que de una manera u otra colaboraron con su granito de arena, a mis compañeros con los que conviví en todo este proceso universitario y a los profesores, de manera especial al director de esta carrera el Ing. Miguel Yapur, MSc, que con sus enseñanzas me han llevado a convertir en un gran profesional y me siento orgullo de aquello.

Jorge Andrés Santillán Vásconez.


Agradezco primeramente a nuestro padre Celestial, a mis padres que siempre confiaron en mí, estando ahí en esos momentos duros y difíciles de la vida, que con sus desvelos y consejos lograron formar en mi a la persona que soy en la actualidad, a los profesores con sus enseñanzas pudieron encaminarme en el buen camino, de manera especial al Ing. Miguel Yapur, MSc, por su tiempo para poder realizar nuestro proyecto de graduación y llegar a esta nueva etapa de mi vida, indicando que no los decepcionaré.

Javier Reinaldo Macías Cano

DEDICATORIA

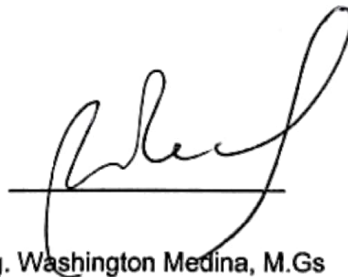
Dedicada a Dios por recordarnos siempre el propósito de nuestro esfuerzo, trabajo y metas, a nuestros padres que son la guía de nuestras vidas, profesores, familiares y amigos quienes fueron nuestro apoyo durante todo este periodo universitario

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

A handwritten signature in black ink, consisting of several vertical strokes and a horizontal line, positioned above a solid horizontal line.

Ing. Miguel Yapur, M.Sc.

PROFESOR DEL SEMINARIO DE GRADUACIÓN

A handwritten signature in black ink, featuring a large, stylized initial 'W' and a long, sweeping flourish, positioned above a solid horizontal line.

Ing. Washington Medina, M.Gs

PROFESOR DELEGADO POR LA UNIDAD ACADÉMICA

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad del contenido de esta Tesina, nos corresponde exclusivamente a nosotros; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL"

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)



Jorge Andrés Santillán Vásconez



Javier Reinaldo Macías Cano

RESUMEN

Este proyecto se basa en el desarrollo de un instrumento que permite captar, procesar y visualizar las actividades eléctricas que ocurren en el cerebro humano, también denominadas ondas cerebrales.

El instrumento se llama Electroencefalógrafo y la técnica que gobierna su aplicación se llama electroencefalografía, la cual es una exploración neurofisiológica que permite mostrar el registro de la actividad bioeléctrica del cerebro a través de unos electrodos colocados en la superficie del cuero cabelludo.

La finalidad de este proyecto será mostrar gráficamente en una computadora las ondas cerebrales producidas por el ser humano en estado de alerta y en estado de relajación, para ello se desarrolló un circuito electrónico que incluye etapas de amplificación, filtrado, acoplamiento, conversión análoga-digital y un software desarrollado en LabVIEW.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO.....	II
DEDICATORIA.....	IV
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN.....	V
DECLARACIÓN EXPRESA.....	VI
RESUMEN.....	VII
ÍNDICE GENERAL.....	VIII
ABREVIATURAS Y SIMBOLOGÍAS.....	XII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIV
ÍNDICE DE TABLAS.....	XVI
INTRODUCCIÓN.....	XVII
CAPÍTULO 1	
1. CONCEPTOS BÁSICOS.....	1
1.1 Electroencefalograma.....	2
1.1.1 Electroencefalografía.....	2
1.1.2 Tipos de Ondas Cerebrales.....	3
1.2 Breve historia del EEG.....	5
1.3 El cerebro.....	5
1.4 Las neuronas.....	7
1.4.1 Partes de una neurona.....	8

1.4.2 Tipos de neuronas.....	9
1.5 Obtención de las ondas cerebrales por medio de los electrodos.....	10
1.5.1 Electrodo Superficiales.....	11
1.5.1.1 Electrodo Adhesivos	11
1.5.1.2 Electrodo de Contacto	12
1.5.1.3 Electrodo en Casco de malla	13
1.5.1.4 Electrodo de Aguja.....	14
1.5.1.5 Electrodo Quirúrgicos.....	15
1.6 Forma de activación.....	15
1.6.1 Privación del sueño.....	15
1.6.2 Hiperventilación.....	16
1.6.3 Estimulación Luminosa Intermitente.....	16
CAPÍTULO 2	
PROCEDIMIENTOS TÉCNICOS.....	17
2.1 Diagrama de Bloques.....	18
2.1.1 Etapa 1: Mecanismo para incrementar la amplitud de una señal eléctrica.....	19
2.1.2 Etapa 2: Mecanismo analógico para eliminar impurezas de una señal eléctrica.....	19
2.1.3 Etapa 3: Mecanismo para acondicionar una señal eléctrica	19
2.1.4 Etapa 4: Mecanismo para convertir una señal eléctrica analoga a digital.....	20

2.1.5 Etapa 5: Mecanismo para convertir voltajes de nivel TTL a Estándares PC.....	20
2.2 Elementos del circuito EEG.....	21
2.2.1 Acoplamiento de impedancias	21
2.2.2 Amplificador de instrumentación.....	22
2.2.3 Filtro NOTCH.....	25
2.2.4 Filtro Pasa-Banda.....	27
2.2.5 Amplificador de voltaje fijo.....	31
2.2.6 Acondicionamiento de señales.....	32
2.2.7 Conversión analógico-digital por medio del micro-controlador 16F887.....	33
2.3 Elección, adquisición y visualización de las ondas cerebrales por medio de LabVIEW	35
CAPÍTULO 3	
IMPLEMENTACIÓN DEL ELECTROENCEFALÓGRAFO.....	40
3.1 Posicionamiento de los electrodos	41
3.2 Alimentación del equipo.....	44
3.3 Circuito impreso del electroencefalógrafo.....	45
3.4 Tarjeta del circuito electroencefalógrafo	46
3.5 Equipo completo del electroencefalógrafo	47
CAPÍTULO 4	
RESULTADOS Y GRÁFICA.....	48

4.1 Señal EEG en un osciloscopio	49
4.2 Señal captada mediante LabVIEW	50
4.3 Resultados Experimentales	50

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

ANEXOS

ANEXO A: CIRCUITO EEG AMPLIADO

ANEXO B: DIAGRAMA DE BLOQUES EN LABVIEW

ANEXO C: CÓDIGO PIC DEL MICRO-CONTROLADOR

BIBLIOGRAFÍA

ABREVIATURAS Y SIMBOLOGÍA

Ad	Ganancia diferencial
As	Ganancia en el modo común
Av	Ganancia
A/D	Analógico-Digital
Bias	Corriente de polarización
bps	Bits por Segundo
C	Capacitor
CMRR	Rechazo de modo común
dB	Decibelios
DC	Corriente continua
EEG	Electroencefalograma
ELI	Estimulación Luminosa Intermitente
ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
f_h	Frecuencia de corte del filtro pasa-bajo
f_i	Frecuencia de corte del filtro pasa-alto
f_z	Frecuencia de corte del filtro NOTCH
Gr	Gramo
Hv	Hiperventilación
Hz	Hertz
KΩ	Kilo ohmios

Kg	Kilogramos
LabVIEW	Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench
Log	Logaritmo
mV	Mili voltios
nF	Nano Faradio
MΩ	Mega Ohmios
OPAMP	Amplificador operacional
PC	Computadora
pF	Picofaradio
Q	Factor de calidad
R	Resistencia
TTL	Lógica transistor a transistor
USB	Universal Serial Bus
uV	Micro voltios
V	Voltios
Ω	Ohmio
π	Pi
∞	Infinito

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.1. Onda cerebral registrada en el EEG.....	3
FIGURA 1.2. Tipos de ondas cerebrales.....	4
FIGURA 1.3. Cerebro humano.....	6
FIGURA 1.4. Neurona de un humano.....	7
FIGURA 1.5. Partes de una neurona	8
FIGURA 1.6. Tipos de neuronas	10
FIGURA 1.7. Electrodo adhesivos	12
FIGURA 1.8. Electrodo de contacto	13
FIGURA 1.9. Electrodo en casco de malla	14
FIGURA 1.10. Electrodo de aguja	14
FIGURA 1.11. Electrodo quirúrgicos.....	15
FIGURA 2.1. Diagrama de bloques.....	18
FIGURA 2.2. Acoplamiento de impedancia.....	21
FIGURA 2.3. Amplificador de instrumentación AD620.....	23
FIGURA 2.4. Filtro NOTCH.....	25
FIGURA 2.5. Filtro Pasa-Banda.....	28
FIGURA 2.6. Amplificador de voltaje fijo	31

FIGURA 2.7. Acondicionamiento de señales.....	33
FIGURA 2.8. Puerto de configuración serial VISA.....	37
FIGURA 2.9. Bloque VISA read.....	37
FIGURA 2.10. Recepción serial y conversión digital-analógica.....	38
FIGURA 2.11. Bloque de parada.....	39
FIGURA 3.1. A. Vista de perfil. B. Vista superior.Ubicación de los electrodos.....	41
FIGURA 3.2. Pasta conductora Ten 20.....	43
FIGURA 3.3. Fuente dual +/- 12Voltios.....	44
FIGURA 3.4. Módulo electrónico USB.....	45
FIGURA 3.5. Circuito impreso EEG.....	45
FIGURA 3.6. Circuito impreso módulo USB.....	46
FIGURA 3.7. Circuito EEG.....	46
FIGURA 3.8. Circuito convertido análogo – digital.....	47
FIGURA 3.9. Circuito completo del EEG.....	47
FIGURA 4.1. Señal del osciloscopio.....	49
FIGURA 4.2. Señal en LabVIEW.....	50

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Áreas especializadas del cerebro.....	6
Tabla 3.1 Materiales necesarios para realizar un EEG.....	43
Tabla 4.1 Datos experimentales del filtro pasa-banda.....	51
Tabla 4.2 Datos experimentales del filtro NOTCH.....	51
Tabla 4.3 Datos experimentales del amplificador de instrumentación.....	51

INTRODUCCIÓN

Esta tesina está dividida en cuatro capítulos los mismos que se describen a continuación:

En el primer capítulo se detalla los conceptos del electroencefalógrafo como tal y sus partes, como son los electrodos, los conceptos básicos médicos de neurona, tipos de ondas cerebrales con sus respectivas frecuencias y funcionamiento.

En el segundo capítulo se describe el funcionamiento electrónico del electroencefalógrafo en sus diferentes etapas como el filtrado, amplificación, acoplamiento, conversión analógica-digital y el software desarrollado a través de la herramienta de LabVIEW.

En el tercer capítulo se indica el correcto posicionamiento de los electrodos en el cuero cabelludo como también el uso de los materiales que nos permitan un recepción de las señales bioeléctrica.

En el capítulo cuarto se muestran los resultados obtenidos gráficamente en un osciloscopio y en una pantalla computarizada a través del software de LabVIEW.

CAPÍTULO 1

CONCEPTOS BÁSICOS

En este capítulo se detallarán varios conceptos importantes sobre el estudio de la encefalografía, como son las neuronas, el cerebro, las ondas cerebrales y tipos de electrodos.

Además se analizará como se originan y se procesan las señales en el cerebro para realizar estudios sobre las enfermedades a tratarse.

1.1. Electroencefalograma

El electroencefalograma, es un estudio neurofisiológico de las actividades bioeléctrica del cerebro por medio de pequeños discos metálicos llamados electrodos, que pueden ser de diferentes materiales (oro o plata), unidos a cables apantallados para suprimir todo tipo de interferencia existente en el medio. [1].

Por medio de este examen los médicos pueden determinar diferentes patrones normales y anormales, ya que es una representación gráfica en tiempo real del cerebro del individuo, en condiciones de reposo, sueño, hiperventilación (agitado), estimulación luminosa [1].

1.1.1. Electroencefalografía

La Electroencefalografía es el registro y evaluación de los potenciales eléctricos generados por la actividad bioeléctrica del cerebro durante diversas etapas, como la edad y estado de alerta del individuo [1].

