

ELABORACION DE UN PROTOTIPO DE EQUIPO PARA NEUROTERAPIA

YARY DAVID IBARRA

JOHNNY WALTER TOVAR

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA ELECTRONICA
SAN JUAN DE PASTO
2008

ELABORACION DE UN PROTOTIPO DE EQUIPO PARA NEUROTERAPIA

YARY DAVID IBARRA

JOHNNY WALTER TOVAR

Trabajo de Grado presentado como requisito parcial para optar por el título de Ingeniero
Electrónico

Director:

JAIME ORLANDO RUIZ PAZOS

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA ELECTRONICA
SAN JUAN DE PASTO
2008

“Las ideas y conclusiones aportadas en la tesis de grado, son responsabilidad exclusiva de los autores”

Artículo 1°. Acuerdo No. 324 de octubre 11 de 1966, emanado del Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Fecha: 4 de Noviembre de 2008

Nota de aceptación

AGRADECIMIENTOS

Al Ingeniero Jaime Ruiz, por su asesoría prestada en el transcurso de la elaboración de este proyecto.

Al plantel de profesores de Ingeniería Electrónica de la Universidad de Nariño, por brindarnos su apoyo y orientarnos de la mejor manera durante nuestro proceso de formación profesional.

A cada uno de nuestros compañeros y amigos, por los consejos recibidos, los buenos momentos compartidos, por el apoyo incondicional que nos brindaron en todo momento y los fuertes vínculos de amistad que nos mantienen unidos aun por fuera de las aulas de clase y esperamos que perduren durante toda nuestra vida.

Agradezco a mis Padres por su apoyo y amor incondicional en todos mis años de estudio.

A mis hermanos por su inigualable amistad.

A mis profesores por sus grandes enseñanzas y consejos que me servirán para el resto de mi vida.

A mi compañero David Ibarra, un gran amigo con quien tuve el privilegio de realizar el presente trabajo de grado.

JOHNNY WALTER TOVAR TRUJILLO

Agradezco a mis padres por su continuo apoyo incondicional y comprensión brindados en el transcurso de todos estos años de estudio.

A Johnny Tovar, un gran compañero y amigo , con quien he compartido todas las ideas para la elaboración de este proyecto.

A mis buenos amigos, Dario, Christian, Hugo, Edison y John que también colaboraron en parte para desarrollo del proyecto y me han brindado su amistad.

YARY DAVID IBARRA TAKEZ

RESUMEN

LA NEUROTERAPIA SE BASA EN EL REGISTRO Y EN EL ANÁLISIS DE LA ACTIVIDAD ELÉCTRICA DEL CEREBRO. LOS PARÁMETROS DE DICHA ACTIVIDAD SE MUESTRAN AL USUARIO Y PERMITEN REALIZAR UN ENTRENAMIENTO, APROVECHANDO LA RETROALIMENTACIÓN DE LOS MISMOS.

ESTA TÉCNICA EDUCA AL PACIENTE PARA QUE CONTROLE SU ACTIVIDAD CEREBRAL POR MEDIO DE UNAS ALARMAS O JUEGOS DE COMPUTADOR EN LOS QUE SE USA LA INFORMACIÓN DE ESTA ACTIVIDAD CAPTADA MEDIANTE EQUIPOS COMO EL ELECTROENCEFALÓGRAFO.

LOS RESULTADOS DEPENDEN ENTRE OTRAS DEL TIPO DE ENTRENAMIENTO Y DURACIÓN DEL MISMO. LAS VENTAJAS MÁS CITADAS SON LAS SIGUIENTES: MEJOR CONCENTRACIÓN, AUMENTO DE CREATIVIDAD, MEJOR CAPACIDAD MEMORÍSTICA, APRENDIZAJE MÁS RÁPIDO, MAYOR RESISTENCIA AL ESTRÉS, MAYOR RENDIMIENTO, MEJORA DEL BIENESTAR PSICOLÓGICO Y MEJOR AUTOCONTROL.

PARA ELABORAR EL PROTOTIPO DE EQUIPO PARA NEUROTERAPIA, SE DISEÑA UN SISTEMA ANÁLOGO DE ADQUISICIÓN Y AMPLIFICACIÓN DE LAS SEÑALES ELECTROENCEFALOGRÁFICAS OBTENIDAS A TRAVÉS DE UN CONJUNTO DE ELECTRODOS DISPUESTOS EN UNA CONFIGURACIÓN ESPECIAL SOBRE LA CABEZA, DE ACUERDO AL SISTEMA INTERNACIONAL ESTÁNDAR DE MEDIDAS BIOELÉCTRICAS 10-20.

EL DISEÑO COMPRENDE ADEMÁS UNA ETAPA DE MUESTREO, ADQUISICIÓN Y TRATAMIENTO DE LAS SEÑALES ELECTROENCEFALOGRÁFICAS EN COMPUTADOR, MEDIANTE SOFTWARE DISEÑADO EN EL ENTORNO MATLAB.

ESTE SOFTWARE PERMITE LA VISUALIZACIÓN Y ANÁLISIS DE LAS SEÑALES ELECTROENCEFALOGRÁFICAS, COMO TAMBIÉN EL PROCESO DE NEUROTERAPIA A TRAVÉS DE UN JUEGO QUE CONSIGUE MEDIANTE EL ENTRENAMIENTO CONTINUO Y PROGRESIVO, EL CONTROL DE LAS FRECUENCIAS CEREBRALES DEL USUARIO.

PALABRAS CLAVE: ADQUISICIÓN, MUESTREO, MATLAB, SEÑALES BIOELÉCTRICAS.

ABSTRACT

NEUROFEEDBACK IS BASED IN THE REGISTER AND ANALYSIS OF THE ELECTRIC ACTIVITY OF THE BRAIN, THE PARAMETERS OF THAT ACTIVITY ARE SHOWN TO THE USER AND PERMIT CARRY OUT A TRAINING, BY MAKING GOOD USE OF THE FEEDBACK OF THE SAME.

THIS TECHNIQUE TEACHS THE PATIENT IN ORDER THAT CONTROLS YOUR CEREBRAL ACTIVITY BY MEANS OF SOME ALARMS OR GAMES OF COMPUTER USING THE INFORMATION OF THIS GOTTEN ACTIVITY BY MEANS OF EQUIPMENTS AS THE ELECTROENCEPHALOGRAPH.

THE RESULTS DEPEND BESIDES OF THE TYPE OF TRAINING AND DURATION OF THE SAME PROCESS, THE MORE MENTIONED ADVANTAGES ARE THE FOLLOWING: BETTER CONCENTRATION, INCREASE OF CREATIVITY, BETTER MEMORY CAPACITANCE, MORE QUICK, MAJOR APPRENTICESHIP RESISTANCE TO THE STRESS, MAJOR PERFORMANCE, IMPROVEMENT OF THE PSYCHOLOGICAL AND BETTER WELL-BEING AUTOCONTROL.

IN ORDER TO ELABORATE THE PROTOTYPE OF EQUIPMENT FOR NEUROFEEDBACK IS DESIGNED A SIMILAR SYSTEM OF ACQUISITION AND AMPLIFICATION OF THE OBTAINED ELECTROENCEPHALOGRAPHIC SIGNALS THROUGH A WHOLE OF READY ELECTRODES IN A SPECIAL CONFIGURATION ON THE MIDLINGS, ACCORDING TO THE INTERNATIONAL STANDARD SYSTEM OF MEASURED BIOELECTRIC SIGNALS 10-20

THE DESIGN IS MADE FOLLOWING A STAGE OF SAMPLE, ACQUISITION AND TREATMENT OF THE ELECTROENCEPHALOGRAPHIC SIGNALS IN COMPUTER, BY MEANS OF SOFTWARE DESIGNED IN THE MATLAB ENVIRONMENT.

THIS SOFTWARE PERMITS THE DISPLAY AND ANALYSIS OF THE ELECTROENCEPHALOGRAPHIC SIGNALS, AS ALSO THE PROCESS OF NEUROFEEDBACK THROUGH A GAME WICH GETS BY MEANS OF THE CONTINUOUS AND PROGRESSIVE TRAINING, THE CONTROL OF THE CEREBRAL FREQUENCIES OF THE USER.

KEY WORDS: ACQUISITION, SAMPLE, MATLAB, BIOELECTRIC SIGNALS.

CONTENIDO

| | |
|---|-----------|
| 1. MARCO CONCEPTUAL..... | 19 |
| 1.1. ELECTROENCEFALOGRAFIA | 19 |
| 1.1.1. Registros electroencefalográficos | 20 |
| 1.1.2. Bandas de frecuencia de un EEG | 22 |
| 1.1.3. Electroodos | 23 |
| 1.1.4. Artefactos..... | 25 |
| 1.1.5 Amplificación de señales bioeléctricas | 26 |
| 1.2. TRATAMIENTO DE SEÑALES EEG | 29 |
| 1.3. ANTECEDENTES..... | 30 |
| 2. DESARROLLO DEL TRABAJO | 31 |
| 2.1 DESCRIPCION GENERAL DEL EQUIPO..... | 31 |
| 2.2 DESCRIPCION DEL MODULO O SISTEMA DE ADQUISICION DE SEÑALES ELECTROENCEFALOGRAFICAS..... | 33 |
| 2.2.1 Electroodos..... | 33 |
| 2.3 FUENTE DE VOLTAJE D.C. | 36 |
| 2.4 DESCRIPCION DEL SISTEMA DE PROTECCION AL USUARIO | 36 |
| 2.5 DESCRIPCION DEL SISTEMA DE AMPLIFICACION DE LAS SEÑALES ELECTROENCEFALOGRAFICAS | 38 |
| 2.5.1 Etapa de preamplificación. | 38 |
| 2.5.2 Etapa de acople..... | 39 |
| 2.5.3 Etapa de ganancia. | 40 |
| 2.5.4 Módulo completo..... | 41 |
| 2.6 DESCRIPCION GENERAL DEL SISTEMA DE ACOPLA A LA ADQUISICION POR COMPUTADORA..... | 44 |
| 2.7 DESCRIPCION DEL SISTEMA DE RECEPCION Y TRATAMIENTO DE LAS SEÑALES ELECTROENCEFALOGRAFICAS..... | 45 |
| 2.8 DESCRIPCION DEL SISTEMA DE VISUALIZACION Y DESARROLLO DEL JUEGO..... | 53 |
| 2.9 DESCRIPCION DEL SISTEMA DE CONTROL DEL MENU DE JUEGO..... | 55 |

CONCLUSIONES 59
RECOMENDACIONES 60
BIBLIOGRAFIA..... 61

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Bandas de frecuencia en un EEG..... 23

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Registro electroencefalográfico..... | 21 |
| Figura 2. Tipos de toma de registros. | 22 |
| Figura 3. Sistema 10-20 para colocación de electrodos. | 24 |
| Figura 4. Vista superior del sistema 10-20 para colocación de electrodos. | 25 |
| Figura 5. Configuración de amplificador diferencial | 27 |
| Figura 6. Amplificador de instrumentación. | 28 |
| Figura 7. Diagrama de bloques del prototipo de equipo de neuroterapia. | 33 |
| Figura 8. Electrodo desechables utilizados. | 36 |
| Figura 9. Derivaciones bipolares para adquisición de señales electroencefalográficas... | 36 |
| Figura 10. Conexión de los electrodos con el equipo..... | 37 |
| Figura 11. Baterías de 9 voltios utilizadas en el equipo..... | 38 |
| Figura 12. Diagrama del sistema de protección al usuario.. | 39 |
| Figura 13. Imagen de la etapa de protección al usuario elaborada. | 39 |
| Figura 14. Amplificador de instrumentación con los valores calculados..... | 41 |
| Figura 15. Etapa de acople con valores calculados. | 41 |
| Figura 16. Etapa de ganancia.. | 42 |
| Figura 17. Módulo completo de amplificación para un canal de adquisición con los valores calculados.. | 43 |
| Figura 18. Módulo de amplificación elaborado.. | 43 |
| Figura 19. Plug de conexión de la etapa de amplificación con la tarjeta de sonido..... | 45 |
| Figura 20. Diagrama de flujo de la rutina de adquisición..... | 47 |
| Figura 21. Diagrama de flujo de la rutina de gráficas. | 49 |
| Figura 22. Diagrama de flujo de la rutina de juego..... | 52 |
| Figura 23. Diagrama de flujo de la rutina de control de juego..... | 56 |
| Figura 24. Captura de la ventana de presentación del software..... | 57 |
| Figura 25. Captura de la ventana de juego..... | 57 |
| Figura 26. Captura de la ventana de juego2... .. | 58 |

Figura 27. Captura de la ventana de gráficas. 58

Figura 28. Captura de la ventana principal de ayuda.....59

Figura 29. Captura de la ventana inicio de juego del menú ayuda.....59

Figura 30. Captura de la ventana opciones de ventana juego del menú ayuda.. 60

LISTA DE ANEXOS

| | |
|--|----|
| ANEXO 1. IMÁGENES DE PUNTUACION DENTRO DEL JUEGO. | 64 |
| ANEXO 2. OPINION MEDICA DEL PROYECTO ELEBORADO..... | 69 |

GLOSARIO

BIOELECTRICO: Elemento o proceso que relaciona un agente vivo con su actividad eléctrica.

DATASHEET: Hoja de datos.

DERIVACION: Modo de ubicación de un canal de adquisición para la toma de registros electroencefalográficos.

ELECTRODOS ACTIVOS: Elementos que reciben las señales bioeléctricas al contacto con un individuo y las transmiten , son activos si en ellos existe un sistema de preamplificación interno que evita el uso de gel conductor.

ELECTROENCEFALOGRAFO: Equipo electrónico que permite observar la actividad cerebral de un individuo utilizando electrodos y medios de amplificación y visualización.

FRECUENCIA DE CORTE: Frecuencia especifica en la cual bien por arriba o bien por debajo el nivel de salida de un circuito, se reduce al valor de 70,1% respecto al nivel de referencia 100%, tal como una Línea, Amplificador o filtro.

ISION: Es la proyección mas prominente del hueso occipital y la parte mas baja del cráneo, hace parte del sistema de coordenadas 10-20.

LED: Light Emitting Diode, diodo emisor de Luz.

NASION: punto ubicado entre el hueso frontal y los dos huesos nasales del cráneo humano, hace parte del sistema de coordenadas 10-20.

NEURONA: Es una célula nerviosa, elemento fundamental de la arquitectura nerviosa y además la unidad funcional que transporta los potenciales de acción.

PC: Personal Computer. Computadora personal.

POTENCIAL DE ACCION: Es una onda de descarga eléctrica que viaja a lo largo de la membrana de la célula. Los potenciales de acción se utilizan en el cuerpo para llevar información entre unos tejidos y otros, lo que hace que sean una característica microscópica esencial para la vida .

PUERTO: Punto de conexión regulado por diversos parámetros que permite conexión entre dispositivos.

SISTEMA 10-20: Sistema de coordenadas que permite la ubicación de los electrodos para registros electroencefalográficos.

TRANSDUCTOR: Dispositivo capaz de transformar o convertir un determinado tipo de energía de entrada, en otra diferente de salida. El nombre del transductor ya nos indica cual es la transformación que realiza, aunque no necesariamente la dirección de la misma.

INTRODUCCION

La ingeniería electrónica ofrece la posibilidad de desarrollar sistemas que conlleven a la solución de problemas de diversos campos, tratando de afrontar aquellos que beneficien la calidad de vida de las personas.

Uno de estos campos de investigación es la electromedicina con el análisis de las señales bioeléctricas provenientes del cuerpo humano, buscando nuevas herramientas para el tratamiento de distintas enfermedades.

El presente proyecto desarrolla una de estas herramientas que se basa en la actividad eléctrica del cerebro humano encargado de recibir información de cualquier tipo proveniente del entorno y del mismo individuo

El uso de equipos como el electroencefalógrafo permite captar las señales de esta actividad eléctrica y así establecer la existencia de problemas causados por anomalías en la misma.

Para solucionar o tratar estas anomalías es muy efectiva la utilización de una técnica que dependiendo de la actividad cerebral anormal del paciente, la corrija mediante un proceso de entrenamiento

Esta técnica se denomina neuroterapia y educa al paciente para que controle su actividad cerebral por medio de unas alarmas o juegos de computador en los que no se usa las manos sino la actividad eléctrica del cerebro captada mediante equipos como el electroencefalógrafo. Mientras la mente se enfoca en el objetivo del juego, el computador responde mandando a realizar acciones a unos personajes u objetos dentro del juego. Estas acciones pueden ser moverse, alcanzar metas, pasar obstáculos con el fin que el paciente aprenda a estabilizarse y mejorar sus síntomas a medida que se lleve a cabo las sesiones de neuroterapia.

El campo de la Neuroterapia está revolucionando el tratamiento de trastornos de este tipo, Esta técnica implica un promedio de pocas sesiones que duran poco tiempo. Las sesiones pueden realizarse todos los días, hasta dos veces por día. Por lo tanto es adecuada para pacientes que viven lejos del centro de tratamiento pero que pueden asistir para un tratamiento intensivo.

El principal motivo por el cual se ve necesario la aplicación de la neuroterapia es que los tratamientos actuales para enfermedades relacionadas con anomalías en la actividad cerebral requieren un tiempo extenso y los resultados algunas veces no son duraderos, además algunos incluyen medicación y el costo total es muy elevado.

Por lo anterior, se considera necesario desarrollar e implementar en el Departamento de Electrónica de la Universidad de Nariño un prototipo de equipo para neuroterapia que permita tanto aplicaciones didácticas como experimentales, logrando así un avance significativo en el área de la electromedicina.

En el presente documento se encuentra el proceso que se sigue durante la elaboración del diseño y construcción del prototipo de equipo para neuroterapia.

1. MARCO CONCEPTUAL

1.1. ELECTROENCEFALOGRAFIA

La electroencefalografía, cuya sigla universal es EEG, es una exploración que permite estudiar el comportamiento de la actividad bioeléctrica del cerebro, se utiliza para conocer mejor un diagnóstico médico y puede ayudar a la localización de enfermedades propias del sistema nervioso, de esta forma se puede orientar al especialista sobre el tratamiento a seguir.

La EEG fue inventada por Hans Berger en 1924. Sin embargo su historia se inicia desde mucho antes. Teniendo en cuenta que la EEG es una manifestación de los ritmos eléctricos del cerebro, se debe remontar al año de 1770 en el cual el italiano Luigi Galvani publicó sus observaciones sobre la electricidad animal. Este científico italiano demostró la existencia de lo que llamó electricidad animal intrínseca, pero sus observaciones no tuvieron mayor impacto por más de cincuenta años a pesar de que su sobrino, Luigi Giovanni Aldini las confirmara en 1794, al igual que Frederick Von Humboldt en 1797 y Carlo Matteucci en 1830. La poca aceptación de estas observaciones se debió en parte, a la influencia de Volta, importante científico quien de manera incorrecta consideraba que todos los hallazgos se debían al efecto ocasionado por un estímulo eléctrico proveniente de la batería sobre dos metales¹.

Después de un tiempo se publicaron varios libros sobre las respuestas a la estimulación a través de los músculos y la piel, por científicos Alemanes, empezando el ciclo de experimentos clínicos.

Las primeras descripciones sobre la existencia de una actividad eléctrica del cerebro, fueron efectuadas por el fisiólogo inglés Richard Caton, profesor de fisiología en la Escuela Real de Medicina de Liverpool, que demostró gran interés en los estudios de Raymond. Caton también había recibido influencia de Eduard Hitzig y Gustav Theodor Fritsch quienes habían demostrado la evidencia de respuestas motoras locales luego de la estimulación eléctrica en varias áreas de cerebros de perros. Dichos investigadores llegaron a producir convulsiones en los canes después de aplicar sobre el cráneo intensos estímulos eléctricos. El científico inglés sostuvo la hipótesis de que los estímulos periféricos podían evocar respuestas eléctricas cerebrales focales. Dicha hipótesis le permitió obtener en 1874 financiación de la Asociación Británica de Medicina para poder confirmarla².

¹ Palacios L, Palacios E. La epilepsia a través de los siglos. Bogotá: Editorial Horizonte 1999.

² Palacios L, Palacios E. La epilepsia a través de los siglos. Bogotá: Editorial Horizonte 1999.

Luego aparecieron varios científicos interesados en el EEG, como el vienés Fleisch Von Marxow, los rusos Sechenov, Kaufman y Pradvich Neminski, cada uno haciendo su aporte.

Sin embargo, no cabe duda que el padre de la EEG humana fue Hans Berger, Jefe de la Unidad de Psiquiatría de la Universidad de Jena (Alemania) quien después de una prolongada serie de estudios en 1902 efectuó el 6 de julio de 1924 el primer registro de las oscilaciones rítmicas del cerebro de un joven de 17 años, a través de un orificio utilizando un galvanómetro de cuerda³.

Estos estudios concluyeron que las neuronas junto con otras células transmiten información y lo que hace el electroencefalógrafo es captar la información de todas las células nerviosas juntas.

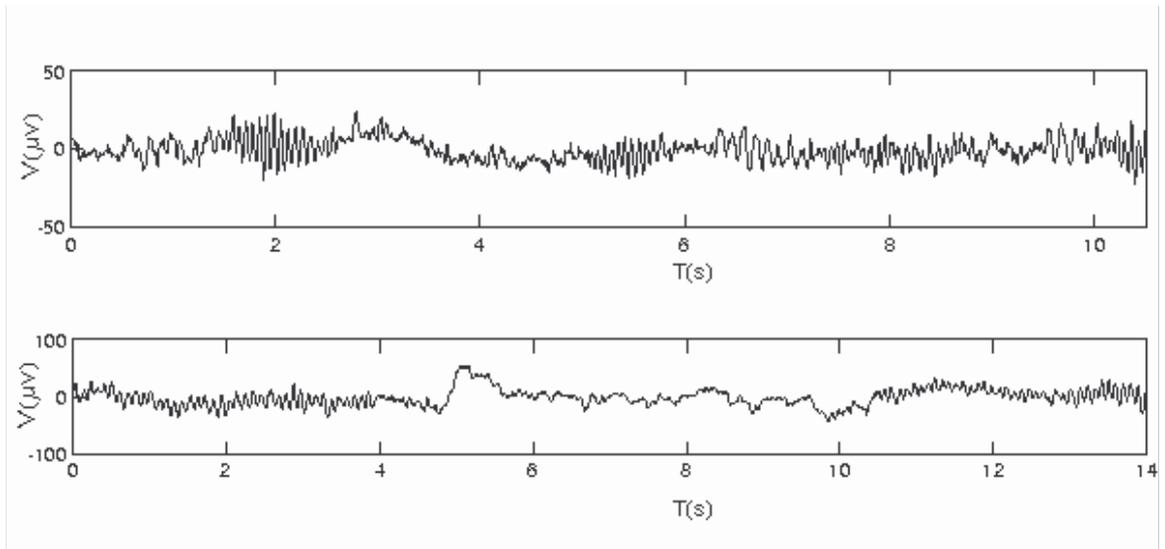
El fisiólogo y electroencefalografista Alexander Forbes trabajó intensamente en las etapas iniciales de la amplificación con tubos de vacío. Los amplificadores empezaron a utilizarse muy rápidamente en los electroencefalógrafos a escala global. En 1960 los transistores que habían sido inventados en 1947, reemplazaron los amplificadores con tubos de vacío en los electroencefalógrafos logrando un mejor registro gráfico. Los mismos transistores hicieron posible el manejo computarizado de todos los aspectos de la electroencefalografía⁴.

1.1.1. Registros Electroencefalográficos. Cuando se le realiza un electroencefalograma a un sujeto, el trazado obtenido como el que se muestra en la figura 1 es debido a que una población grande de neuronas se pone a oscilar coherentemente, es decir que todas generan una señal de la misma frecuencia. La presencia de estos ritmos indica actividad cerebral a nivel de millones de neuronas actuando juntas de forma sincronizada.

³ Gloor P. Hans Berger on the Electroencephalogram of Man. Amsterdam: Elsevier Publishing Company 1969.

⁴ Palacios L. Breve historia de la electroencefalografía .Acta Neurologica Colombiana.2002

Figura 1. Registro electroencefalográfico.

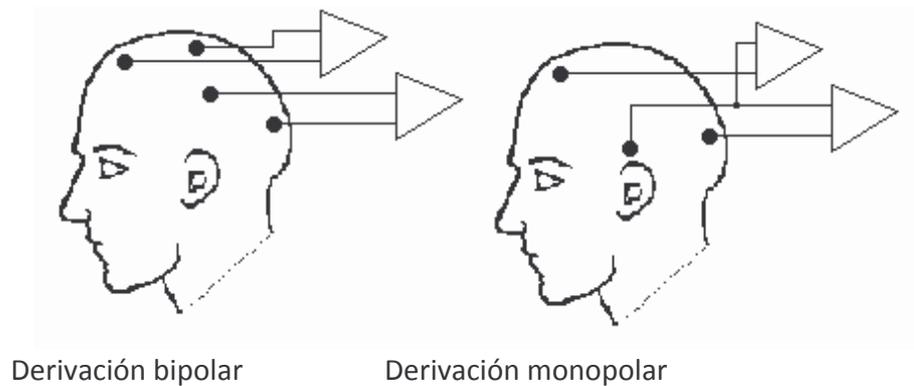


Fuente: Medwave [Online].

Para recoger estas señales se disponen alrededor de la cabeza un conjunto de electrodos ubicados de acuerdo al tipo de toma registro que se desee, existen dos tipos de tomas de registro, que se muestran en la figura 2:

- La toma de registro o derivación monopolar: Es aquel en el que todos los electrodos tienen la misma referencia.
- La toma de registro o derivación bipolar: Se obtiene cuando se colocan los electrodos por pares y se mide la diferencia de potencial entre ellos.

Figura 2. Tipos de toma de registros



1.1.2. Bandas de Frecuencia de un EEG. Cuando se realiza un electroencefalograma o registro de electroencefalografía es posible encontrar las siguientes bandas de frecuencia:

- Ritmo delta (0.1-3Hz): Este tipo de ondas no tiene un origen exacto y aparece en estados de inconsciencia, trance o en la fase de sueño no REM. Su aparición en estado de vigilia suele indicar un estado patológico.
- Ritmo theta (3-8Hz): Se observa especialmente en niños de 5 a 7 años y también durante el sueño en los adultos. Esta banda está asociada a pensamientos de tipo creativo, a la imaginación, fantasía.
- Ritmo alfa (8-13Hz): Predomina especialmente en las regiones occipital y frontal. Se asocia a estados de relajación, inactividad mental. Casi siempre aparecen cuando se cierran los ojos.
- Ritmo beta (13-35Hz): Esta es la banda más grande y suele dividirse en beta baja, beta media y beta alta. El ritmo beta bajo se suele localizar en los lóbulos frontal y occipital y los otros dos están menos localizados. Más irregular que el ritmo alfa, se asocia a actividad psicofísica. Puede venir en estados de agitación, alerta o la actividad mental que se realiza en la resolución de problemas.
- Ritmo gamma (40 Hz): Está muy localizado. Se asocia a pensamientos abstractos y con un alto procesamiento de información.

Tabla 1. Bandas de frecuencia en un EEG

| Delta | Theta | Alfa | Beta bajo | Beta medio | Beta alto | Gamma |
|----------|--------|---------|-----------|------------|-----------|-------|
| 0.1-3 Hz | 3-8 Hz | 8-12 Hz | 12-15Hz | 15-18Hz | >18 Hz | 40 Hz |

1.1.3. Electroodos. La función de los electrodos como transductores es la de convertir las corrientes iónicas que aparecen en los fluidos orgánicos en corrientes eléctricas que puedan ser medidas adecuadamente. Suelen ser un dispositivo metálico que se pone en contacto con la piel o con el medio interno del cuerpo. En EEG está claro que el electrodo se conecta directamente a la piel. Lógicamente la medida presenta más dificultades al ser de forma superficial.

La colocación de los electrodos se puede realizar mediante un casco que se pone en la cabeza, en el cual la disposición de estos es fija, o bien se pueden pegar de forma independiente uno a uno. Para la investigación en el campo de la psicología se suelen utilizar modelos de hasta 128 electrodos que vienen dispuestos en una malla que se coloca sobre la cabeza, pero por ejemplo en medicina, a la hora de hacer registros para diagnósticos clínicos no es usual pasar de 32 electrodos que se colocan manualmente⁵.