La gráfica en tiempo real de la actividad bioeléctrica cerebral carece de un patrón reproducible, como se puede observar en la figura 1.1. Es una señal con poca amplitud, en un rango de 10-100uV (micro voltios), que refleja la diferencia de potencial entre dos señales multiplicadas por un factor de ganancia [1].

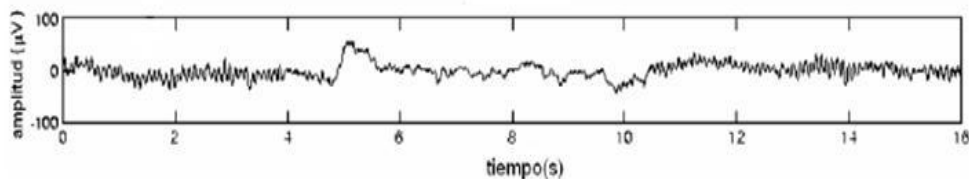


FIGURA 1.1. Onda cerebral registrada en el EEG

Fuente: <http://dSPACE.upe.edu.ec>

El Electroencefalógrafo es un equipo médico que consiste en amplificadores balanceados, de mucha sensibilidad y alta impedancia de entrada, con electrodos apantallados y un printer que nos permitirá mostrar los resultados en un papel [1].

1.1.2. Tipos de ondas cerebrales

Existen cuatro tipos de ondas: alfa, beta, theta y delta. A continuación se describen los diferentes tipos de ondas en orden de mayor a menor actividad:

- **Ondas Beta:** Se producen cuando el individuo está realizando una actividad, física, mental. Son ondas amplias y las más rápidas de las cuatro. Se repite entre 15 y 40 ciclos por segundo. Esto indica una actividad mental, física, intensa [2].
- **Ondas Alfa:** Esta onda representa un estado de relajación. Son más lentas y de mayor amplitud que las beta. Se repite entre 9 y 14 ciclos

por segundo. Este estado se lo consigue cuando la persona se encuentra tomando un descanso después de una actividad o de disfrute [2].

- **Ondas Theta:** Son ondas de mayor amplitud y menor repetición entre 5 y 8 ciclos por segundo. Es la persona que está fantaseando, soñando despierta o inspirado es decir, la mente está en “otro sitio”. Las ideas que surgen en la mente en este estado fluyen con libertad y sin censura o culpa [2].
- **Ondas Delta:** Son las ondas de mayor amplitud y menor repetición están entre 1,5 y 4 ciclos por segundo. Nunca llegan a cero, pues eso significaría la muerte cerebral. Es un estado de sueño profundo [2].

Ondas cerebrales	Frecuencia	Estado mental
Onda delta	0,5 - 3 Hz	sueño profundo
Onda theta	4 - 7 Hz	sueño ligero
Onda alfa	8 - 13 Hz	despierto, relajado
Onda beta	14 Hz	despierto, excitado

FIGURA 1.2. Tipos de Ondas cerebrales

Fuente: <http://www.mileschristi.blogspot.com/20110701archive.html>

1.2. Breve historia del EEG

El inventor de este equipo fue el alemán Hans Berger que nació en Neuses 21 de Mayo del 1873 y muere el 1 de Junio 1941, fue doctor en medicina, especializado en neurología en la Universidad de Jena en la que obtuvo un doctorado en 1897, se lo considera el creador de la encefalografía, fue catedrático y fue rector de la universidad de Jena. En 1924 con el consentimiento de una persona pudo hacer pruebas en el cerebro de él, colocando electrodos en la superficie de la cabeza, el cual estaban conectado a un potente y sensible galvanómetro de la época, observó que el galvanómetro recibía pulsos eléctricos oscilantes. Después de varios estudios en 1929 se dio a conocer, pero no pudo ser premiado con el alto premio de reconocimiento del premio Nobel de medicina, en 1941 por una fuerte depresión, se suicida en la clínica de la universidad al saber que su invento no era utilizado para buenos fines, si no para el uso de exterminio de los judíos [3].

1.3. El cerebro

El cerebro humano es el centro del sistema nervioso y pesa en promedio alrededor de 3 libras (1.5Kg) representando el 2% del peso corporal, es muy suave y con una consistencia similar a la de la gelatina blanda [4] (figura 1.3).

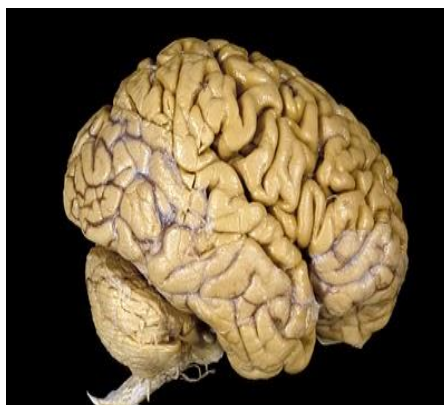


FIGURA 1.3. Cerebro humano

Fuente: <http://www.cobach-elr.com/academias/quimicas/biologia>.

En la tabla 1 se hace un breve resumen sobre las áreas especializadas del cerebro.

TABLA 1.1. Áreas especializadas del cerebro

Fuente: <http://academic.uprm.edu/eddiem/psic3001/id50.htm>.

<p>La Corteza: es la capa más externa de las células cerebrales y en ésta comienzan los movimientos de pensamiento voluntario [4].</p>
<p>Ganglios basales: Son un grupo de estructuras en el centro del cerebro, coordinan mensajes múltiples otras áreas del cerebro [4].</p>
<p>Tallo Cerebral: está en la medula espinal y el resto del cerebro y controla funciones como la respiración y el sueño [4].</p>
<p>Cerebelo: Llamado pequeño cerebro pesa 150 gr. Está vinculado con la postura, el caminar y el realizar movimientos coordinados [4].</p>

1.4. Las neuronas

Son células del tejido nervioso, ellas se interconectan formando redes de comunicación, que transmiten pulsos eléctricos al sistema nervioso.

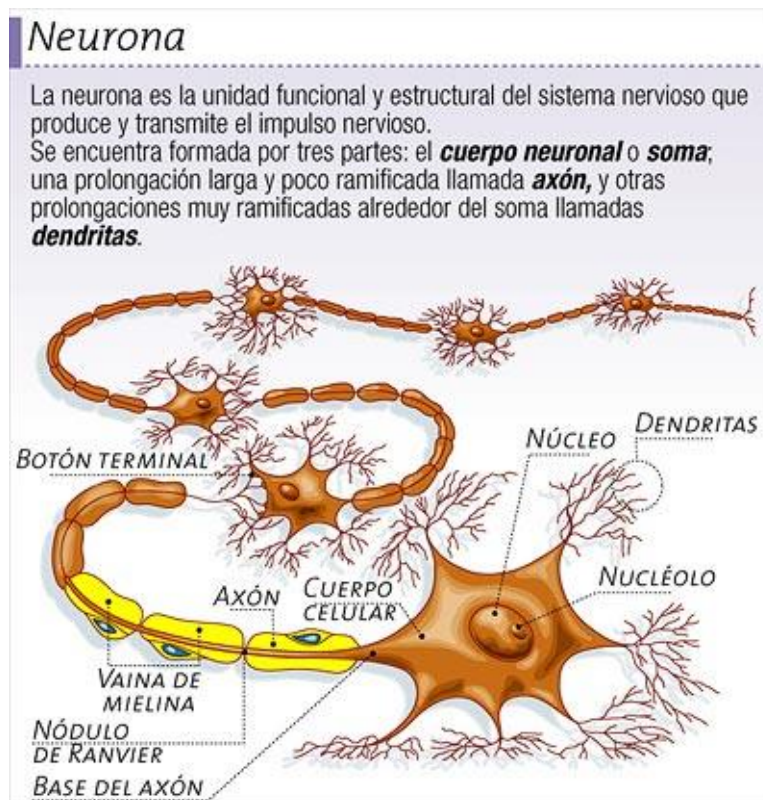


FIGURA 1.4. Neurona de un Humano

Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos14/neuronas/neuronas.shtml>.

Las funciones complejas del sistema nervioso son consecuencia de la interacción entre redes neuronales, la forma y estructura de cada neurona se relaciona por la función que se realiza [5].

1.4.1. Partes de una neurona

La neurona consta de las siguientes partes:

- **Soma o Cuerpo Neuronal:** Corresponde a la parte más voluptuosa de la neurona. Aquí se observa una estructura esférica llamada núcleo. Además en el soma se encuentra el citoplasma [5].
- **Axón:** Es una prolongación única y larga. La función es obtener impulso desde el cuerpo neuronal y conducirlo hasta otro lugar del sistema [5].
- **Dendritas:** Son prolongaciones cortas que se originan del cuerpo neuronal, su función es recibir impulsos de otras neuronas y transmitirla hasta centro de la neurona [5].

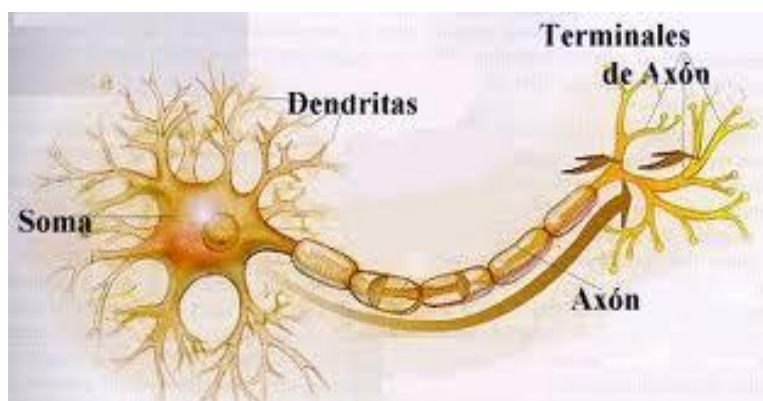


FIGURA 1.5. Parte de una Neurona

Fuente: <http://ponce.inter.edu/acad/cursos/peg/iacg2040/protege/neurona1.jpg>.

1.4.2. Tipos de neurona

Por el reparto de sus prolongaciones, las neuronas se clasifican en:

- **Bipolares:** Que además del axón tienen sólo una dendrita; se las encuentra relacionadas a receptores en la retina y en la mucosa olfatoria [5].
- **Seudo-unipolares:** Presentan una sola prolongación de doble sentido, que actúa a la vez como dendrita y como axón (entrada y salida) y transmiten el impulso sin que este pase por el soma neuronal; es el caso de las neuronas sensitivas espinales [5].
- **Multipolares:** Son las más típicas y abundantes poseen gran número de prolongaciones de pequeñas entradas, dendritas, y una sola de salida, el axón. La mayoría de las neuronas son de este tipo. Un caso extremo lo constituye la célula de Purkinje que recibe más de 200.000 terminales nerviosos [5].

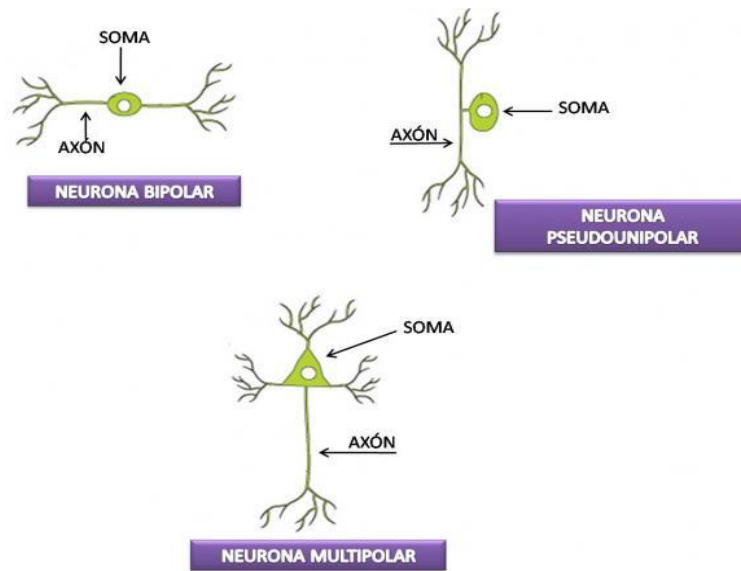


FIGURA 1.6. Tipos de Neuronas

Fuente: <http://byg1b.blogspot.com/2011/04/2-el-sistema-nervioso.html>.