La colocación, en un caso o en otro, sigue unas normas establecidas de forma distinta según los autores o países, sin embargo las más lógicas y más utilizadas son las reglas que fijó Jasper en 1941, que posteriormente fueron modificadas en 1957 por la "Fédération internationale des Sociétés d'Electroencéphalographie et de Neurophysiologie clinique" que ya introdujo el sistema 10-20 mostrado en la figura 3. La línea de partida es la que une el nasión con el inión pasando por vértex. Esta línea está dividida en seis partes y separa cinco planos transversos que son:

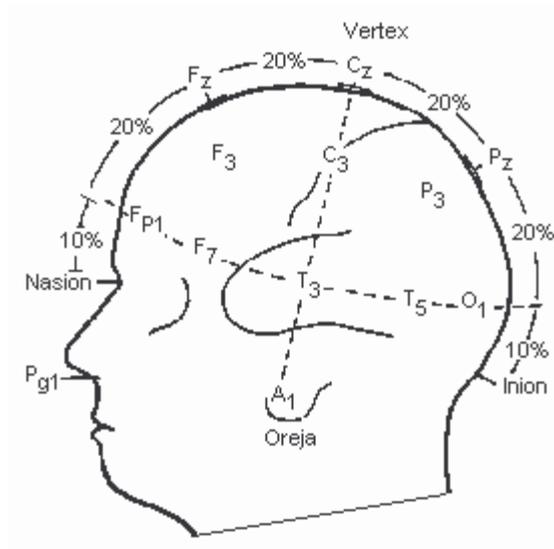
- Plano prefrontal: 10% de la longitud de la línea que une el nasión con el inión, por encima del nasión.
- Plano frontal: 20% de la longitud por encima del prefrontal.
- Plano rolándico: 20% por encima del frontal.

- Plano parietal: 20% por encima del rolándico.

⁵ Kandel, Schwartz, Jessel, Neurociencia y Conducta, Prentice Hall, 1997.

- Plano occipital: 20% por encima del parietal y a un 10% de distancia del inión.

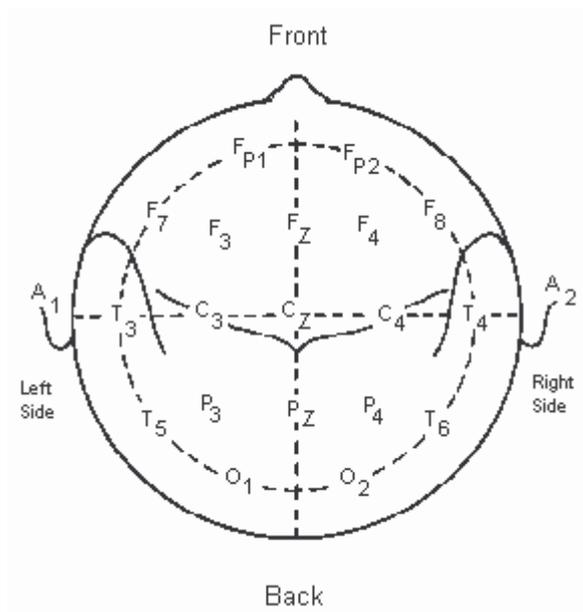
Figura 3. Sistema 10-20 para colocación de electrodos



Los electrodos se suelen colocar en la intersección de cada uno de los planos. Los más usados en cada plano, se muestran en la figura 4 con el nombre que los caracteriza, estos son :

- Plano prefrontal: 1 prefrontal medio, 2 prefrontales (F_{P1} , F_{P2}).
- Plano frontal: 1 frontal medio (F_z), 2 frontales (F_3 , F_4), 2 temporales anteriores (F_7 , F_8).
- Plano rolándico: 1 electrodo de vértex (C_z), 2 rolándicos (C_3 , C_4), 2 temporales medios (T_3 , T_4).
- Plano parietal: 1 electrodo parietal medio (P_z), 2 electrodos parietales (P_3 , P_4), 2 electrodos temporales posteriores (T_5 , T_6), 2 electrodos mastoideos.
- Plano occipital: 1 electrodo occipital medio, 2 electrodos occipitales (O_1 , O_2).

Figura 4. Vista superior del Sistema 10-20 para colocación de electrodos



Fuente: immrama [Online].

A la hora de realizar los montajes o colocación de electrodos para realizar registros, no hace falta colocarlos todos, si no que el número y disposición varían.

1.1.4. Artefactos. Se denomina artefactos a las señales o ruidos que pueden interferir con las señales electroencefalográficas. Estos ruidos pueden tener una procedencia biológica como por ejemplo podría ser la señal eléctrica que se genera al mover los ojos o la que se origina como consecuencia del movimiento muscular, o por otra parte podrían tener un origen externo como puede ser la señal de 50 o 60 Hz de la red. Sea como sea, hay que tratar de eliminar estas señales del registro electroencefalográfico.

A continuación se detalla los principales artefactos de efecto biológico, sus efectos en la medida y su origen fisiológico:

- **Parpadeo de ojos:** Se caracterizan por unas deflexiones en forma de V positivas o positivo-negativas particularmente evidentes en los registros frontales. Pueden difundirse hacia la región central y otras zonas de la cabeza. El potencial positivo resulta de la desviación hacia arriba del globo ocular.

- **Movimiento ocular:** Ocasionan ondas de baja frecuencia de polaridad variable en los electrodos frontales y temporales anteriores. El artefacto se debe al movimiento del campo eléctrico del ojo.
- **Muscular:** Formadas por puntas aisladas o en series que provienen de la contracción de varios músculos del cuero cabelludo, cara, mandíbula y cuello.

Además de los anteriores artefactos hay que destacar otros que no tienen una procedencia biológica:

- **Movimientos corporales:** Actividad irregular, generalmente de alto voltaje generada por los cambios de las distribuciones de los campos eléctricos estáticos.
- **50 o 60 Hz:** Representa una actividad a la frecuencia alterna de la corriente de suministro. El acoplamiento de la fuente del artefacto con el amplificador puede ser capacitivo (interferencia electrostática), inductivo (interferencia electromagnética) o resistivo.

1.1.5. Amplificación de señales bioeléctricas. Las señales bioeléctricas en general, se caracterizan por tener una amplitud que oscila entre los 10 μV y los 100 mV y un ancho de banda reducido. En el caso de una señal de EEG la amplitud está comprendida entre 10 y 100 μV y la banda de frecuencias entre 0.1 y 50 Hz⁶. El problema en la captación de estas señales es que no solo hay que amplificarlas a un nivel con el que se pueda trabajar, también hay que eliminar todo el ruido e interferencias que se superponen y que la mayor parte de las veces tienen una amplitud bastante mayor que el de la propia señal que nos interesa medir. Además, el espectro de frecuencias del ruido se superpone con el de la señal.

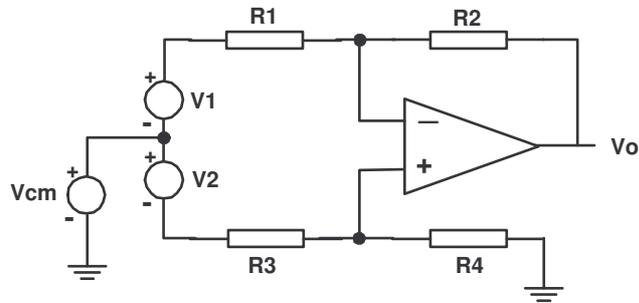
Para la amplificación adecuada de estas señales de EEG se hace necesario la aplicación de amplificadores operacionales, de manera precisa los de instrumentación.

1.1.5.1 Amplificador de instrumentación. El amplificador que generalmente se usa en aplicaciones medicas. El amplificador de instrumentación es un amplificador diferencial en el cual la ganancia se establece de forma muy precisa y es optimizado para que sea estable hasta en situaciones hostiles.

La mayor parte de las aplicaciones de los amplificadores diferenciales como el mostrado en la figura 5 es la de amplificar voltajes diferenciales en presencia de voltajes fluctuantes en modo común el cual es el modo en el que la señal se aplica con igual magnitud a las dos entradas de un amplificador diferencial. La señal en modo común produce un error a la salida imposible de distinguir de la señal diferencial. El objetivo prioritario en el diseño de estos amplificadores es el de reducir lo máximo posible la ganancia en modo común.

⁶ R. Pallás Areny. Adquisición y Distribución de Señales. Marcombo-Boixareu, 1993

Figura 5. Configuración de amplificador diferencial.



En este modo de funcionamiento se hace $V_{cm} = 0$ y $V_1 = V_{id} / 2$ y $V_2 = -V_{id} / 2$

2. De esta forma la ganancia diferencial que se obtiene es la siguiente:

$$G_D = - \left(\frac{R_4}{2R_3} \cdot \frac{1 + \frac{R_2}{R_1}}{1 + \frac{R_4}{R_3}} + \frac{R_2}{2R_1} \right) \quad (1.1)$$

Si se plantea $V_1 = 0$, $V_2 = 0$. De esta manera la ganancia en modo común que se obtiene es la siguiente:

$$G_{CM} = \left(\frac{R_4}{R_3} \cdot \frac{1 + \frac{R_2}{R_1}}{1 + \frac{R_4}{R_3}} - \frac{R_2}{R_1} \right) \quad (1.2)$$

De estas fórmulas se puede deducir, que si lo que se quiere es que la ganancia en modo común sea cero solamente se tiene que hacer que se cumpla la relación:

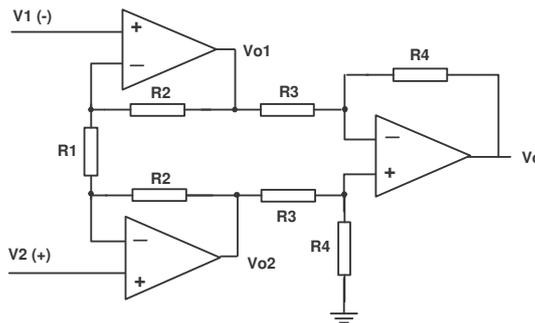
$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{R_4}{R_3} \quad (1.3)$$

Si esta relación se cumple las ganancias finales quedan:

$$G_D = -\frac{R_2}{R_1} \quad (1.4) \quad G_{CM} = 0 \quad (1.5)$$

Para incrementar la impedancia de entrada, y añadir estabilidad DC (bajas derivas) y bajo nivel de ruido se utiliza el amplificador diferencial en la configuración de la figura 6 que es lo que se denomina un amplificador de instrumentación. Este amplificador se suele utilizar normalmente como acondicionadores de señal, captación de señales biológicas y en aplicaciones de bajo ruido.

Figura 6. Amplificador de instrumentación.



Para calcular la ganancia del amplificador de instrumentación se plantea las ecuaciones:

$$\frac{V_{O1} - V_{O2}}{R_1 + 2R_2} = \frac{V_1 - V_2}{R_1} \quad (1.6) \quad V_O = -\frac{R_4}{R_3}(V_{O1} - V_{O2}) \quad (1.7)$$

Cuando se despeja de las anteriores ecuaciones se obtiene:

$$V_O = -\frac{R_4}{R_3} \cdot \left(1 + \frac{2R_2}{R_1}\right) \cdot (V_1 - V_2) \quad (1.8)$$

Las ganancias en modo diferencial y común quedan:

$$G_D = -\frac{R_4}{R_3} \cdot \left(1 + \frac{2R_2}{R_1}\right) \quad (1.9) \quad G_{CM} = 0 \quad (1.10)$$

1.2. TRATAMIENTO DE SEÑALES EEG

El proceso siguiente al registro de las señales EEG consiste en realizar el tratamiento necesario para extraer la información que interese, para este proceso se utilizan técnicas como las siguientes:

- Transformada de Fourier: Es una de las primeras herramientas que se proponen inicialmente en el tratamiento de cualquier señal. Es ampliamente conocida su funcionalidad y permite en este caso realizar una primera aproximación a la caracterización de señales electroencefalográficas. Con el uso de la computadora y las facilidades que esta proporciona para el diseño de algoritmos, es deseable y necesario extender el uso de este tipo de herramientas matemáticas al mundo discreto. Como resultado de esto se desarrolló lo que se conoce como la Transformada Discreta de Fourier, se debe tener en cuenta que con esta transformada según a la dualidad tiempo-frecuencia se puede decir que en tiempo discreto la señal es discreta en el tiempo y su transformada es también discreta, para facilitar este proceso algunos softwares utilizan un algoritmo rápido.
- Filtros digitales: Son aquellos sistemas discretos lineales e invariantes que permiten el paso de las componentes de la señal existentes en un determinado intervalo frecuencial, y elimina las demás. De forma ideal, el módulo de la respuesta frecuencial del filtro toma un valor constante en el margen de frecuencias que queremos conservar, que se denomina banda de paso. El intervalo de frecuencias complementario al anterior en que la respuesta en magnitud es nula se denomina banda de rechazo o atenuada. La banda de transición es aquella que se sitúa entre dos bandas cuyas atenuaciones están especificada, por tanto, se caracteriza porque no se impone al filtro ningún requisito en dicho intervalo frecuencial dando libertad de esa forma al diseño del filtro siempre y cuando se cumplan los requisitos impuestos en la banda de paso y de rechazo. Los cuatro filtros básicos, desde el punto de vista ideal del comportamiento del módulo de la respuesta frecuencial, según sea la posición relativa de bandas de paso y bandas atenuadas, reciben el nombre de paso bajo, paso alto, paso banda y elimina banda,

dependiendo de la parte del espectro de frecuencias en la que se centra la banda de paso⁷.

1.3. ANTECEDENTES

La Neuroterapia o entrenamiento de ondas cerebrales, es un programa revolucionario de tratamiento científico basado en el entrenamiento de las ondas cerebrales, es una técnica de entrenamiento mental que utiliza el electroencefalógrafo y la tecnología multimedia asistida por computador para entrenar a las personas a controlar su propio sistema nervioso central. Este proceso de aprendizaje introduce la retroalimentación de las ejecuciones previas mediante el refuerzo auditivo y visual.

Históricamente, en 1958 Joe Kamiya decidió investigar si poseemos la capacidad de distinguir de manera subjetiva tipos de ondas generadas por nuestro propio cerebro. La persona examinada con el electroencefalograma tenía que responder varias veces al azar si se encontraba en estado Alfa (frecuencia 8-12 Hz), y a continuación se le informaba sobre si la respuesta era correcta. Al inicio, las equivocaciones eran tan frecuentes como los aciertos, sin embargo, durante las pruebas repetidas en los días siguientes el número de aciertos fue creciendo. Después de cuatro días, las respuestas fueron correctas, la persona examinada era capaz de alcanzar el estado Alfa conforme al deseo. Pronto Kamiya elaboró una versión mejorada del aparato que facilitaba de manera automática la señal de retroacción en forma de un tono que surgía al momento de predominación de las ondas Alfa. Utilizando este dispositivo, demostró que es posible aprender a controlar voluntariamente la actividad cerebral, y por lo mismo los estados de consciencia y la calidad de funcionamiento psíquico. Así nació la neuroterapia.

En 1973 Elmer Green lleva un laboratorio portátil de EEG a India para analizar los hombres santos de india, encontrando grandes cantidades de generación de ondas Alpha.

Lubar también encontró en síndromes de atención y aprendizaje, que la neuroterapia, sin drogas tenía un resultado positivo del 80%.

El tratamiento también ha sido encontrado de importancia para tratar lesiones traumáticas en la cabeza y desordenes del sueño. En los últimos 5-10 años, la neuroterapia ha tenido un nuevo enfoque, tomando una mirada diferente a los estados profundos. El entrenamiento ha servido para tratar alcoholismo y otras adicciones, desorden post-traumático, síndrome pre-menstrual, creatividad musical, y desordenes de tipo sicótico.⁸

⁷ A.V. Oppenheim. Señales y Sistemas. Prentice-Hall. , 2000.

⁸ <http://www.neurobitsystems.com/es/neurofeedback-intro.htm>

2. DESARROLLO DEL TRABAJO

A continuación se describe las diferentes etapas para el diseño y elaboración que conllevan a la consecución del objetivo general y los específicos

2.1 DESCRIPCION GENERAL DEL EQUIPO

Principalmente se plantea la elaboración de un prototipo de equipo para neuroterapia que cumpla con la función de servir como herramienta didáctica y experimental en el área de Electromedicina.

Para el diseño de este equipo se tiene en cuenta las características de las señales electroencefalográficas y la información que se desea obtener, así como la tarea de análisis, tratamiento y visualización que debe llevar a cabo en el programa o software.

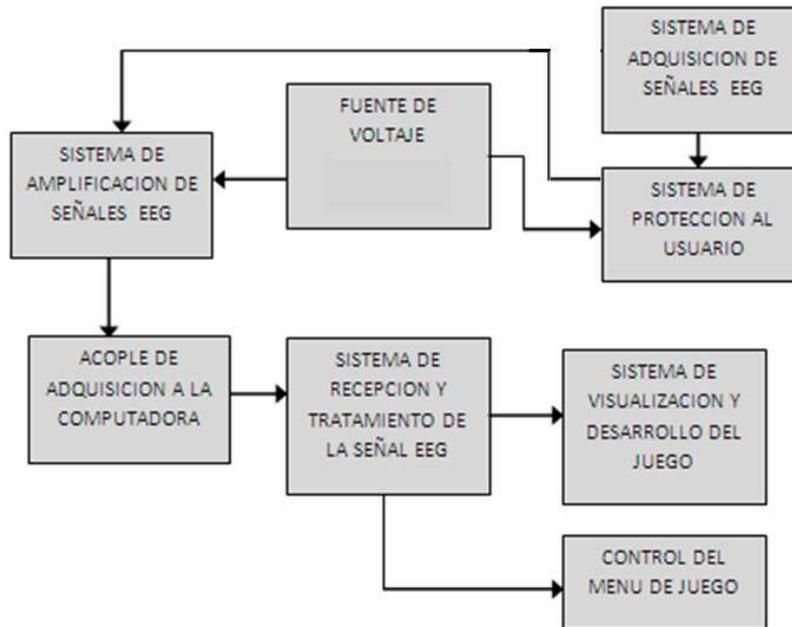
Haciendo una descripción de la elaboración, se opta por implementar una etapa de adquisición de las señales electroencefalográficas de una manera sencilla y cómoda para el usuario. El equipo consta de dos canales de adquisición de datos que son suficientes para la neuroterapia, cada canal es conformado por dos electrodos colocados en zonas específicas del usuario y un electrodo que actúa como tierra referencial ubicado en la extremidad derecha del mismo.

La señal electroencefalográfica es amplificada en una etapa posterior, en la cual se utilizan amplificadores instrumentales diseñados para que las señales electroencefalográficas puedan ser capturadas por el software mediante la tarjeta de sonido de la computadora.

Esto permite realizar el proceso de neuroterapia. Este proceso consta de una identificación y visualización de la señal original así como su espectro de frecuencias, y el proceso de entrenamiento dirigido al usuario que se compone de un juego en tiempo real con distintas modalidades en cuanto a tiempo de juego y frecuencia de las señales electroencefalográficas a tratar.

El proceso de neuroterapia llevado a cabo por el software, también permite guardar los datos de la sesión terminada y un menú de ayuda para guiar al usuario. También la visualización de las señales electroencefalográficas y la transformada de Fourier de la misma en tiempo real.

Figura 7. Diagrama de bloques del prototipo de equipo de neuroterapia.



En el diagrama de bloques de la figura 7, se encuentra detallado de una manera sencilla y clara como esta constituido en general el prototipo de equipo para neuroterapia.

Se puede observar que este equipo elaborado tiene varios módulos o bloques importantes y esenciales para su funcionamiento, uno de ellos es la Fuente de Voltaje que entrega la alimentación de corriente y tensión que necesitan varios de los bloques funcionales dentro del diagrama por ello esta comunicada, es decir, entrega voltaje a ellos. Los módulos que requieren de la fuente de voltaje para su funcionamiento son el sistema de amplificación que necesita de la polarización correcta de sus componentes y el módulo o sistema de protección al usuario que también utiliza la fuente de voltaje para garantizar la seguridad hacia las personas que lo usen.

Esta fuente esta constituida por dos baterías de 9 voltios portables por lo tanto no depende de la red eléctrica y se garantiza que entregue niveles de tensión y corriente aptos para el funcionamiento del equipo además de que puede funcionar sin presentar fallos hasta que las baterías se agoten, entonces deben ser recargadas para seguir trabajando. También se eliminan los riesgos de daño a todos los circuitos que dependen de la fuente de voltaje.

Aunque se podría haber escogido una fuente de voltaje en el rango de 3 a 9 voltios, se utiliza el rango de 9 voltios ya que en las respectivas pruebas se tiene buen funcionamiento del equipo y estabilidad.

El sistema de adquisición de las señales electroencefalográficas permite mediante dos canales de adquisición la captura de dichas señales, para este sistema no se requiere polarización ya que solo se recibe la información por medio de los electrodos conectados al usuario, proceso que no necesita fuente de voltaje.

El sistema de protección es el encargado de evitar que existan corrientes de retorno hacia el usuario, a pesar de que la corriente suministrada por las baterías es mínima y no hay riesgo de accidentes.

El modulo de amplificación hace que la señal electroencefalográfica proveniente de la etapa de adquisición consiga un nivel de amplitud de voltaje que pueda ser leído en etapas siguientes, sin modificar las propiedades de dichas señales.

El sistema de recepción y tratamiento de la señal permite que se reciba adecuadamente la señal electroencefalográfica y se realice un tratamiento de filtrado y adecuación de la señal que va a ser mostrada y analizada.

El sistema de visualización y desarrollo del juego consigue mostrar en tiempo real las graficas de las señales electroencefalográficas ya libres de las interferencias y señales no deseables, además de procesar y llevar a cabo las acciones del juego.

El juego contiene además un menú de control que facilita al usuario las opciones de tiempo de juego, frecuencia de las señales electroencefalográficas que se desea conseguir, y guía de uso.

2.2 DESCRIPCION DEL MODULO O SISTEMA DE ADQUISICION DE SEÑALES ELECTROENCEFALOGRAFICAS.

El sistema que inicia el proceso de neuroterapia ya que recibe las señales electroencefalográficas y las lleva a sistemas posteriores es el sistema de adquisición, el cual es el encargado de captar toda señal bioeléctrica por medio de electrodos colocados en el usuario, estas señales bioeléctricas corresponden a señales electroencefalográficas, movimientos musculares y demás aparatos, también señales de interferencia ajenas a actividad bioeléctrica tales como la señal de 60 hertz causada por la red eléctrica o equipos eléctricos cercanos.

2.2.1 Electroodos. Para la recepción adecuada de las señales electroencefalográficas es necesario colocar electrodos que están diseñados para disminuir la resistencia de la piel y

permitir la conducción de cualquier señal que detecten ya que su material permite que cualquier cambio eléctrico sea transmitido, se utiliza para el este proceso los electrodos desechables mostrados en la figura 8 ya que son de fácil adquisición , fáciles de usar y eficientes, sin embargo también es posible utilizar electrodos reusables con gel, el funcionamiento del equipo no se ve afectado por ello.

Para realizar el proceso de neuroterapia es suficiente y practico, usar dos canales de adquisición, uno por cada hemisferio cerebral, cada canal consta de dos electrodos uno llamado positivo y el otro negativo en términos prácticos no hay diferencia si se coloca el positivo en el hemisferio cerebral izquierdo o en el derecho, lo mismo con el electrodo negativo. También debe haber un electrodo extra que sirve de tierra, situado en algún lugar de la extremidad superior derecha, puede ser el brazo o la mano o algún lugar cercano. la colocación de estos electrodos se determina mediante pruebas y teniendo en cuenta la comodidad del usuario ya que no se va a recurrir a lavados previos de la cabeza como se hace en tomas de electroencefalografía, y se evita de colocar los electrodos en zonas de la cabeza que tengan cabello. Para ello se utiliza una configuración bipolar de electrodos, en la figura 9 Se muestran las diferentes opciones, las que más facilitan la adquisición son las denominadas T3F7 y T4F8 .

Figura 8. Electrodo desechables utilizados.

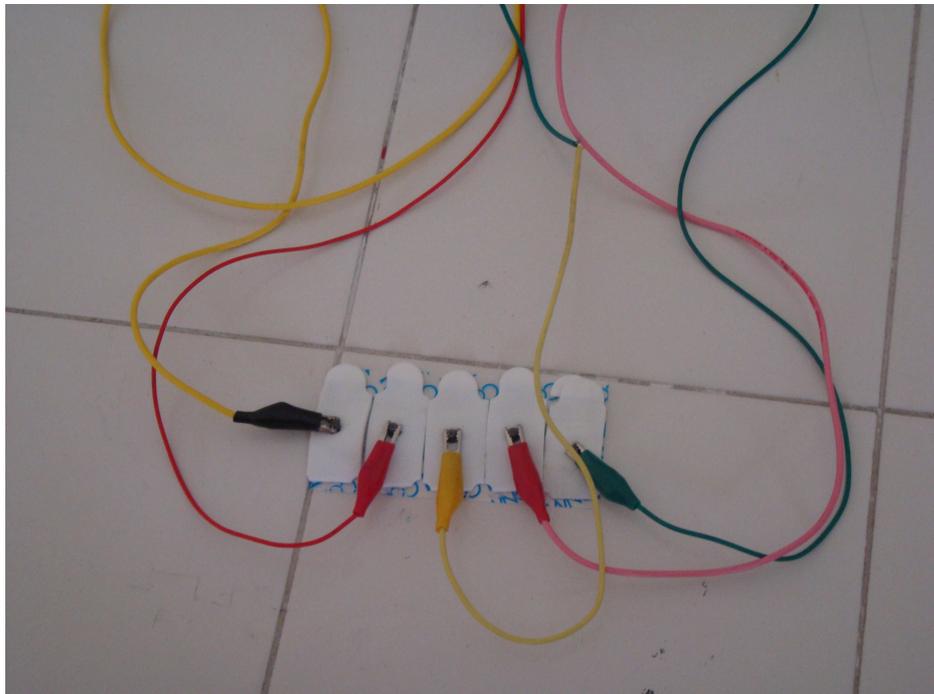
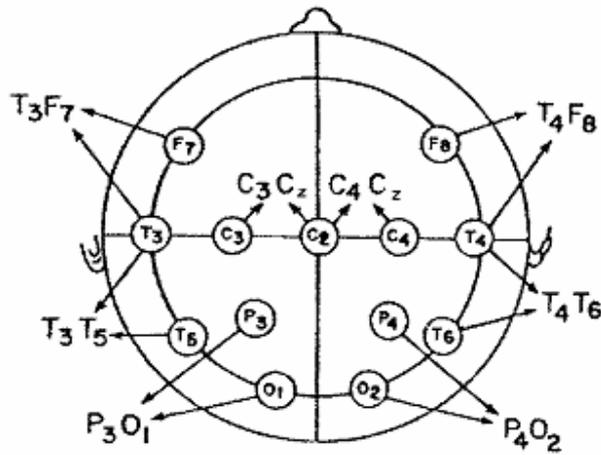


Figura 9. Derivaciones bipolares para adquisición de señales electroencefalográficas.



Estos electrodos se sostienen firmemente ya que tienen una película que los adhiere a la piel, luego la señal adquirida se lleva al modulo siguiente que es el modulo de protección, por medio de unos cables con conectores que permitan la conexión temporal para ello se utiliza terminales caimán en la parte de los electrodos y banana en la otra punta que conecta con el equipo como se muestra en la figura 10.

Figura 10. Conexión de los electrodos con el equipo.



2.3 FUENTE DE VOLTAJE D.C.

Para el funcionamiento del equipo es necesario el uso de una fuente de voltaje que proporcione los niveles de corriente y tensión necesarios para el funcionamiento correcto de todos los elementos que componen los módulos que necesitan alimentación D.C. Para escoger el tipo de fuente que utiliza la máquina se tiene cuenta que esta debe ser estable ya que se debe evitar caídas de tensión, que proporcione el voltaje necesario y que evite el riesgo de cualquier choque eléctrico o descarga. La fuente escogida se compone de un par de baterías de 9 voltios, que cumplen con estas características y son potables. Las pilas se muestran en la figura 11.

Figura 11. Baterías de 9 voltios utilizadas en el equipo



2.4 DESCRIPCION DEL SISTEMA DE PROTECCION AL USUARIO

Para proteger al usuario de posibles corrientes inversas generadas en el equipo, es necesario la elaboración del sistema de protección al usuario.