1.5. Obtención de las ondas cerebrales por medio de los electrodos

La actividad bioeléctrica cerebral puede obtenerse por diversa técnicas: sobre la superficie de la piel, en cerebro expuesto, en la base del cráneo y en localizaciones cerebrales profundas [6].

Para captar la señal se utilizan diferentes tipos de electrodos:

- **Electrodos Superficiales:** se colocan sobre el cuero cabelludo.

- **Electrodos Basales:** se aplican en la base del cráneo sin necesidad de procedimiento quirúrgico.
- **Electrodos Quirúrgicos:** para su aplicación es necesaria de una cirugía y pueden ser corticales o intracerebrales.

La búsqueda de las actividades bioeléctricas cerebrales tienen diferentes nombres según la forma de utilizarse, en nuestro caso nos basaremos en los electrodos superficiales ya que son los más comunes que se utiliza para el EEG [6].

1.5.1. Electrodos superficiales

Son electrodos de fácil y rápido uso, son indoloros y permanecen en su lugar de colocación durante el tiempo de la prueba sin dificultades. Existen algunos modelos donde se destacan [6]:

1.5.1.1 Electrodos Adhesivos

Es una de las técnicas de uso más frecuente en la práctica médica. Consiste en el registro de la actividad bioeléctrica del cerebro mediante electrodos aplicados sobre todo, en la superficie de cráneo. Los electrodos se colocan sobre las zonas correspondientes a las diferentes áreas del cerebro para así

detectar y registrar patrones de actividad eléctrica y verificar la presencia de anomalías [6].



Figura 1.7. Electrodo Adhesivo

Fuente: <http://www.slideshare.net>.

1.5.1.2. Electrodo de contacto

Deben ser sujetados alrededor del cráneo por medio de un brazal elástico, se trata de un tubo de plata o de oro envuelto en un soporte de plástico el cual se pone debajo del brazal elástico. No son muy exactos, tienen muchas interferencias y no es aconsejable el uso en adultos, ni en niños [6].



Figura 1.8. Electrodo de Contacto

Fuente: <http://www.slideshare.net>.

1.5.1.3. Electrodo en casco de malla

Están confeccionados en un tejido elástico que se adapta perfectamente a la silueta del cráneo del paciente y posiciona los electrodos especialmente diseñados, que están entrelazados al tejido mediante botones plásticos ahuecados, que permiten la aplicación de Gel conductor que asegura una correcta toma de información del paciente [6].



FIGURA 1.9. Electrodo de Contacto

Fuente: <http://www.slideshare.net>.

1.5.1.4. Electrodo de aguja

Son Obsoletos por ser dolorosos y peligrosos, además no son exactos reducen la amplitud de los periodos altos [6].



FIGURA 1.10. Electrodo de Ajuga

Fuente: <http://www.slideshare.net>.

1.5.1.5. Electrodo quirúrgico

Es usada en la jornada quirúrgica y son utilizados exclusivamente por el neurocirujano. Pueden ser duros, corticales o intracerebrales [6].

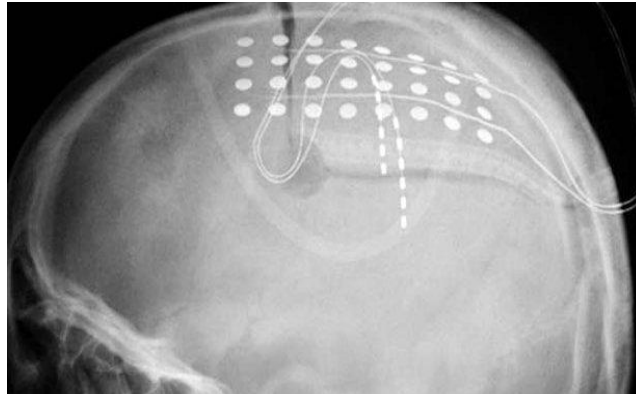


FIGURA 1.11. Electrodo Quirúrgico

Fuente: <http://dspace.ups.edu.ec>.

1.6. Forma de activación

1.6.1. Privación del sueño

Para realizar la prueba de la encefalografía se necesita que el paciente tenga pocas horas de sueño, para que en la prueba el paciente duerma y poder detectar las alteraciones. Este método es muy útil para ver si el paciente sufre de epilepsia [7].

1.6.2. Hiperventilación (HV)

Es de respirar de manera lenta y profunda durante varios minutos, este mecanismo inclina a influir una “crisis de ausencia” más peculiar en niños que en adultos [7].

La HV tiene una base fisiológica: Hiperventilación que produce una Hipocapnia (minoración de la presión arterial de CO₂) genera un fallecimiento del flujo sanguíneo cerebral, y la disminución de oxígeno en el cerebro [7].

La respuesta en la HV depende de varios factores:

- Edad: suele ser mayor en niños y puede estar ausente en ancianos.
- Glucemia: la respuesta se aumenta con la hipoglucemia.
- Respuesta cerebral a la hipocapnia.

1.6.3. Estimulación Luminosa Intermitente (ELI)

Se estudia si el paciente es o no fotosensible. Son luces centelleantes e intermitentes y suele ser útil en las epilepsias, síndrome hereditario no progresivo caracterizado por convulsiones con sacudidas únicas o repetitivas de predominio en brazos. Se aprecia en crisis parciales [7].

CAPÍTULO 2

PROCEDIMIENTOS TÉCNICOS

En este capítulo se explicará de forma detallada el diseño y construcción del electroencefalógrafo.

Se analizará el acoplamiento de las señales bioeléctricas emitido por el cerebro hacia el circuito del EEG por medio de los electrodos, también el estudio de los amplificadores de instrumentación, filtro NOTCH, filtros pasa

bandas, acondicionamiento de señales y la correcta adquisición de datos hacia la PC (computadora).

2.1. Diagrama de bloques

A continuación se detallará en la figura 2.1 la representación del diagrama de bloques del circuito del EEG.

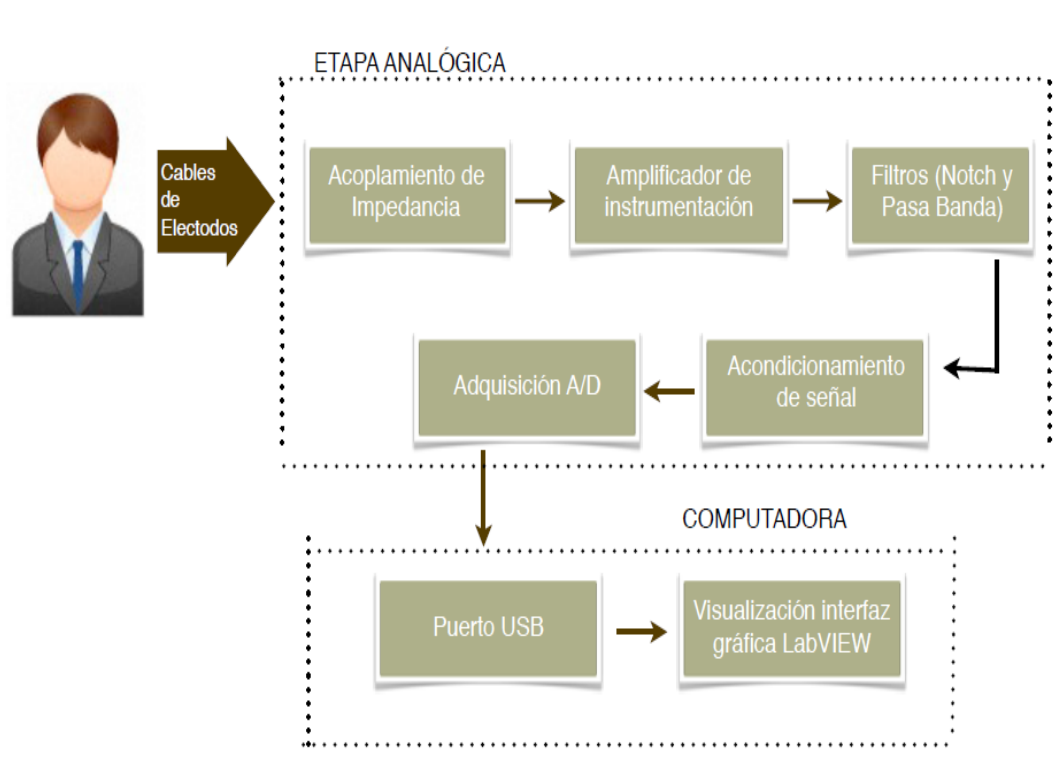


FIGURA 2.1. Diagrama de bloques

Se ha dividido este diagrama de bloques, en 5 etapas para una mejor comprensión de su funcionamiento.

2.1.1. Etapa 1: Mecanismo para incrementar la amplitud de una señal eléctrica

Se utiliza para incrementar la señal eléctrica débil captada por los electrodos. En esta aplicación, se utilizara el amplificador de instrumentación AD620, ya que es el más utilizado en los equipos médicos y trabaja con señales eléctricas muy pequeñas.

En esta etapa amplificaremos señales que se localizan en el rango de 10uV a 100uV que serán captados por 3 electrodos distribuidos en distintas zonas de la corteza cerebral dependiendo de lo que se desee evaluar.

2.1.2. Etapa 2: Mecanismo analógico para eliminar impurezas de una señal eléctrica

En esta etapa se basa en los filtros: NOTCH y Pasa Bandas, cuya función es eliminar las señales de impurezas o contaminantes que puedan presentarse, así como para atenuar la interferencia de la línea de transmisión a 50/60 Hz (Hertz) y fijar un rango de frecuencia de trabajo de 0.5Hz a 30Hz.

2.1.3. Etapa 3: Mecanismo para acondicionar una señal eléctrica

En esta etapa permite llevar la señal eléctrica amplificada de las ondas cerebrales a niveles TTL (Lógica de transistor a transistor, 5 voltios), requisito

necesario para que puedan ingresar a la entrada del canal analógico del micro-controlador PIC 16F887.

2.1.4. Etapa 4: Mecanismo para convertir una señal eléctrica analógica a digital

Mediante el micro-controlador PIC 16F887 se ejecuta la conversión analógico-digital, procedimiento esencial para poder transmitir datos vía comunicación USB (Universal Serial Bus) hacia la PC.

2.1.5. Etapa 5: Mecanismo para convertir voltajes de niveles TTL a estándares PC

Esta conversión de voltajes se la obtiene gracias al dispositivo electrónico USB, que automáticamente al estar conectado con el puerto USB de la PC, transforma el voltaje a estándares PC, para así poder efectuar la comunicación entre el EEG y la PC.

En la PC, mediante el software desarrollado en LabVIEW se efectúa la recepción de los datos, una vez llegado al buffer del puerto USB los discrimina para restaurar las ondas cerebrales.

2.2. Elementos del circuito EEG

A continuación se detallará cada una de las etapas consideradas en el diseño del circuito electroencefalógrafo, con sus respectivos propósitos y especificaciones.

2.2.1. Acoplamiento de impedancias

Para esta etapa de acoplamiento se utilizará un seguidor de voltaje, que permite acoplar la señal eléctrica de entrada proveniente de los electrodos con el circuito EEG; figura 2.2. Esta etapa presenta ganancia unitaria, sin inversión de fase y presenta una impedancia de entrada muy alta [8].

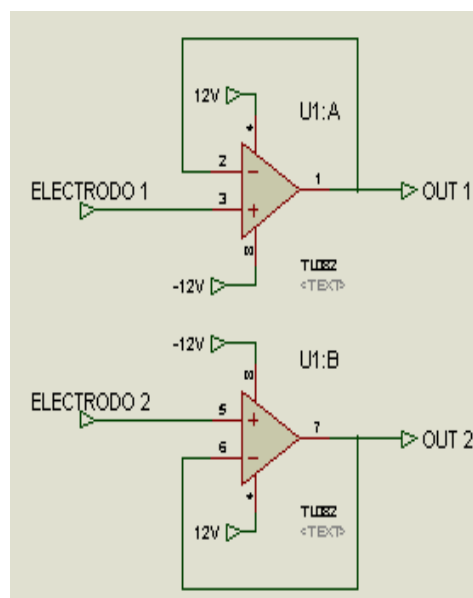


FIGURA 2.2. Acoplamiento de impedancia

2.2.2. Amplificador de instrumentación

Los amplificadores de instrumentación son de los más útiles, precisos y versátiles disponibles en la actualidad. Está diseñado para tener una alta impedancia de entrada y un alto CMRR (rechazo al modo común). Se lo puede construir a base de componentes discretos o se puede encontrar encapsulado, como en este caso que se escogió el amplificador de instrumentación AD620 [9].