Las corrientes inversas se pueden dar por algún fallo en los componentes que haga que la corriente fluya en sentido incorrecto, y el usuario puede recibir esta corriente ya que los electrodos están en contacto con el. Cabe destacar que la corriente que es suministrada

por las baterías es muy pequeña y el riesgo de sufrir algún daño es mínimo, pero es necesario establecer un mecanismo de defensa o protección para el buen funcionamiento y seguridad.

Por este motivo se elabora una etapa de protección en la que se utiliza en primer lugar 3 capacitores con un valor de 10 pF y 100pF que permiten eliminar las señales de radiofrecuencia que puedan presentarse y que sean transmitidas hacia esta etapa por el cable que conecta los electrodos. Posteriormente se encuentra una red de transistores y resistencias. Estos transistores no actúan como transistores comunes sino como diodos de switcheo , es decir si el voltaje sobre unos de estos diodos de switcheo excede aproximadamente los 0.2 voltios, estos inician a conducir corriente, si se tiene un voltaje debajo de ese nivel estos transistores actúan prácticamente como circuitos abiertos solamente conducen unos pocos picoamperios. Si el voltaje alcanza el nivel de 0.7 voltios estos empiezan a conducir toda la corriente de manera amplificada y con la ayuda de las resistencias estos transistores previenen que el voltaje disminuya de los 0.7 voltios y limitan la corriente inversa que pueda presentarse en caso de algún corto circuito, el diagrama y la imagen del sistema de protección al usuario se detallan en las figuras 12 y 13 respectivamente.

Figura 12. Diagrama del sistema de protección al usuario.

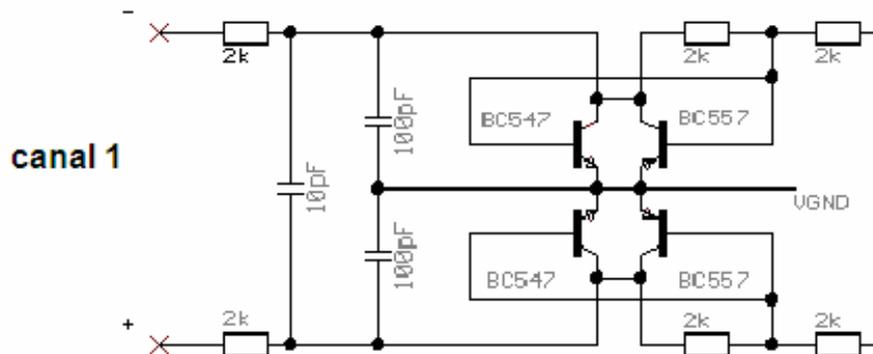


Figura 13. Imagen de la etapa de protección al usuario elaborada.



2.5 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE AMPLIFICACIÓN DE LAS SEÑALES ELECTROENCEFALOGRAFICAS

Cuando la señal electroencefalográfica es recibida por el equipo se procede a amplificar su nivel de voltaje ya que la señal captada es muy débil y no puede ser analizada en los siguientes módulos, para ello se debe tener en cuenta que la señal a captar tiene una amplitud comprendida entre los $10\mu\text{V}$ y los $100\mu\text{V}$ se tiene que cumplir con las siguientes especificaciones, al elaborar la primera etapa:

- Corriente de entrada DC $< 50\text{ nA}$.
- Muy bajo nivel de ruido a la entrada.
- Mínima señal detectable a la entrada de $5\mu\text{V}$.

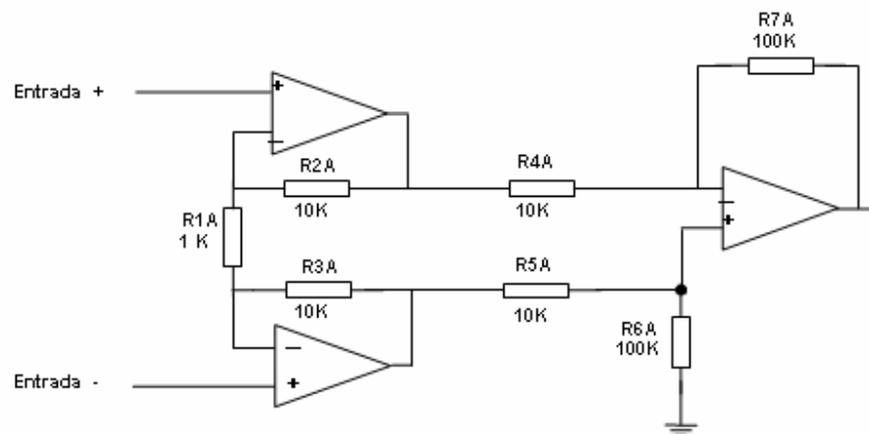
Se recurre a la aplicación de amplificadores operacionales en la configuración de amplificadores instrumentales, el operacional escogido para esta configuración es el TL082 de la casa Texas Instruments, debido a sus características eléctricas de bajo ruido y alta impedancia de entrada.

Se utilizan dos etapas en este modulo: una etapa de preamplificación y una etapa de ganancia, ambas para cada canal de adquisición.

2.5.1 Etapa de preamplificación. En esta etapa el valor de la ganancia se fija de forma que se pase la señal de entrada de un rango de μV a mV .

Los tres primeros operacionales de cada canal corresponden al amplificador de instrumentación. En la figura 14 se ha representado el amplificador de instrumentación perteneciente al primer canal. La letra A de los componentes indica que es el primer canal.

Figura 14. Amplificador de instrumentación con los valores calculados.



El valor de la ganancia diferencial se calcula con los componentes anteriores por medio de la fórmula 1.9:

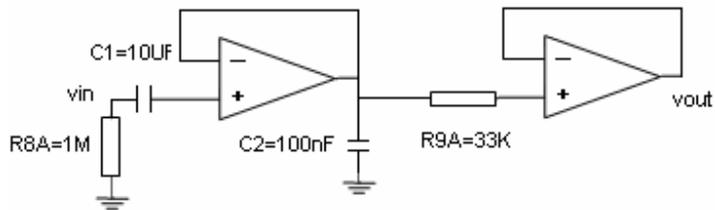
$$G_d = \frac{100}{10} \cdot \left(1 + \frac{2 \cdot 10}{1} \right) = 210$$

2.5.2 Etapa de acople. Se utiliza dos amplificadores operacionales en modo de seguidor de emisor, con el fin de garantizar un acople de impedancias adecuado, se muestra esta etapa en la figura 15.

Esta configuración actúa como buffer, para eliminar efectos de carga en la salida, y adaptar impedancias diferentes (conectar un dispositivo de gran impedancia con otro de pequeña impedancia).

La tensión de salida es igual a la tensión de entrada y la impedancia de entrada es idealmente infinita.

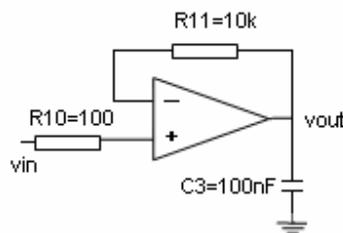
Figura 15. Etapa de acople con valores calculados.



2.5.3 Etapa de ganancia. Con esta etapa lo que se pretende es hacer una adaptación de la señal para que el pueda ser ingresada a la computadora sin problemas. Los problemas con los que se encuentra al diseñar esta etapa son principalmente los de saturación. La distorsión que introduce la deformación de la señal puede dar lugar a errores en la representación posterior, y lo que es más importante, la aparición de otras componentes de frecuencia se verá reflejada en el análisis con la transformada de Fourier, lo que puede dar un electroencefalograma erróneo.

El circuito que se utiliza es un inversor se observa en la figura 16.

Figura 16. Etapa de ganancia.



Y usando la formula 1.4 la ganancia es de:

$$G = \frac{R2}{R1} = 100$$

Con todos los datos anteriores se puede dar un valor aproximado del valor total de la ganancia, entendiendo por ganancia, ganancia diferencial. Se obtiene usando la formula 1.5 un valor de:

$$|G_d| = 210 * 100 = 21000$$

2.5.4 Módulo completo. El modulo de amplificación de la señal para un canal de adquisición se mira de forma completa en la figura 17 y la tarjeta elaborada para el equipo se observa en la Figura 18.

Figura 17. Módulo completo de amplificación para un canal de adquisición con los valores calculados.

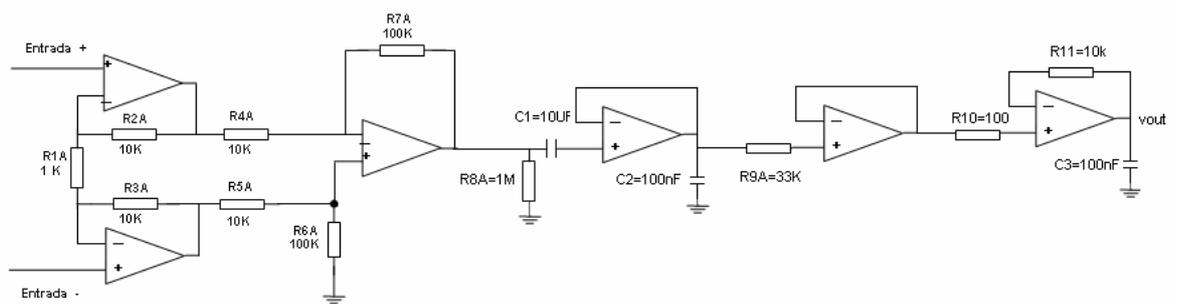


Figura 18. Módulo de amplificación elaborado.



2.6 DESCRIPCION GENERAL DEL SISTEMA DE ACOPLE A LA ADQUISICION POR COMPUTADORA

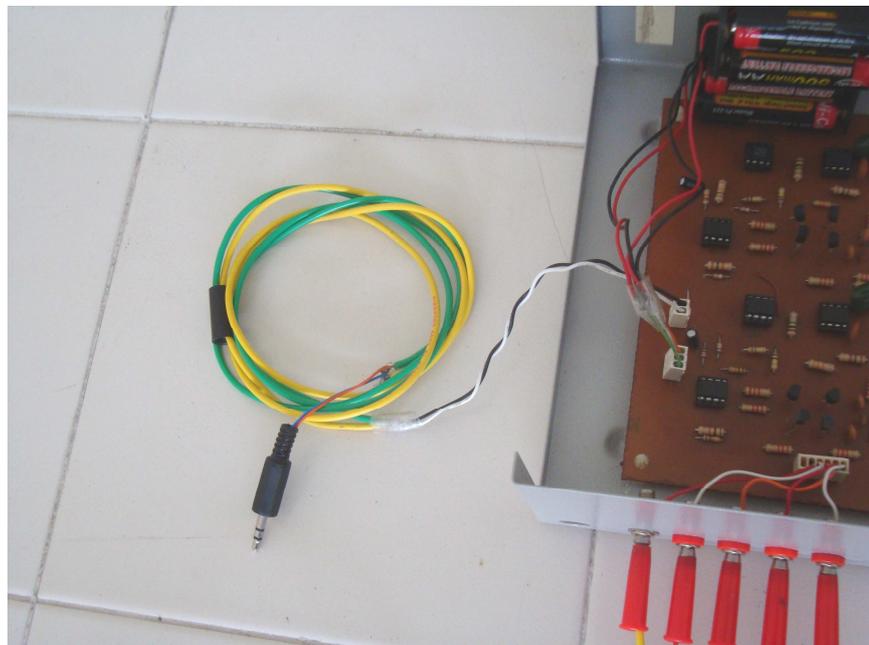
Las señales electroencefalográficas después de ser amplificadas en la etapa anterior llegan a un nivel de amplitud de voltaje aproximadamente de 0.2 voltios, y pueden tener picos de hasta 1.5 voltios debido a movimientos musculares y movimientos de dientes los cuales en el próximo modulo son filtrados, estos niveles de tensión pueden ser recibidos por la computadora, pero para ello hay diferentes formas de hacerlo, se recurre a la tarjeta de sonido de la computadora, debido a que no hay que utilizar etapa de digitalización como lo requieren los puertos paralelos, serial y usb, y es además una entrada para la cual las señales electroencefalográficas son capturadas sin problemas. La entrada específica que se elige es la entrada de micrófono de la tarjeta ya que elimina cualquier componente de voltaje directo que llegue a tener la señal porque tiene en la entrada un condensador de nivel directo, además porque según pruebas realizadas en semestres anteriores con circuitos de captura de señales de electrocardiografía la

frecuencia no sufre filtrado dentro de la tarjeta de sonido y la señal conserva todas sus propiedades de amplitud de voltaje y frecuencia cerebral. El voltaje que soporta la tarjeta de sonido es de aproximadamente 5 voltios pico, cabe destacar que las señales electroencefalográficas no presentan en ninguna ocasión niveles de voltaje negativos.

Para la conexión de la salida del módulo de amplificación a la tarjeta de sonido se emplea un plug de audio para la entrada de micrófono teniendo en cuenta que la conexión de tierra del plug esté conectada a la tierra del modulo de adquisición. Este conector esta mostrado en la figura 19.

Lo siguiente es buscar como manejar esas señales electroencefalográficas que están siendo recibidas por la entrada de micrófono, para ello se requiere de la utilización del software que reconozca y trate la señal.

Figura 19. Plug de conexión de la etapa de amplificación con la tarjeta de sonido.



2.7 DESCRIPCION DEL SISTEMA DE RECEPCION Y TRATAMIENTO DE LAS SEÑALES ELECTROENCEFALOGRAFICAS.

Para que las señales electroencefalográficas ingresadas por el micrófono de la tarjeta de sonido sean tratadas es necesario la utilización de un software que sea compatible con el ingreso de datos por esta tarjeta y que los reconozca sin inconvenientes como manejo de drivers o fallo en el manejo de la información ingresada.

Para esto se utiliza el software con licencia educativa Matlab 7.0 desarrollado por The Mathworks Inc. Se escoge porque se trata de un equipo con fines educativos y experimentales además que cumple con las características anteriormente expuestas de reconocimiento de datos y es una gran herramienta para manejo y tratamiento de señales en tiempo real.

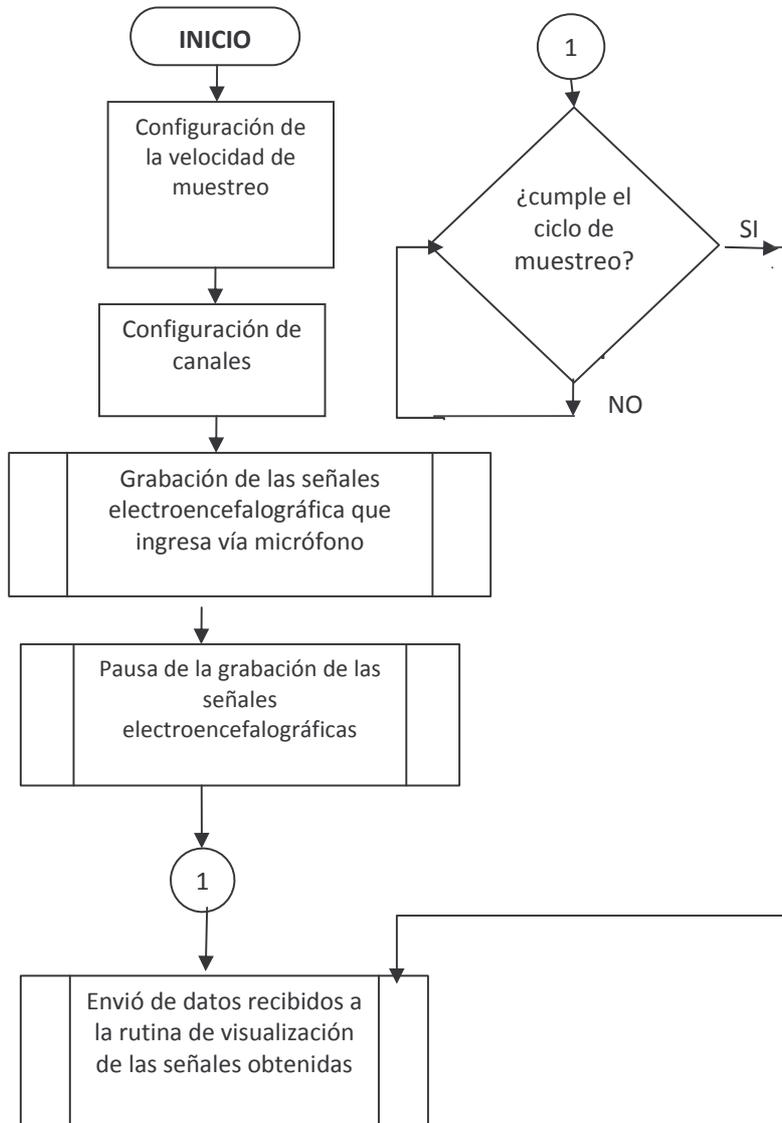
- **RUTINA DE ADQUISICION DE LA SEÑAL ELECTROENCEFALOGRAFICA**

Para recibir las señales electroencefalográficas se requiere en primer lugar la definición de las condiciones de recepción, estas condiciones son: la velocidad de muestreo con la que trabaja el programa correspondiente al doble del ancho de banda para que la señal no sufra el efecto alias, el valor escogido fue de 1000 Hz , ya que la señal puede llegar a 60 Hz y se deja un rango mucho mas alto para mejor calidad de recepción de la señal y el numero de canales que en nuestro caso es de uno, ya que se requiere que la entrada sea monofónica porque los dos canales de adquisición viajan por una sola entrada que es la del micrófono de la tarjeta de sonido.

Luego se utiliza un comando de grabación y pausa que permita muestrear la señal en tiempo real y envíe los datos al siguiente módulo que es el de visualización y desarrollo del juego, todo esto cumpliendo un ciclo de muestreo que permita capturar datos de las señales electroencefalográficas en un vector.

El diagrama de flujo de la rutina de adquisición se observa en la figura 20.

Figura 20. Diagrama de flujo de la rutina de adquisición



- **RUTINA “GRAFICAS”**

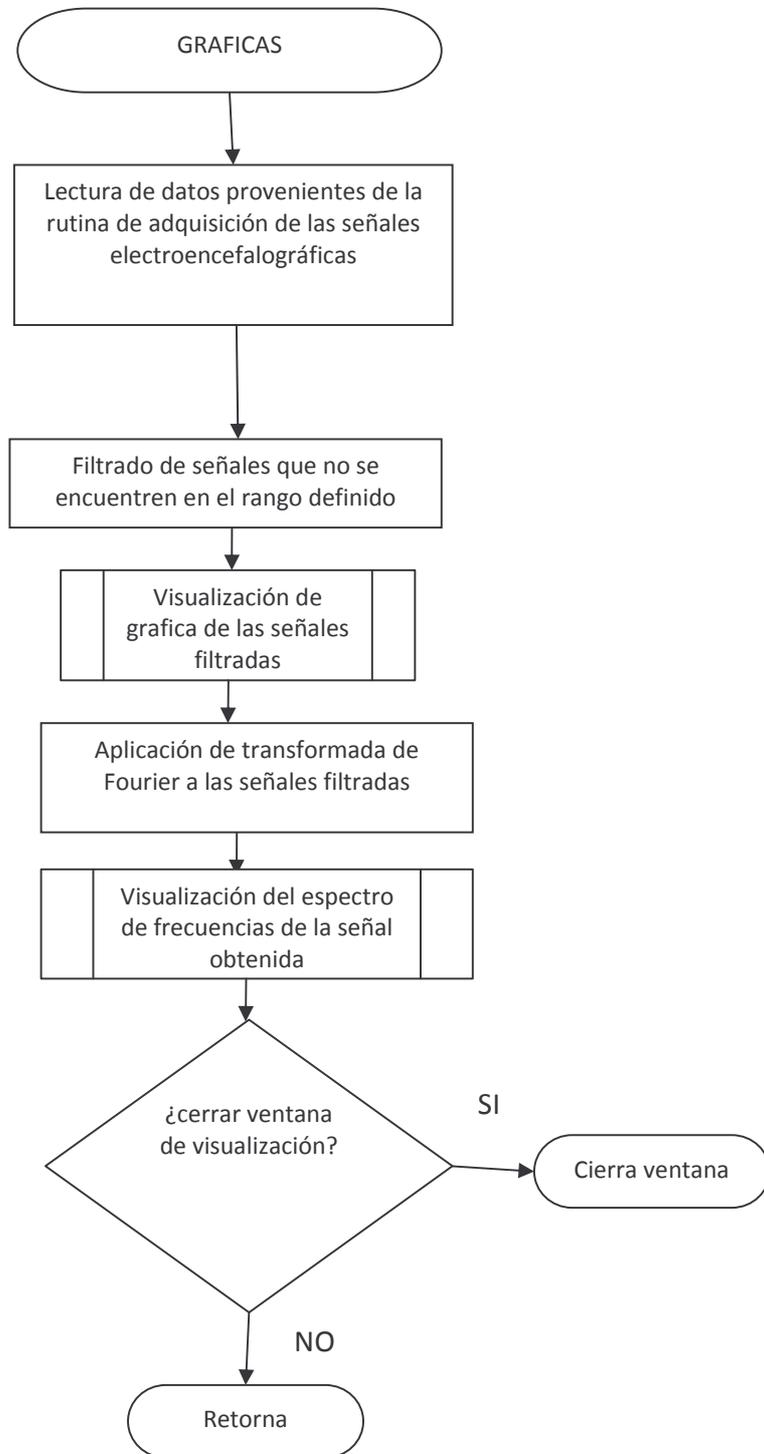
Como el software debe recibir las señales electroencefalográficas y posteriormente definir la frecuencia de las señales con la que se desarrolle el proceso de neuroterapia, es necesario una ventana de visualización donde se observe la señal libre de interferencias, como también el espectro de frecuencias de las señales conseguido mediante la aplicación de la transformada discreta de Fourier.

La primera gráfica correspondiente a las señales electroencefalográficas debe utilizar en primer lugar las muestras que le envíe la rutina de adquisición. Esta información la almacena en un vector de datos y empieza a filtrar las señales que no estén en el rango de frecuencias de las señales electroencefalográficas es decir entre 3Hz y 45 Hz que corresponden a el espectro de frecuencia de dichas señales. Para lograr este filtrado se utiliza filtros digitales específicamente el filtro Butter tanto para filtros pasa bajos como para filtros pasa altos.

La segunda grafica correspondiente a el espectro de frecuencias de las señal que nos son útiles para definir la frecuencia en la que se halle el usuario, debe utilizar los datos de la anterior grafica que ya están filtrados y mediante la aplicación de la transformada discreta de Fourier se obtiene el espectro de frecuencias de las señales electroencefalográficas.

El diagrama de flujo de la rutina de graficas se observa en la figura 21.

Figura 21. Diagrama de flujo de la rutina de gráficas.



2.8 DESCRIPCION DEL SISTEMA DE VISUALIZACION Y DESARROLLO DEL JUEGO

Luego de que las señales electroencefalográficas son adquiridas y filtradas se procede a crear el juego que lleve a cabo el proceso de neuroterapia o entrenamiento de frecuencia cerebral, para esto se debe utilizar los datos que son recibidos desde el módulo de tratamiento, específicamente se tiene en cuenta el espectro de frecuencias que define la frecuencia dominante de la señales electroencefalográficas del usuario.

El juego se desarrolla muestreando los datos de la grafica del espectro de frecuencias, y de acuerdo a la amplitud y frecuencia en dicha grafica se va a manejar todos los procesos en el juego.

El objetivo de dicho juego es conseguir la mayor cantidad de puntos en un proceso que consiste en el lanzamiento de un cañón que debe impactar en las líneas enemigas conformadas por tropas y de esta manera ir acumulando mas puntos.

Como se conoce el valor de frecuencia de las señales electroencefalográficas en el usuario mediante un indicador que se encuentra en la ventana de juego, se pretende que dicho valor se modifique, esto se logra cuando el usuario aprende a controlar y variar su propia frecuencia cerebral y de esta manera conseguir puntos en el juego, por eso se considera un entrenamiento cerebral.

- **RUTINA “JUEGO”**

En cuanto a la programación del juego, primero se procede a elegir el valor de frecuencia cerebral al que se pretende llevar al usuario, este valor se almacena en dos variables que definen los limites, llamados F_{menor} para el limite menor y F_{mayor} para el limite mayor que se mantienen durante una sesión completa es decir el tiempo total que dure el desarrollo del juego. Luego se debe crear un ciclo de juego que es un tiempo determinado por el usuario, este es el que define la duración de la sesión de juego.

Se crean unas condiciones que permitan diferenciar en el software el proceso que se debe cumplir. Estas condiciones son tres: si la frecuencia del usuario está dentro del rango de frecuencias a la que se debe llevar al usuario, si esta cercano a este rango o si esta lejos de este rango.

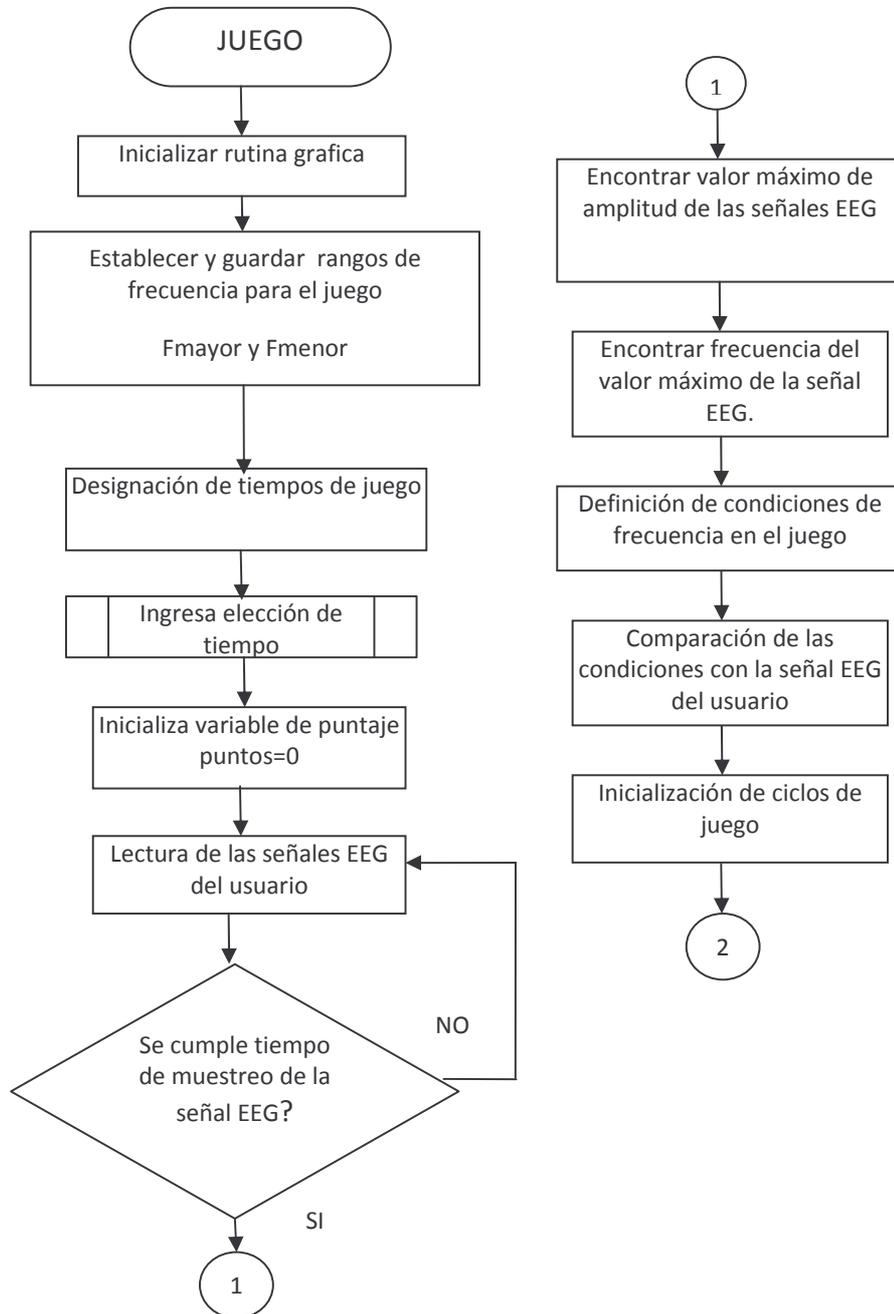
Se mantiene un continuo muestreo de las señales electroencefalográficas y se compara con estas condiciones, de acuerdo a la condición cumplida por las señales electroencefalográficas del usuario se debe asignar una cantidad de puntos de la siguiente manera: 0 puntos cuando no se aproxima a la frecuencia establecida, 5 puntos si se aproxima a dicha frecuencia y 10 puntos si exactamente se llega al valor de la frecuencia,