Este dispositivo es el más usado en la rama de la electro medicina ya que trabaja con señales muy pequeñas, presenta un bajo nivel de ruido, baja consumo y bajo voltaje. Además, la baja corriente de polarización (bias) y su bajo voltaje de ruido mejoran el rango dinámico para conseguir un buen resultado. El circuito incorpora un aislamiento que protege al paciente de un posible daño [9].

A continuación se muestra el amplificador de instrumentación AD620 en la figura 2.3.

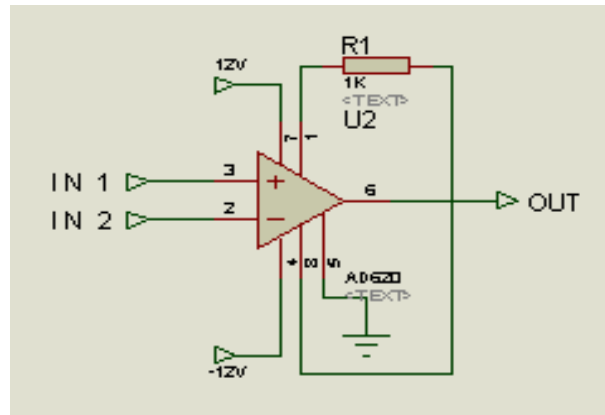


FIGURA 2.3. Amplificador de instrumentación AD620

La operación que realiza el amplificador AD620 es la resta de sus dos entradas multiplicada por un factor de ganancia.

Para calcular la ganancia del amplificador y tomando los valores de las resistencias internas del integrado obtenemos la siguiente fórmula:

$$A_v = \frac{R_3}{R_2} \left(1 + \frac{2 * R_1}{R_g} \right) \quad (2.1)$$

Donde:

$$R_1 = 24.7\Omega \quad R_3 = R_2 = 10K\Omega$$

Reemplazando los valores:

$$A_v = \frac{10K\Omega}{10K\Omega} \left(1 + \frac{2 * 24.7K\Omega}{R_g} \right)$$

$$A_v = \left(1 + \frac{49.4K\Omega}{R_g} \right)$$

Por lo tanto el valor de la resistencia R_g se calcula:

$$R_g = \left(\frac{49.4K\Omega}{A_v - 1} \right)$$

La ganancia del AD620 que se fijará es de 50 veces el valor de entrada, por lo tanto el valor que nos dará la resistencia es de $1.008k\Omega$ cuyo valor comercial aproximado es de $1K\Omega$.

$$R_g = \left(\frac{49.4K\Omega}{50 - 1} \right)$$

$$R_g = \left(\frac{49.4K\Omega}{49} \right)$$

$$R_g = 1.008K\Omega \approx 1K\Omega$$

Ahora se calcula el CMRR, y se muestra que el resultado tiende al infinito; sin embargo, tiene un CMRR mayor a 100dB, lo que es una propiedad de este amplificador ya que evita que se introduzcan señales de modo común [10].

$$CMRR = 20 \log_{10} \left(\frac{A_d}{A_s} \right) \quad (2.2)$$

$$CMRR = 20 \log_{10} \left(\frac{50}{0} \right)$$

$$CMRR = 20 \log_{10}(\infty) = \infty$$

2.2.3. Filtro NOTCH

El filtro NOTCH mostrado en la figura 2.4 se usa para eliminar las interferencias producidas por la línea de potencia, ruido proveniente de lámparas fluorescentes y otros dispositivos que se encuentran en un ambiente clínico que generan un ruido de 60Hz. El filtro NOTCH rechaza el ruido de 60Hz para presentar en la salida una señal libre de distorsiones.

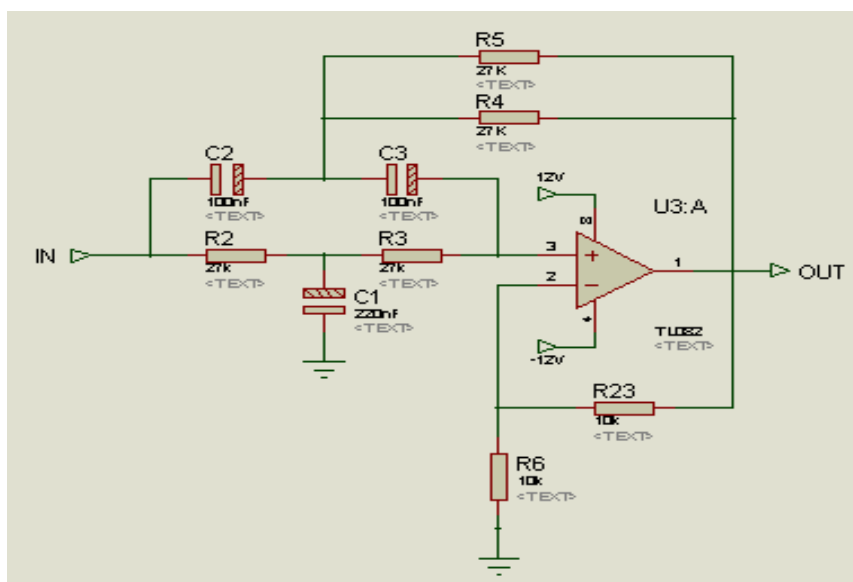


FIGURA 2.4. Filtro NOTCH

La frecuencia de corte del filtro NOTCH se la calcula con la siguiente ecuación:

$$f_z = \frac{1}{2\pi R_2 C} \quad (2.3)$$

Donde $R = R_2 = R_3$, $C = C_1 = C_2$ y $C_3 = 2C$.

Se necesita el valor de C y la frecuencia a eliminar f_z para el diseño de este filtro. La fórmula a utilizar es la siguiente:

$$R = \frac{1}{2\pi f_z C} \quad (2.4)$$

Para hallar el valor de K mediante la ecuación (2.5), se elije el valor Q (factor de calidad).

$$K = 1 - \frac{1}{4Q} \quad (2.5)$$

El mejor resultado en el circuito se obtuvo con los siguientes valores: $C = 100\text{nF}$, $Q = 10$, $R_4 = 10\text{K}\Omega$. Con estos valores podemos hallar las resistencias del filtro usando las ecuaciones (2.3), (2.4) y (2.5) obteniendo:

$$R = \frac{1}{2\pi f_z C} = \frac{1}{2\pi * 60 * 100\text{nF}}$$

$$R = 26.52\text{K}\Omega \approx 27\text{K}\Omega$$

$$K = 1 - \frac{1}{4Q} = 1 - \frac{1}{4 * 10}$$

$$K = 0.975$$

$$R_{23} = kR_{24} = 0.975 * 10\text{K}\Omega$$

$$R_{23} = 0.975\text{K}\Omega = 10\text{K}\Omega$$

$$\frac{R}{2} = \frac{27\text{K}\Omega}{2}$$

$$R = 13.5\text{K}\Omega$$

2.2.4. Filtro Pasa-Banda

Este filtro es útil para obtener una señal libre de ruido que permitirá captar únicamente las señales en el ancho de banda requerido. Para un diagnóstico clínico en este caso operan en el rango de 0.5 Hz a 30 Hz, rango de frecuencia en las que se encuentran las ondas cerebrales en estado de alerta y sueño.

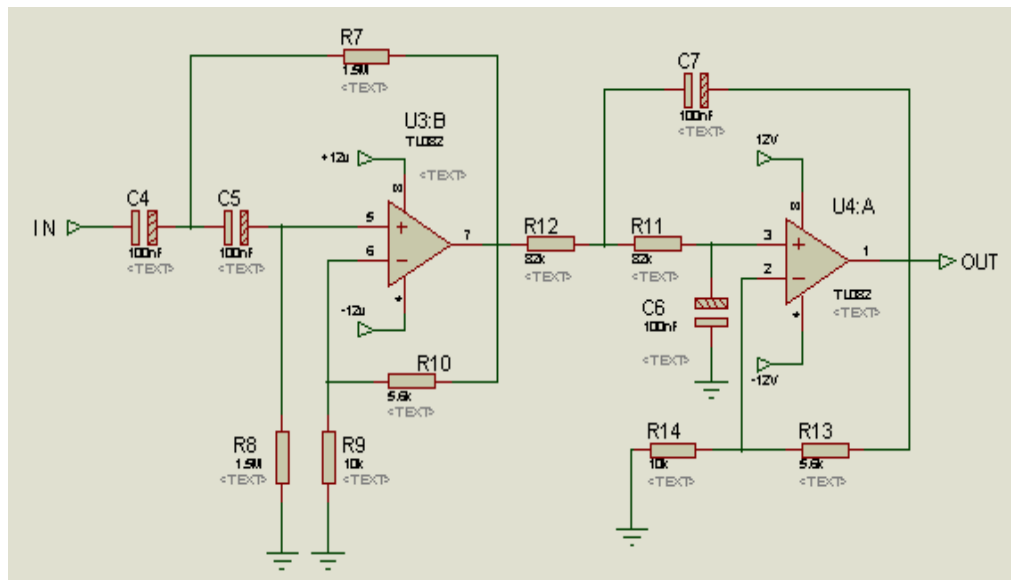


FIGURA 2.5. Filtro Pasa-Banda

Butterworth permite realizar filtros pasa banda, lo único que se tiene que hacer es colocar en serie un filtro pasa alto seguido de un filtro pasa bajo, cada filtro se calcula como si fuera un filtro individual [8].

El valor de la frecuencia de corte está determinado por la ecuación (2.6) para el filtro pasa-alto y la ecuación (2.7) para el filtro pasa-bajo.

$$f_l = \frac{1}{2\pi RC} \quad (2.6)$$

$$f_h = \frac{1}{2\pi RC} \quad (2.7)$$

La ganancia del circuito para el filtro pasa-alto está determinada por la ecuación (2.8) y para el filtro pasa-bajo por la ecuación (2.9).

$$A_v = 1 + \frac{R_{10}}{R_7} \quad (2.8)$$

$$A_v = 1 + \frac{R_{13}}{R_{14}} \quad (2.9)$$

Se escoge los valores para el filtro pasa-alto que son de 1Hz, 100nF y 1.56 para la frecuencia de corte, capacitores y ganancia (A_v) respectivamente; además, para facilitar los cálculos y la elección de los componentes se puede hacer $C_4 = C_5 = C$.

Se aplica la ecuación (2.6) obtenemos el valor de:

$$R = R_7 = R_8 = \frac{1}{2\pi f_c C} = \frac{1}{2\pi * 1 * 100\text{nF}}$$

$$R = 1.58\text{M}\Omega$$

Y mediante la ecuación de ganancia (2.8) se determina el valor de R10.

$$A_v = 1 + \frac{R_{10}}{R_7}$$

$$1.56 = 1 + \frac{R_{10}}{10\text{k}\Omega}$$

$$R_{10} = 5.6\text{k}\Omega$$

Se escoge los valores para el filtro pasa-bajo que son de 30Hz, 100nF y 1.56 para la frecuencia de corte, capacitores y ganancia (A_v) respectivamente; además, para facilitar los cálculos consideramos $C_7 = C_6 = C$ y $R_{11} = R_{12} = R$.

Aplicando la ecuación (2.7) obtenemos el valor de:

$$R = R_{11} = R_{12} = \frac{1}{2\pi f_h C} = \frac{1}{2\pi * 30 * 100\text{nF}}$$

$$R = 51\text{k}\Omega$$

Y mediante la ecuación de ganancia (2.9) se determina el valor de R_{13} .

$$A_v = 1 + \frac{R_{13}}{R_{14}}$$

$$1.56 = 1 + \frac{R_{13}}{10\text{k}\Omega}$$

$$R_{13} = 5.6\text{k}\Omega$$

2.2.5. Amplificador de voltaje fijo

Para esta etapa se utiliza un amplificador no-inversor, ya como su nombre lo indica amplifica la señal y estará en fase con respecto a la entrada [8].

El objetivo de esta etapa es conseguir una amplificación cercana a 103 veces la señal de entrada del sistema.

La figura 2.6 nos muestra el amplificador de voltaje fijo.

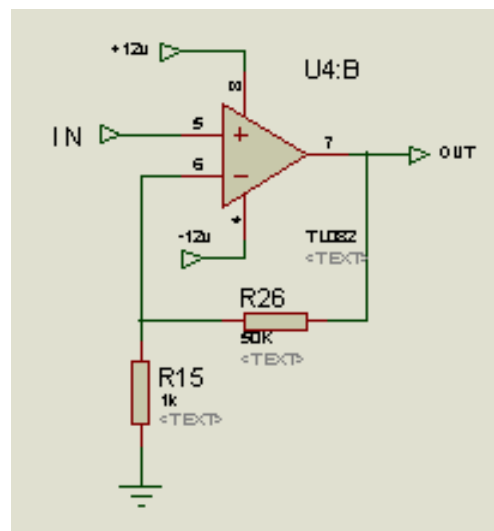


FIGURA 2.6. Amplificador de voltaje fijo

Donde la ecuación de la ganancia viene dada por la siguiente ecuación (2.10):

$$A_v = 1 + \frac{R_{26}}{R_{15}} \quad (2.10)$$

Fijando R_{15} en $1\text{k}\Omega$ para poder hallar R_{26} ya que deseamos una ganancia de 50; Reemplazamos los valores en la ecuación (2.10):

$$50 = 1 + \frac{R_{26}}{1\text{k}\Omega}$$

$$R_{26} = 49\text{k}\Omega$$

Así se obtiene el valor de R_{26} para una ganancia de 50.

2.2.6. Acondicionamiento de señales

En esta etapa, la señal amplificada se la dejará dentro de un nivel DC (corriente continua) entre 0 y 5 voltios, para luego ser enviada a la etapa de procesamiento de la señal, para lo cual se utilizan diferentes configuraciones de OPAMP (amplificador operacional). Se ha utilizado dos seguidores de voltaje, cuyas señales serán enviadas a un sumador inversor y luego a un amplificador inversor de ganancia unitaria.

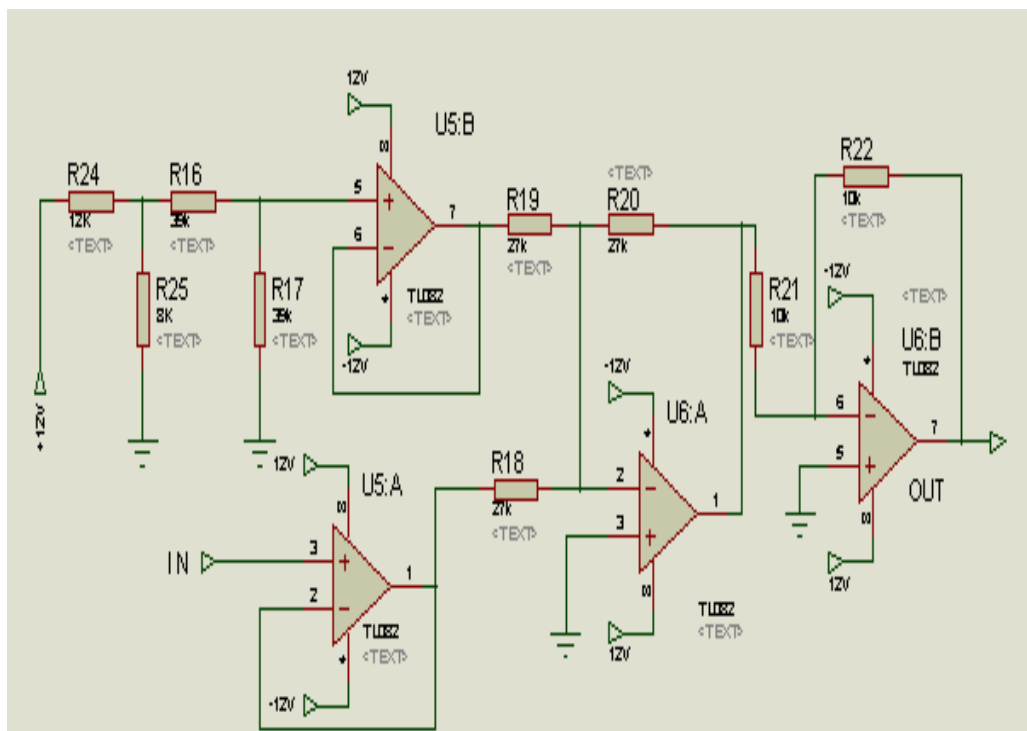


FIGURA 2.7. Acondicionamiento de señales

Con el diseño de cada una de las etapas explicadas, se procedió a realizar el circuito completo del EEG, para luego seguir con la etapa de adquisición de datos por medio del software.

2.2.7. Conversión analógico-digital por medio del micro-controlador 16F887

En esta etapa se usa el micro-controlador PIC 16F887, ya que presenta internamente la conversión de una señal analógica a una representación binaria de 10 bits, mediante el cual se lo utiliza para digitalizar la señal analógica obtenida de las ondas cerebrales [11].

El proceso de digitalización consta de varios pasos: muestreo, retención, cuantificación y codificación. A continuación se detallará cada uno de estos procesos.

- **Muestreo:** es la etapa en la que se toman muestras de la señal analógica proveniente del circuito del EEG, la velocidad de muestreo o también llamado frecuencia de muestreo, depende de un reloj interno del micro controlador y debe ser lo suficientemente alto como para poder reconstruir la señal [11].
- **Retención:** se encarga de conservar el valor de la muestra el tiempo necesario para que pueda ser procesado.
- **Cuantificación:** consiste en medir el valor del voltaje recibido y asignarle un único valor de salida.
- **Codificación:** traduce el valor cuantificado a un valor binario.

Una vez obtenidos los datos digital de la señal del EEG, se deben enviar los datos a la PC, este proceso lo realiza el módulo electrónico USB que se encarga de recibir la señal digitaliza y enviarla hacia el puerto USB del la PC;

Internamente el dispositivo convierte el voltaje TTL recibido del micro-controlador a voltajes estándares de la PC, para luego ser procesada por el software seleccionado para la visualización de las ondas cerebrales.

2.3. Elección, adquisición y visualización de las ondas cerebrales por medio de LabVIEW

Para esta etapa se selecciona la plataforma de LabVIEW, ya que presenta en sus herramientas un puerto llamado NI VISA, el cual permite configurar el puerto serial de la PC.

Para la visualización y adquisición de la señal EEG se debió realizar una serie de procedimientos, los que se detalla a continuación:

Se selecciona el bloque VISA serial para poder configurar las entradas, como lo son el **Enable termination Char** que prepara el dispositivo para reconocer caracteres de terminación, si el verdadero (por defecto) reconoce el carácter de terminación y si es falso establece 0 por lo tanto no reconoce el carácter de terminación.

Termination Char: es aquel que permite la operación de lectura de los caracteres.

Visa resource name: Especifica el recurso a ser abierto; es decir, el puerto COM que se va a utilizar en la transmisión, este puerto es designado por la PC y se lo puede visualizar mediante el administrador de dispositivos del panel de control de Windows.

Baud rate: es la tasa de transferencia debe ser igual a la del micro controlador por default es de 9600 [bps].

Data bits: es el número de bits de los datos entrantes, el valor predeterminado es de 8.

Parity: especifica la paridad se seleccionó el valor de 0 para ser transmitido o recibido.

Flow Control: presenta una paridad de 0 y va a tener un bit de parada, el cual indica el término de transmisión de una trama.

Stop bits: especifica el número de bits de parada utilizados para indicar el final de una trama.

La configuración de estos parámetros mencionados se muestra en la figura 2.8.

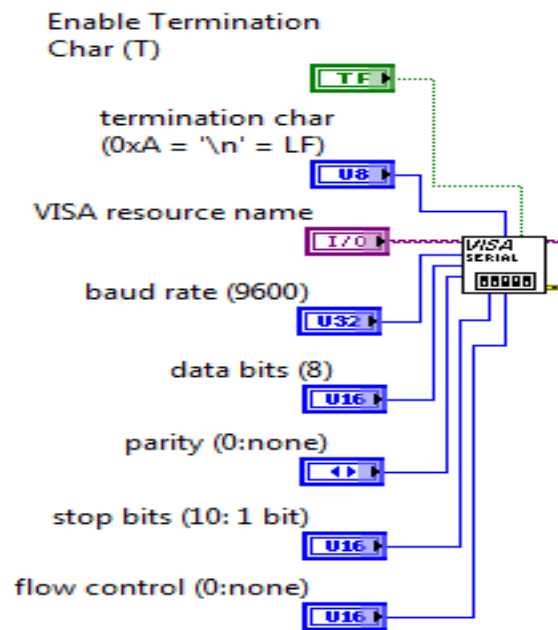


FIGURA 2.8. Puerto de configuración serial VISA

Ahora se procederá a leer los datos enviados por la configuración del serial de VISA para ello se utiliza VISA READ figura 2.9, el cual lee el puerto y retorna una cadena de texto con el dato leído.

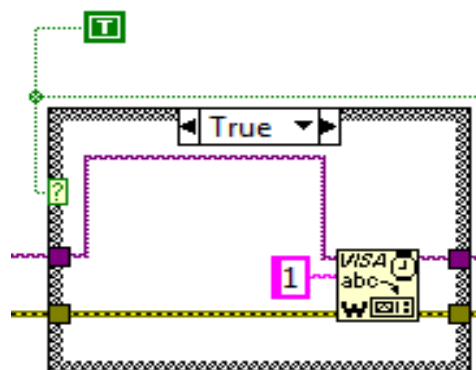


FIGURA 2.9. Bloque VISA read

A continuación en la figura 2.10 se muestran los bloques que sirven para escoger los bits que son enviados por el micro-controlador que son dos bytes, el primero es un byte de inicio cualquiera, que es validado antes que llegue y el segundo es el dato obtenido del muestreo de la señal del EEG, para así obtener la conversión digital a analógico y poder mostrarlo por el analizador de señal.

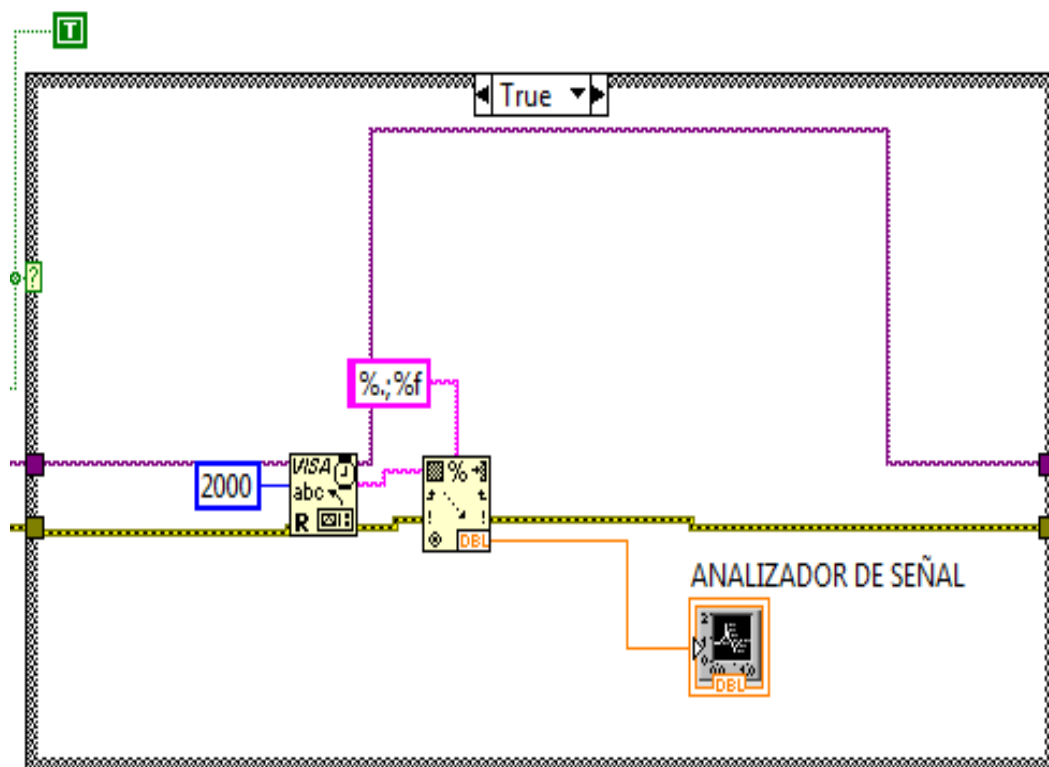


FIGURA 2.10. Recepción serial y conversión digital-analógica

Por último, se coloca un bloque llamado VISA CLOSE figura 2.11, el cual permite cerrar la comunicación mediante un pulsador agregado STOP; este bloque libera el puerto COM escogido por la PC.