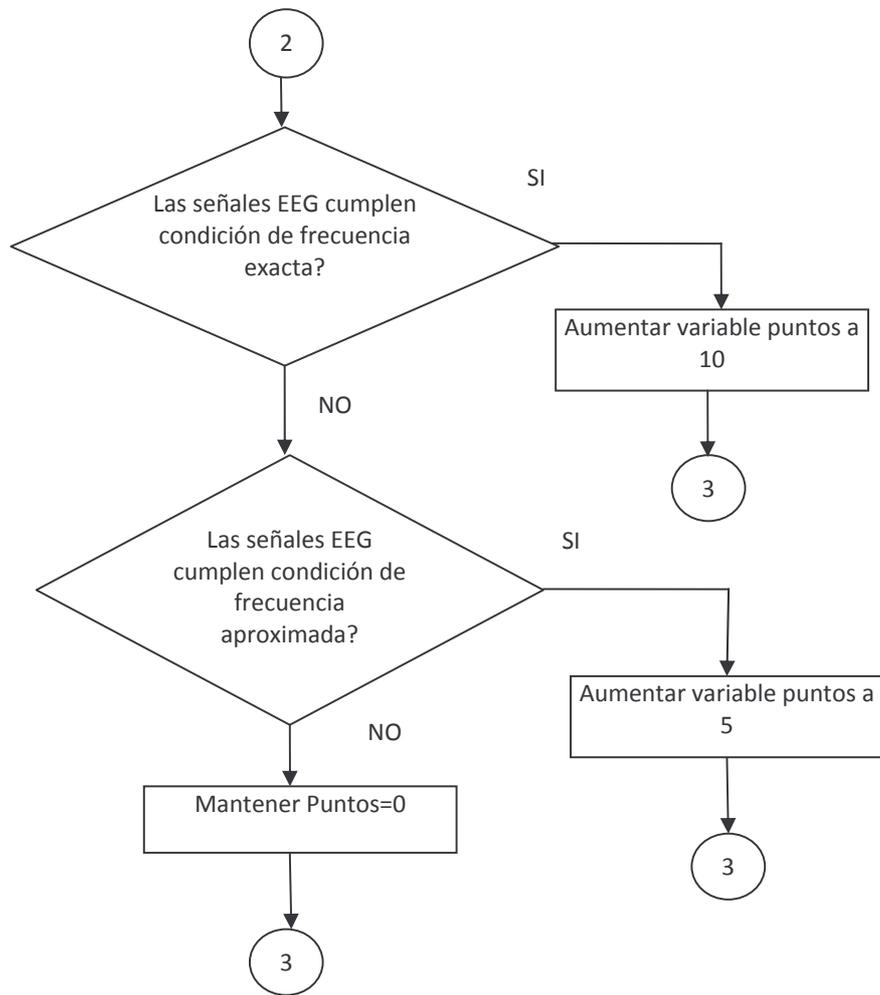
estos puntos quedan almacenados en una variable que se acumula a medida que se consiguen más puntos, y son visualizados dentro de la ventana del juego.

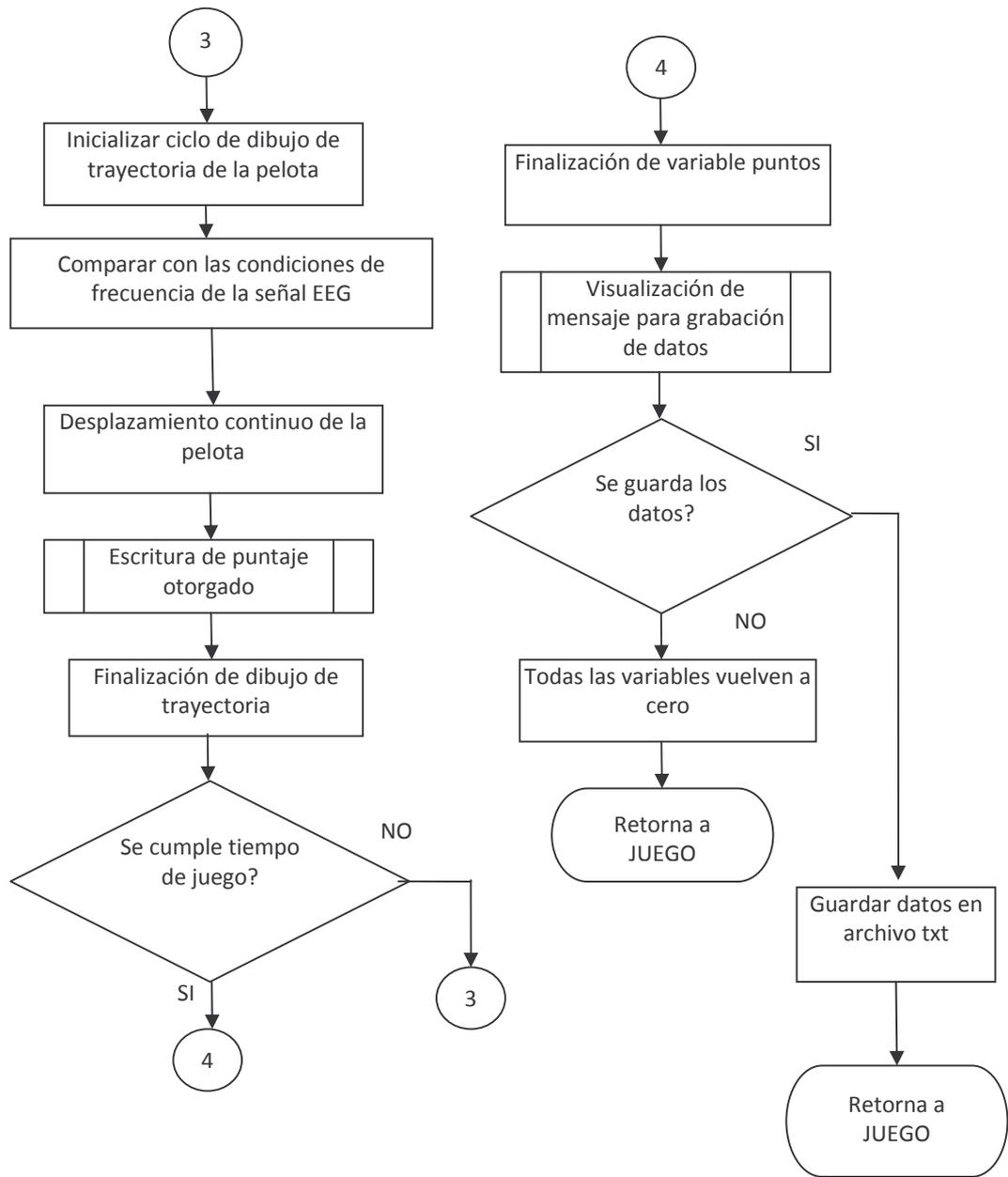
Para conseguir el movimiento continuo del cañón se establece otro ciclo para dibujar el recorrido del mismo, teniendo en cuenta la condición de frecuencias que se cumpla, para 0 puntos el cañón recorre una distancia corta sin alcanzar impactar al enemigo, para 5 puntos se alcanza a impactar las tropas del enemigo y para 10 puntos se impacta los tanques del enemigo, en el anexo 1 se observan las imágenes de estas tres posibilidades dentro del juego.

El diagrama de flujo de la rutina de juego se observa en la figura 22.

Figura 22. Diagrama de flujo de la rutina de juego







2.9 DESCRIPCION DEL SISTEMA DE CONTROL DEL MENU DE JUEGO

Dentro del programa que lleva a cabo el proceso o desarrollo del juego existe un menú que permite elegir las opciones del juego como son: el tiempo de la sesión de juego, el rango de frecuencias, y la opción de pausa de juego.

En cuanto al tiempo de juego existen 4 posibilidades que determinan la duración del proceso, estas son: 1 minuto, 5 minutos, 10 minutos y 15 minutos, para cada tiempo es necesario una opción extra que permita pausar el juego si el usuario lo desea, esto requiere interrumpir al temporizador del ciclo de juego guardando el ultimo valor y siguiendo desde este mismo valor en caso de reiniciar el proceso.

La opción de rango de frecuencias es controlada por dos variables que ingresan al sistema llenando dos campos que se presentan en la ventana del juego y se guardan.

También se presenta en la ventana de juego una visualización de la señal electroencefalográfica del usuario sin recurrir a la ventana de graficas, y se presenta en tiempo real el valor exacto de la frecuencia del usuario, así como el puntaje obtenido.

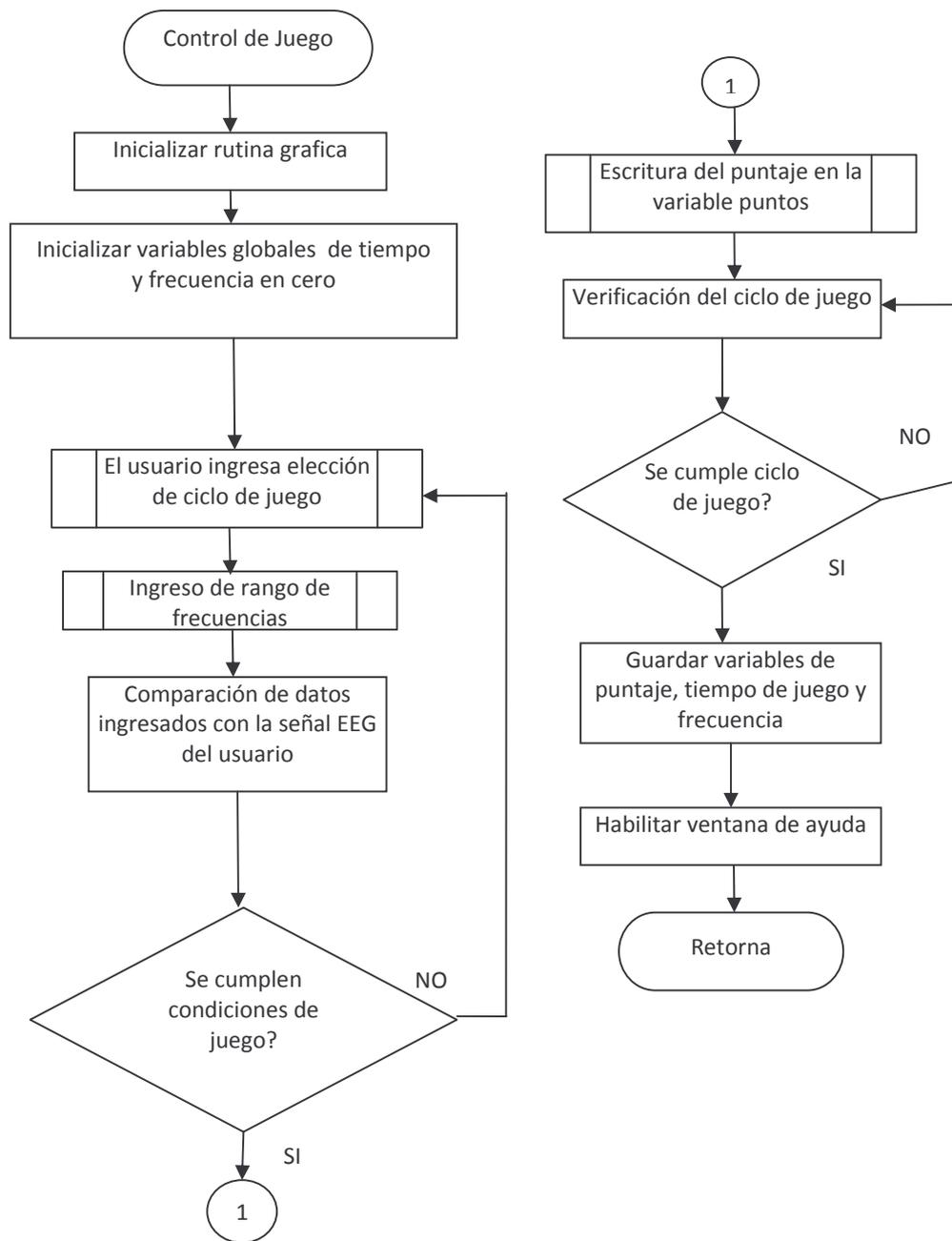
Existe también la opción de llamar a una ventana de ayuda que guía al usuario para entender el proceso completo del juego y todas sus opciones.

- **RUTINA DE CONTROL DE JUEGO**

La rutina que maneja el menú para controlar las opciones dentro del juego se encarga de cumplir con las condiciones que el usuario establece durante el ciclo de juego además de la visualización del puntaje y el valor de frecuencia electroencefalográfica instantáneo, donde debe detectar si hay cambios en este valor y compararlo con las condiciones iniciales, de esta manera se puede desarrollar el juego permitiendo la interacción con el usuario.

El diagrama de flujo de la rutina de control de juego se observa en la figura 23.

Figura 23. Diagrama de flujo de la rutina de control de juego.



En las siguientes gráficas se puede visualizar las diferentes ventanas que conforman el software de neuroterapia:

Figura 24. Captura de la ventana de presentación del software.



Figura 25. Captura de la ventana de juego.



Figura 26. Captura de la ventana de juego2.



Figura 27. Captura de la ventana de gráficas.

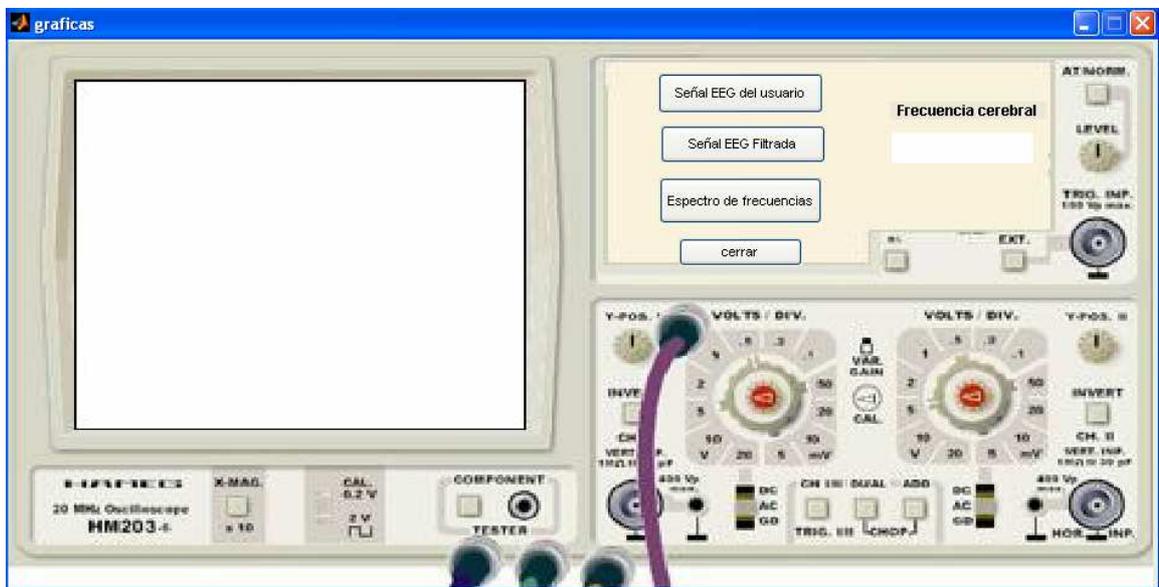


Figura 28. Captura de la ventana principal de ayuda.