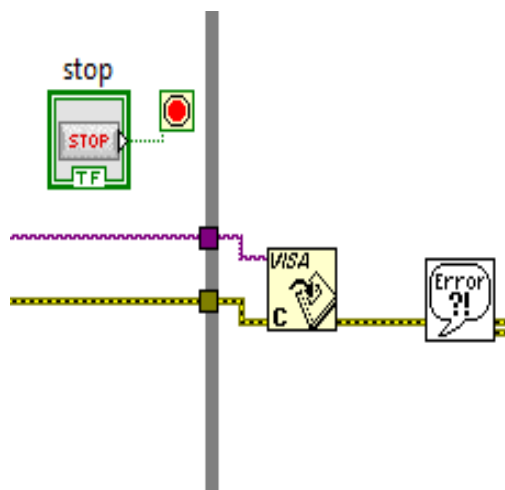


FIGURA 2.11. Bloque de parada

CAPÍTULO 3

IMPLEMENTACIÓN DEL ELECTROENCEFALÓGRAFO

En este capítulo se enfocará en el armado general del electroencefalógrafo, desde la correcta colocación de los electrodos en el cuero cabelludo, hasta la visualización de la onda cerebral en la PC.

También se muestra las tarjetas electrónicas impresas ya finalizadas e implementadas con sus respectivos elementos para finalmente presentar el equipo armado en su totalidad.

3.1. Posicionamiento de los electrodos

Existen varios tipos de electrodos como son los electrodos superficiales y basales; ya mencionados en el capítulo 1.

El sistema de colocación de electrodos Diez-Veinte es el más utilizado en la actualidad, a continuación se muestra el procedimiento a seguir [12].

En la figura 3.1 se muestra tres términos que son la nasion, vertex y inion que serán la referencia para la colocación de los electrodos. También se presenta todos los puntos que se pueden colocar los electrodos, cada uno tiene una función específica dependiendo de lo que se desee analizar [12].

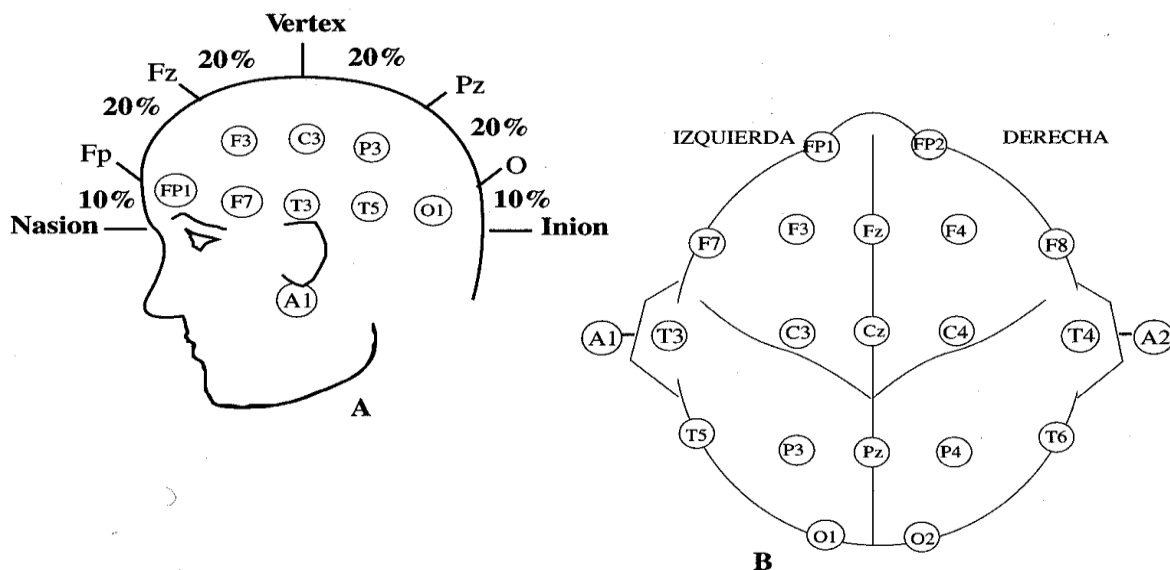


FIGURA 3.1. A. Vista de perfil. B. Vista superior. Ubicación de los electrodos

Fuente: <http://www.bioingenieria.edu.ar/academica/catedras/bioingenieria2/archivos/apuntes/electroencefalografia.pdf>

Cabe recalcar que cada electrodo es un punto de registro, en el caso del proyecto se utiliza 3 electrodos en la cual uno es de referencia y los otros dos captaran la señal.

Los electrodos están ubicados mediante la figura 3.1 en los puntos F7, Fz y F8 siendo el Fz nuestra referencia a tierra.

Una vez definido el posicionamiento de los electrodos, hay que tener en cuenta las siguientes precauciones para obtener una excelente señal sin ruido [13]:

- El individuo debe tener bien limpia el área donde se le van a colocar los electrodos; esta limpieza se la realiza con gasas, con alcohol para eliminar impurezas. Se le recomienda al paciente no tener en su cabello gel ni fijadores.
- Es importante poner en los electrodos la pasta ten 20 figura 3.2 ya que es una pasta conductora que permite adherir los electrodos al cuero cabelludo, además realiza un correcto acople de impedancia, entre la piel y el electrodo para así tener una buena adquisición de las onda EEG.



FIGURA 3.2. Pasta conductora Ten 20

Fuente: <http://mlm-s2-p.mlstatic.com/pasta-conductiva-para-eeeg-y-para-emg-ten-20-.jpg>

A continuación se presenta una tabla donde se indica todo lo utilizado para un EEG y su función.

Tabla 3.1. Materiales necesarios para realizar un EEG

Materiales Necesarios para realizar un EEG	
Material	Función
Gasa	Limpieza de la piel
Alcohol	Limpieza de la piel
Pasta conductor Ten-20	Realiza un correcto acople de impedancia entre la piel y los electrodos.
Electrodos	Reciben la señal bioeléctrica del cerebro

3.2. Alimentación del equipo

Para el circuito EEG en la etapa de alimentación, se utilizó una fuente dual de +12V y -12V figura 3.3, se seleccionó los valores adecuados de capacitores para obtener los valores indicados.

También el módulo electrónico USB figura 3.4 que transforma el voltaje de +12V y -12V a niveles TTL; es decir, de 5V a 0V para la alimentación del micro-controlador.

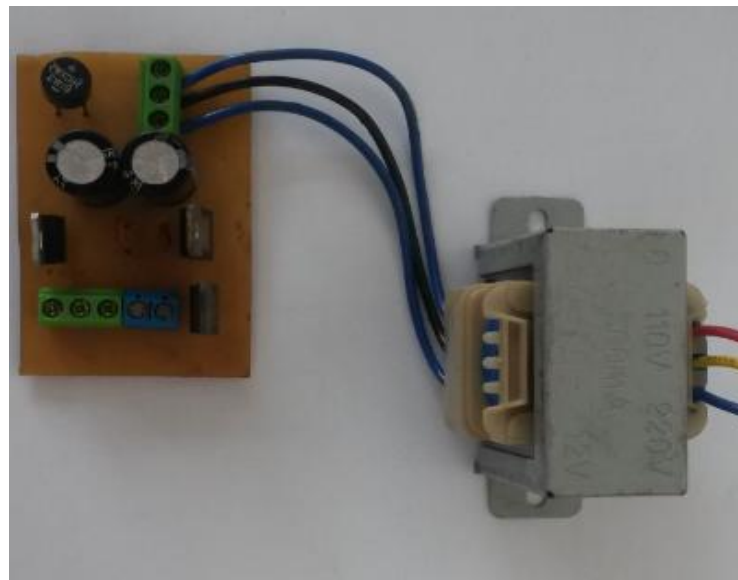


FIGURA 3.3. Fuente dual +/- 12Voltios

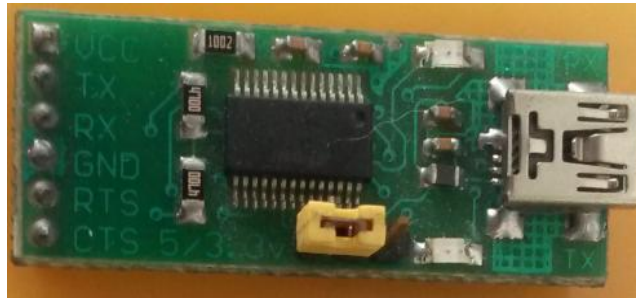


FIGURA 3.4. Módulo electrónico USB

3.3. Circuito impreso del electroencefalógrafo

A continuación se muestra el circuito impreso del electroencefalógrafo, figura 3.5, que obtiene la señal analógica del EEG y el circuito que convierte de analógico a digital con su respectivo integrado USB figura 3.6.

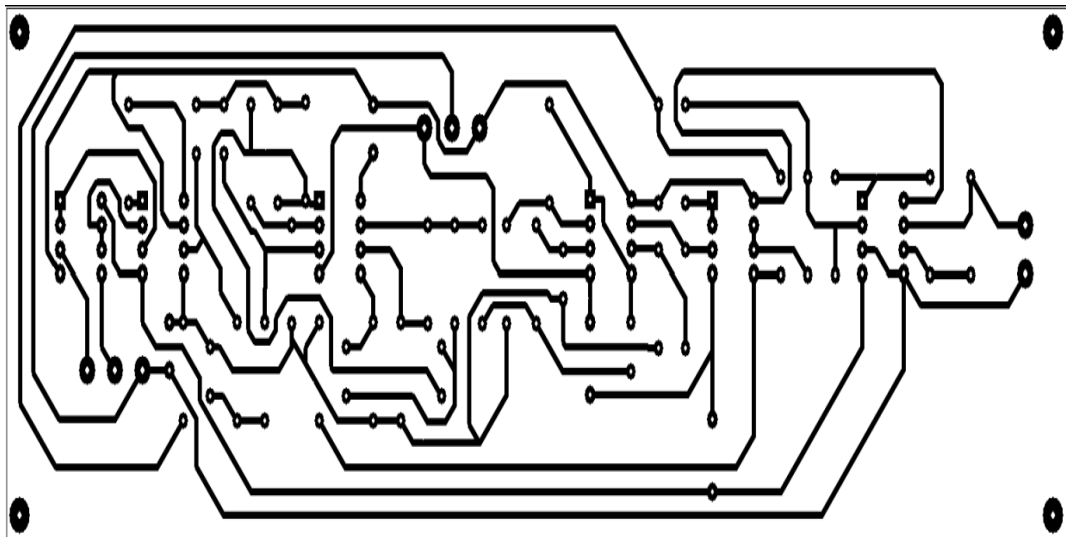


FIGURA 3.5. Circuito impreso EEG

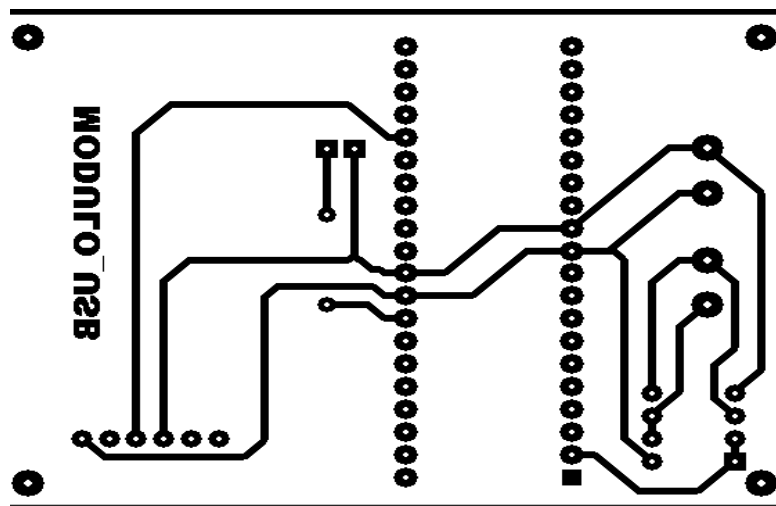


FIGURA 3.6. Circuito impreso módulo USB

3.4. Tarjeta electrónica del electroencefalógrafo

A continuación se muestra la tarjeta del circuito electroencefalógrafo en la figura 3.7 y la tarjeta del circuito convertidor análogo digital con su respectivo módulo USB figura 3.8.

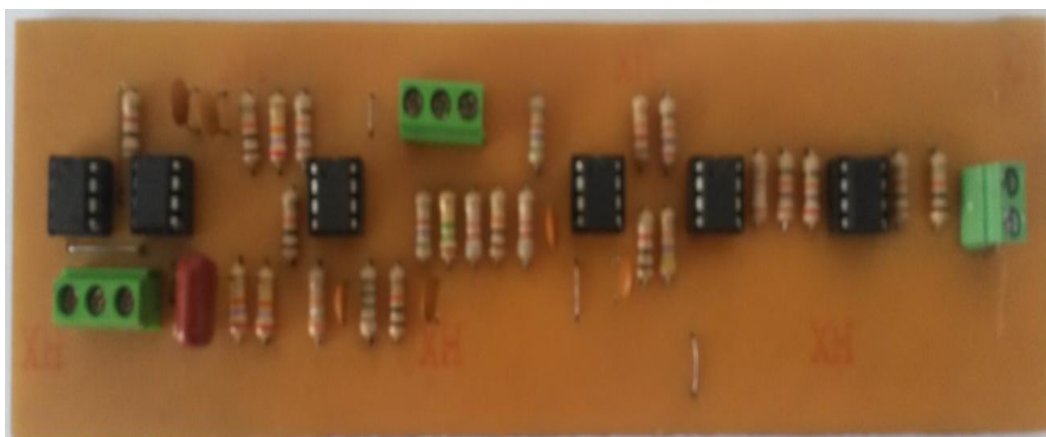


FIGURA 3.7. Circuito EEG

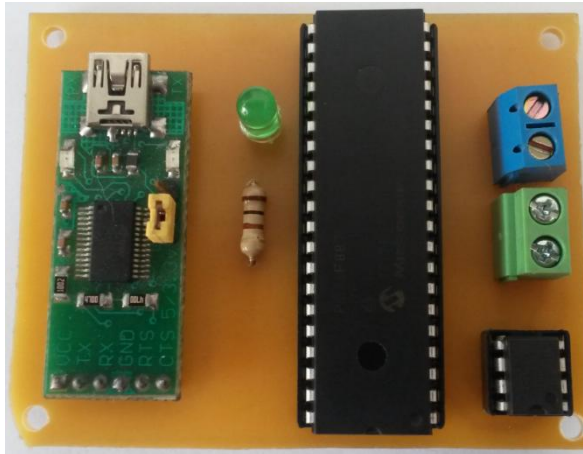


FIGURA 3.8. Circuito convertidor análogo - digital

3.5. Equipo completo del electroencefalógrafo

A continuación se muestra en la figura 3.9 el equipo completo del electroencefalógrafo; es decir, el circuito completo conectado desde los electrodos en el cuero cabelludo hasta la visualización en la PC.

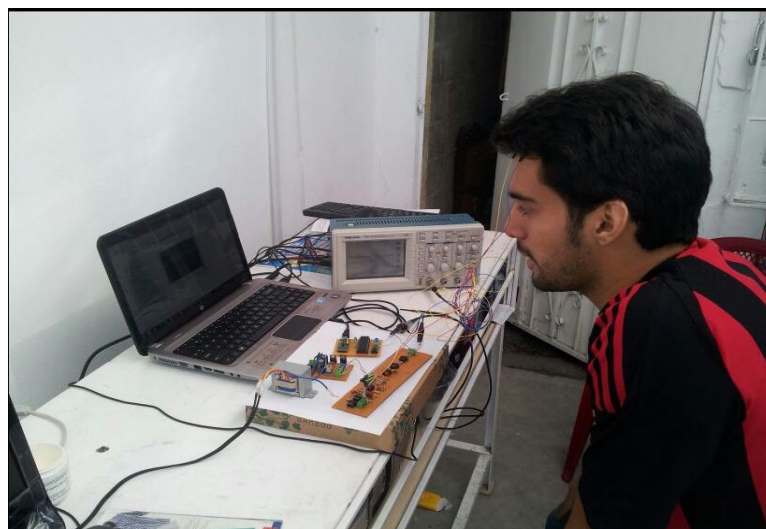


FIGURA 3.9. Circuito completo del EEG

CAPÍTULO 4

RESULTADOS Y GRÁFICAS

En este capítulo se muestra los resultados obtenidos, tanto la onda analógica mostrada en un osciloscopio, como la onda digitalizada mostrada en el software desarrollado en LabVIEW.

También se muestra unas tablas con los valores experimentales que es obtuvieron en algunas etapas.

4.1. Señal EEG en un osciloscopio

En la figura 4.1, se muestra la señal obtenida en el osciloscopio, cabe recalcar que esta señal es analógica de amplitud muy pequeña en el orden de los micro voltios o mili voltios; es por esta razón paso por varias etapas de amplitud para finalmente pueda mostrarse en un osciloscopio cualquiera.

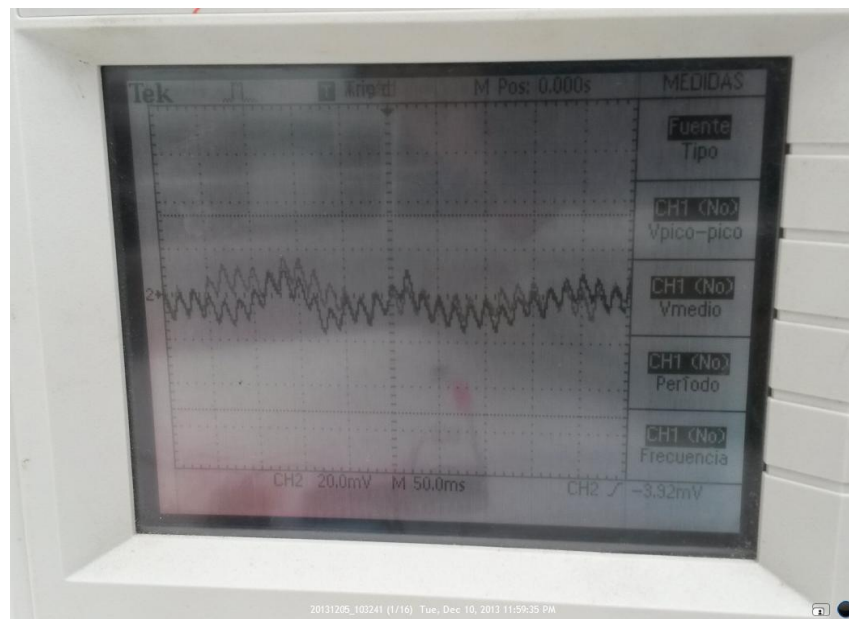


FIGURA 4.1. Señal del osciloscopio

4.2. Señal captada mediante LabVIEW

En la figura 4.2, se muestra la señal obtenida en el software desarrollado LabVIEW, comparando con la señal en el osciloscopio es de similares características y conserva los mismos parámetros.

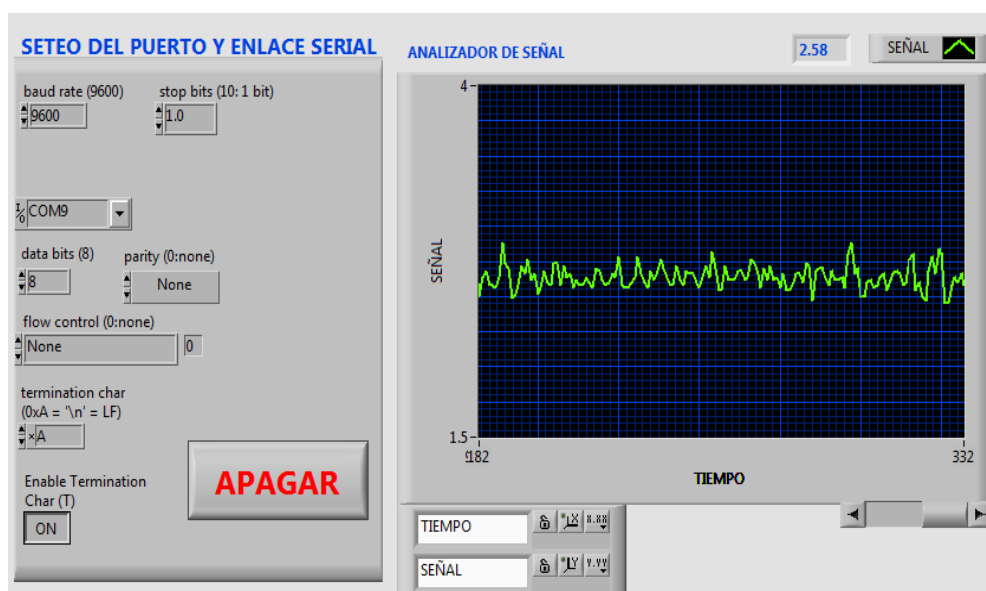


FIGURA 4.2 Señal en LabVIEW

4.3. Resultados Experimentales

Durante el proceso de desarrollo del proyecto se realizaron varias pruebas dando resultados satisfactorios tanto en el software como en la parte analógica, se comprobó un buen análisis de los datos y una correcta visualización de las señales.

A continuación se muestran algunas tablas con los datos que se obtuvieron en algunas de las etapas circuito como su resultado final.

Tabla 4.1. Datos experimentales del filtro pasa-banda

Tipo de filtro	Pasa-banda
Frecuencia baja	1..15Hz
Frecuencia alta	37 Hz
Orden	2
Ganancia	1.86

Tabla 4.2. Datos experimentales del filtro NOTCH

Tipo de filtro	NOTCH
Frecuencia central	60 Hz

Tabla 4.3. Datos experimentales del amplificador de instrumentación

Amplificador	Instrumentación
Ganancia	52

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las conclusiones que se obtuvieron se las menciona a continuación:

1. Al analizar los tipos de ondas cerebrales, se pudo observar que por lo general se forma la onda beta, ya que el individuo está en estado alerta o de vigilia casi la mayor parte del tiempo, pero al evaluar al mismo individuo presentando sueño, la onda cerebral formada fue la alfa, por lo se concluye que dependiendo el estado de relajación en que se encuentre el individuo, variarán la formas de ondas cerebrales.
2. Se pudo obtener la onda cerebral lo suficientemente ampliada y filtrada, gracias a la ayuda de los filtros, acople de impedancia, amplificador de instrumentación y la conversión análoga-digital, pero cabe recalcar que la parte fundamental son los electrodos, ya que un buen contacto con el cuero cabelludo dará una excelente onda cerebral.
3. El amplificador de instrumentación AD620 es de mucha ayuda para la realización del proyecto, ya que presenta un alto rechazo del modo

común y con tan solo un valor de resistencia, se puede obtener grandes ganancias de voltajes que permiten ampliar las ondas cerebrales que se encuentran en el rango de 10 a 100 micro voltios, y por esta razón es el amplificador más usado en los equipos médicos.

4. El micro controlador, PIC 16F887, la parte esencial en el desarrollo del proyecto, ya que se requiere una de sus funciones que es tomar la señal analógica del EEG, para luego transformarla a datos digitales, los cuales son necesarios para comunicarse con la PC; y mediante el software desarrollado en LabVIEW, se puede observar el resultado final de la onda EEG en la PC.
5. El filtro NOTCH juega un papel importantísimo en el diseño del EEG ya que se encarga de eliminar los ruidos presentados en el medio al momento de la medición evitando la saturación de los amplificadores operacionales y la alteración de la frecuencia en que se encuentran las ondas cerebrales, que conjuntamente con el filtro pasa-banda ayudan a fijar el rango en el que se encuentran operando.
6. Analizar la señal EEG en el software desarrollado en LabVIEW es de gran ayuda, ya que el programa contiene herramientas excelentes

para todo tipo de comunicación, en especial del bloque NI VISA que ayuda en la comunicación serial a través de los puertos USB. Se podría incluso mejorar el mismo proyecto instalando dispositivos inalámbricos en la salida del micro-controlador, y en la entrada del modelo electrónico USB, para poder establecer una conexión de mediana distancia y así poder visualizar la señal EEG.