Figura 29. Captura de la ventana inicio de juego del menú ayuda.

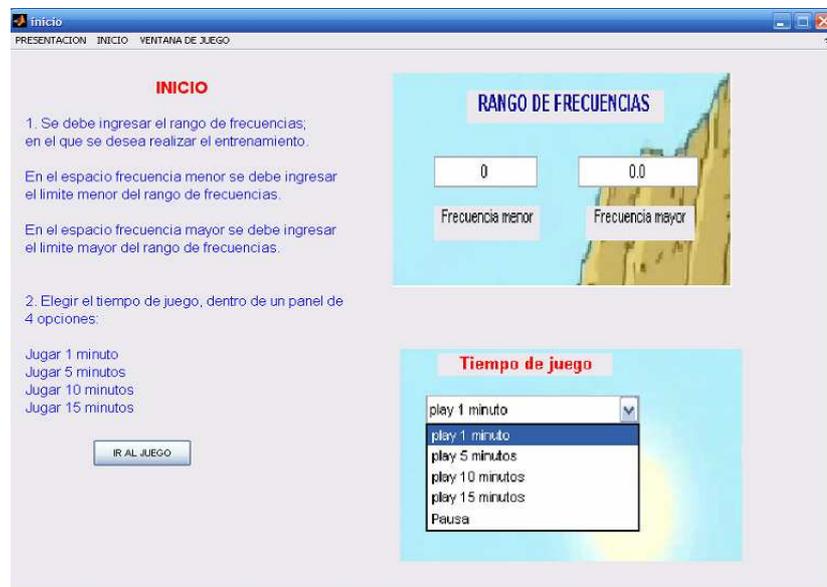


Figura 30. Captura de la ventana opciones de ventana juego del menú ayuda.



CONCLUSIONES

El proyecto denominado prototipo de equipo para neuroterapia cumple con los objetivos específicos planteados en el anteproyecto.

Se consigue implementar exitosamente el sistema análogo de adquisición de las señales electroencefalográficas, obteniendo señales muy adecuadas para su tratamiento posterior en computador.

La visualización de las señales electroencefalográficas en el computador se presentan de manera precisa y en tiempo real, además de las correspondientes graficas de espectro de frecuencias y señal filtrada.

El entorno de programación de Matlab ha permitido desarrollar el conjunto de rutinas del software del equipo de una forma precisa, secuencial, y ha facilitado la elaboración del proyecto descartando el uso de hardware para tareas como filtrado y adquisición de las señales.

El software que se diseña muestra las diferentes opciones que permiten llevar a cabo el proceso de neuroterapia, así como las herramientas de análisis de las señales electroencefalográficas.

El prototipo de equipo para neuroterapia elaborado sirve como herramienta didáctica y experimental en el área de electromedicina y áreas afines.

RECOMENDACIONES

Elaborar un sistema de recepción de señales electroencefalográficas que utilice electrodos activos, ya que estos no requieren el uso de gel, y se evita el cambio de electrodos desechables.

Crear una estructura que sostenga los electrodos activos recomendados, para garantizar el soporte y comodidad al usuario.

Ampliar las opciones de juego, aumentando niveles de dificultad y escenarios para mejorar la apariencia y entretenimiento.

Implementar las medidas o normas de seguridad establecidas si se desea cambiar la condición de prototipo a equipo médico.

Mejorar la definición o resolución trabajando con más canales de adquisición de la señal electroencefalográfica.

BIBLIOGRAFIA

ANALOG PRODUCTS DATABOOK, National Semiconductor, 2004 Edition.

GLOOR, Peter. Hans Berger on the Electroencephalogram of Man. Amsterdam: Elsevier Publishing Company 1969.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACION (ICONTEC). Documentación. Presentación de Tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación. Quinta actualización. Santa Fé de Bogotá: ICONTEC. 112 p.: il. (NTC 1486).

KANDELL, Jessel, Neurociencia y Conducta, Prentice Hall, 1997.

OPPENHEIM. Señales y Sistemas. Prentice-Hall. , 2000.

PALACIOS L. Breve historia de la electroencefalografía. Acta Neurológica Colombiana 2002

PALACIOS L, PALACIOS E. La epilepsia a través de los siglos. Bogotá: Editorial Horizonte 1999.

PALLAS, Rodrigo. Adquisición y Distribución de Señales. Marcombo-Boixareu, 1993

“ROWLAND HILL”. Microsoft® Encarta® 2006 [CD]. Microsoft Corporation, 2006. [Historia de la electroencefalografía]. [2007].

ANEXO 1. IMAGENES DE PUNTUACION DENTRO DEL JUEGO.

1. CERO PUNTOS

Corresponde cuando el usuario no consigue acercarse al rango de frecuencias establecido en los campos f_{menor} y f_{mayor} , el cañón no consigue impactar al enemigo.

Figura 1. Disparo para cero puntos.

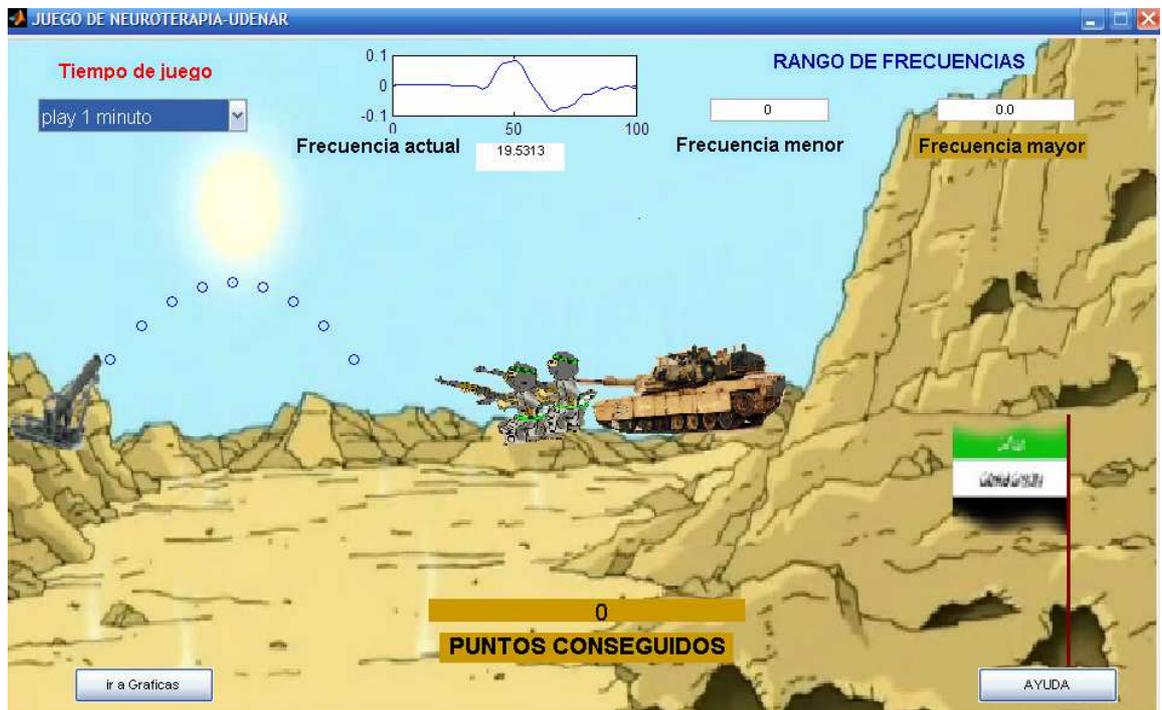


Figura 2. Lanzamiento para cero puntos en juego2.



2. CINCO PUNTOS

Corresponde cuando el usuario se acerca al rango de frecuencias establecido en los campos f_{menor} y f_{mayor} , el cañón impacta las tropas del enemigo.

Figura 3. Disparo para cinco puntos.

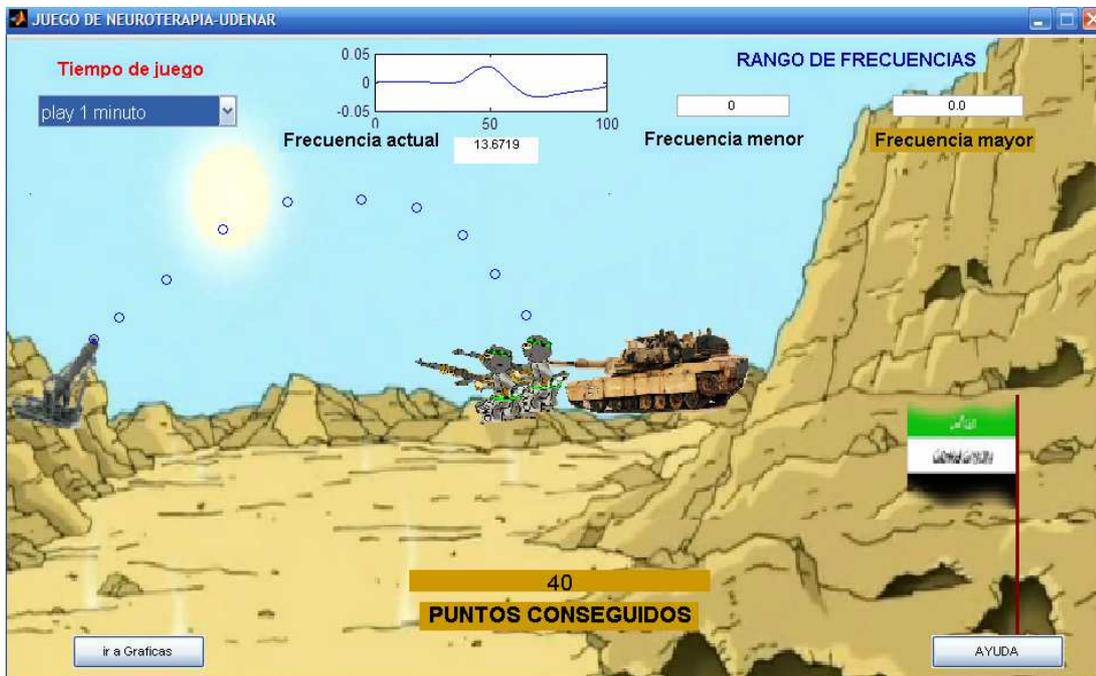


Figura 4. Lanzamiento para cinco puntos en juego2.



3. DIEZ PUNTOS

Corresponde cuando el usuario logra ubicarse dentro del rango de frecuencias establecido en los campos f_{menor} y f_{mayor} , el cañon impacta los tanques del enemigo.

Figura 5. Disparo para diez puntos.

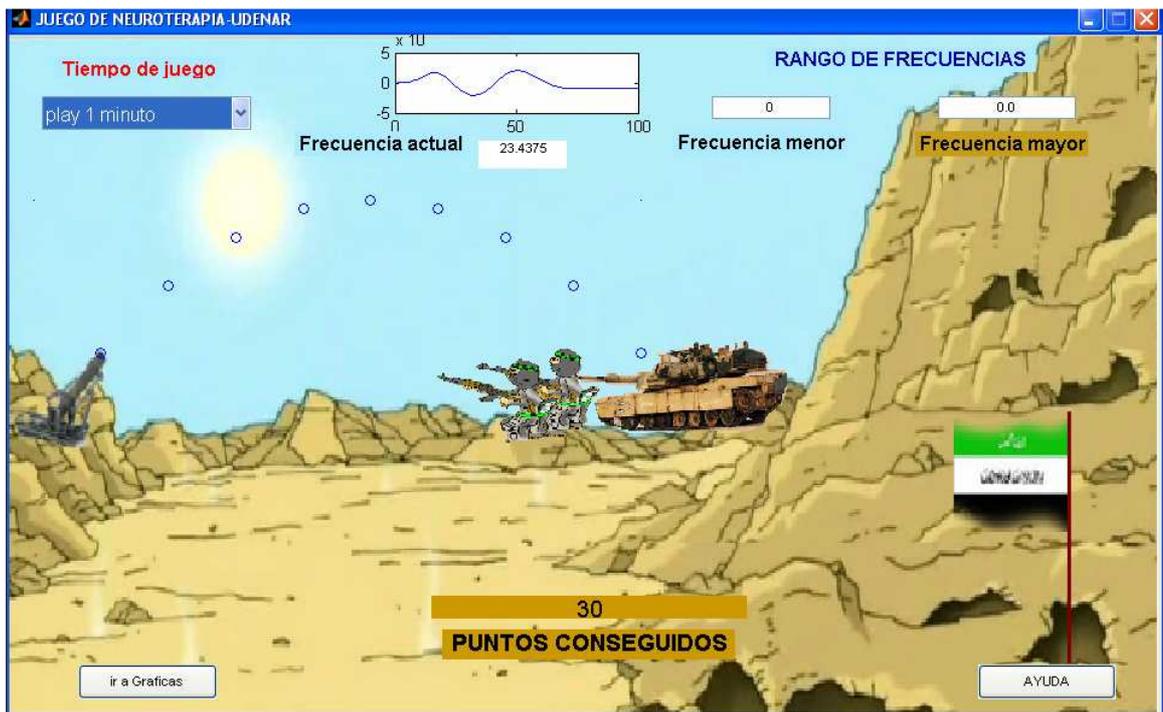


Figura 6. Lanzamiento para diez puntos en juego2.