Las recomendaciones al momento de hacer el diseño y pruebas son las siguientes:

1. Se recomienda hacer una limpieza en el cuero cabelludo con alcohol y gasas, para que este se encuentre libre de impurezas y así colocar los electrodos con la pasta ten 20, que nos permitirá minimizar el ruido transitorio causado por las pérdidas de contacto entre la piel y los electrodos.
2. Es prescindible cerciorarse que los electrodos a usarse sean de la misma clase y material; es decir, que sean todos de oro o de plata, ya que de lo contrario se medirán voltajes erróneos a diferentes frecuencias, haciendo que las ondas cerebrales se distorsionen.

3. Se recomienda utilizar siempre una tierra para el individuo; es por esto que se utiliza un tercer electrodo y su función será de proteger al individuo de cualquier fuga de corriente o corriente de cortocircuito, ya que al estar conectado entre dos potenciales eléctricos, va a pasar una corriente a través del individuo. Ese electrodo será la referencia en el sistema y se ubica en la parte central de la frente.

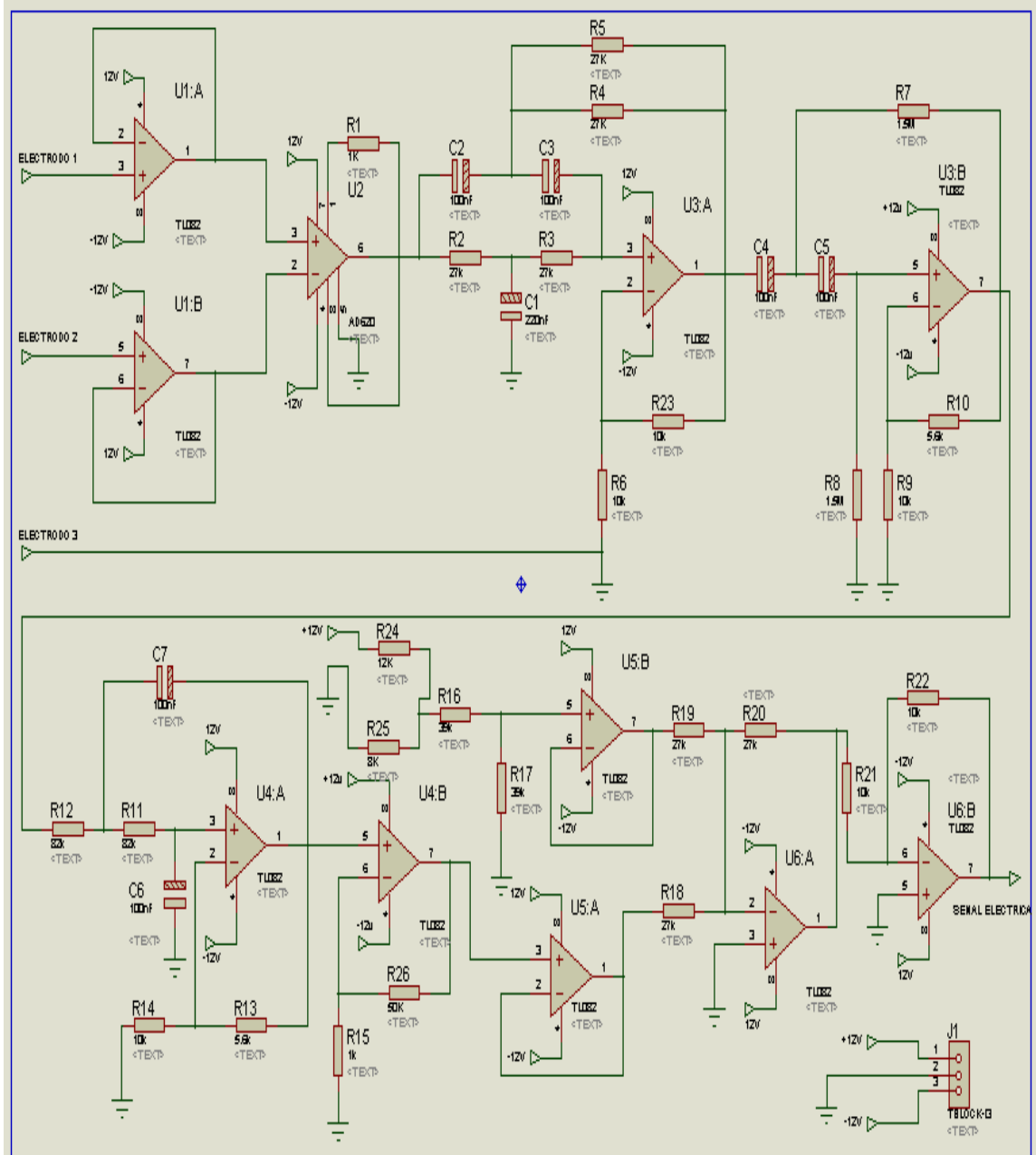
4. Se recomienda al momento de diseñar los filtros ser lo más preciso posible, para que de esta manera, no haya demasiado ruido al momento de querer mostrar las ondas cerebrales, ya sea en el osciloscopio o en la PC.

5. Se recomienda el uso del amplificador de instrumentación AD620, para la adquisición de las ondas cerebrales ya está diseñado para uso biomédico y es muy práctico en su uso. No es recomendable construir un amplificador de instrumentación a través de OPAMP, ya que para poder cumplir con la norma establecida se necesitaría de resistencias de precisión y un timmer para la calibración del CMRR.

ANEXOS

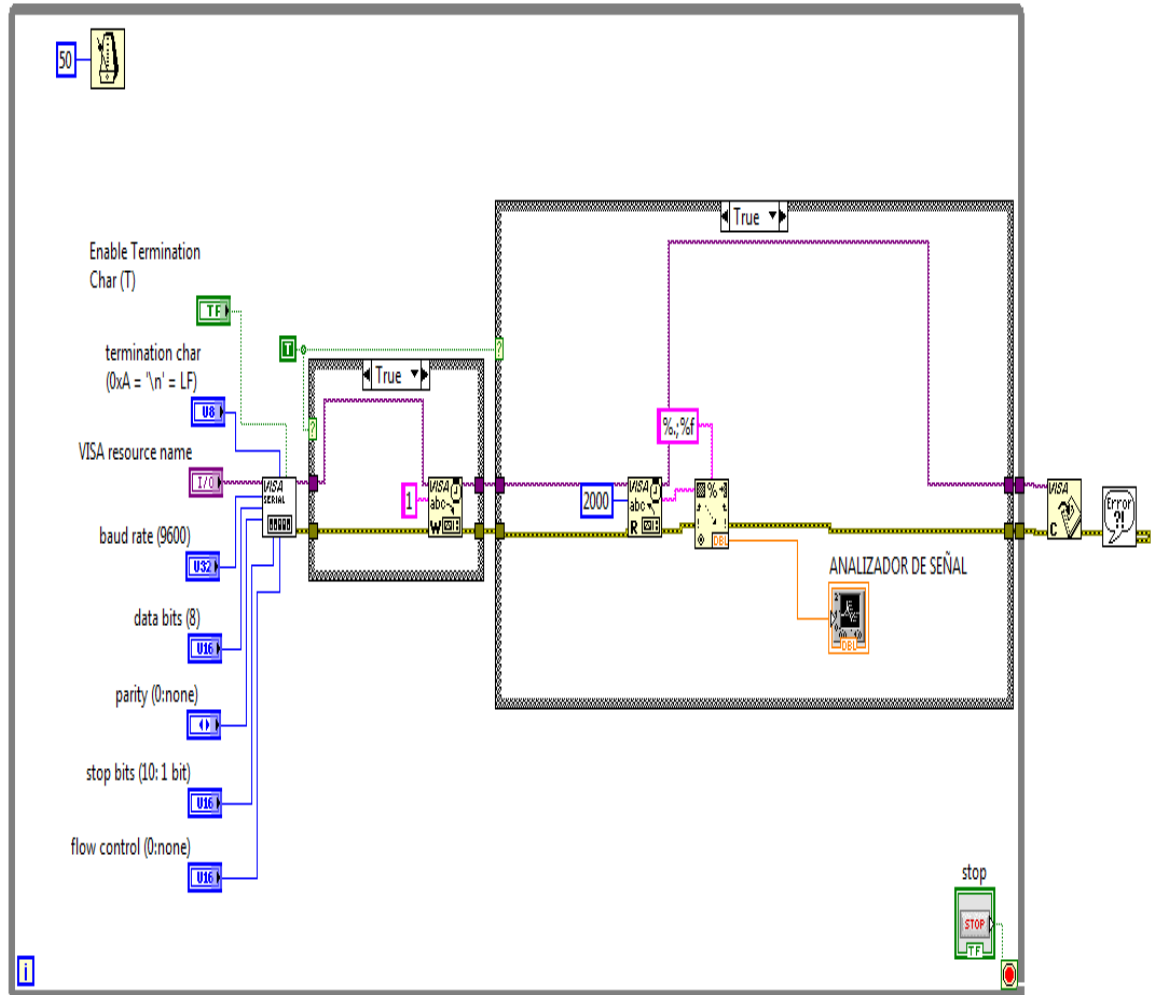
ANEXO A

CIRCUITO EEG AMPLIADO



ANEXO B

DIAGRAMA DE BLOQUES EN LABVIEW



ANEXO C

CÓDIGO PIC DEL MICRO-CONTROLADOR

```
#include <sign232.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>

int8 value;
float conversion;
#int_RDA
void RDA_isr(void)
{

}

void main()
{
    setup_adc_ports(sAN0|VSS_VDD);
    setup_adc(ADC_CLOCK_INTERNAL);
    setup_comparator(NC_NC_NC_NC); // This device COMP currently not
supported by the PICWizard
    enable_interrupts(INT_RDA);
    enable_interrupts(GLOBAL);
    setup_oscillator(OSC_8MHZ);

    while(TRUE)
    {
        SET_ADC_CHANNEL(0);
        value=read_adc();
        conversion= value*5.0/255;
        delay_us(10);
        printf("%f\n",conversion);
        delay_ms(50);
    }
}
```

BIBLIOGRAFÍA

[1] Marlon Igor Martinez B, Guillermo Trout G, “Conceptos básicos de la electroencefalografía”, Universidad de Magdalena, volumen 3 numero 1, 2006.

[2] Brainware Laboratories, “Tipos de onda cerebrales”. Fuente:
<http://brainwavelaboratories.com>

[3] Journal of Clinical Neurophysiology, volumen 9, number 6, Raven Press 1992.

[4] Gartner P. Leslie, Hiart L. James, “Texto Atlas de Histología”, Mc Graw Hill, segunda edición.

[5] Robert J. Brady. “Sistema nervioso”. Editorial Limusa quinta edición Mexico 1991.

[6] Rafael Navarro “Instrumentación Biomédica” Departamento Electrónica. Universidad Alcala.

[7] Centro Médico Madre María de San José “Encefalograma” Laboratorio de Encefalografía.

http://www.centromedicomadremariadesanjose.com/sid_encefalograma.html

[8] Robert F. Coughlin, Frederick F. Driscoll. "Amplificadores operacionales y circuitos integrados lineales" México: Prentice-Hall Hispanoamerica, S.A, cuarta edición.

[9] Hoja de datos del AD620 ANALOG DEVICES.

[10] Adel S. Sedra y C. Smith "Circuitos microelectrónicos".

[11] Microchip Technology Inc. "Microchip PIC16F887/882/884/886/887 Data Sheet" USA: Microchip Technology 2009.

[12] Franco Sergio, "Diseño con amplificadores operacionales y circuitos integrados analógicos"

[10] Centro Clinico Warren, "Procedimientos y Pruebas diagnosticas", Instituto nacional de salud, 2000.

[12] Irving Cifuentes G, "Diseño y construcción de un sistema para la detención del electroencefalograma" Universidad de Merida, Yucatan, 2010.