

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**  
**SEDE CUENCA**

**CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**TESIS PREVIA A LA  
OBTENCIÓN  
DEL TÍTULO DE  
INGENIERO ELECTRÓNICO**

**TEMA:**

**“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E  
IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE  
ESTIMULACIÓN AUDIOVISUAL PARA EL  
ANÁLISIS DE LAS ONDAS ALFA”**

**AUTORES:**

**DANIELA MÉNDEZ A.**

**EFRÉN LEMA C.**

**DIRECTOR:**

**ING. ESTEBAN ORDOÑEZ**

**OCTUBRE 2013**

## CERTIFICACIÓN

En calidad de DIRECTOR DE LA TESIS “*Diseño, construcción e implementación de un prototipo de estimulación audiovisual para el análisis de las ondas alfa*”, elaborada por Daniela Méndez y Efrén Lema, declaro y certifico la aprobación del presente trabajo de tesis basándose en la supervisión y revisión de su contenido.

Cuenca, 22 Octubre de 2013

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Esteban', followed by a large, circular, scribbled flourish.

Ing. Esteban Fernando Ordoñez Morales

**DIRECTOR DE TESIS**

**Cuenca, 22 Octubre de 2013**

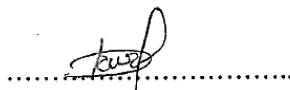
## **DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD**

De nuestra consideración:

Nosotros, Daniela Alexandra Méndez Alvarado y Efrén Leandro Lema Condo estudiantes de la carrera de Ingeniería Electrónica de la Universidad Politécnica salesiana Sede Cuenca, Autores del proyecto intitulado:

### **“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE ESTIMULACIÓN AUDIOVISUAL PARA EL ANÁLISIS DE LAS ONDAS ALFA”**

Declaramos que dicho proyecto fue desarrollado por los autores mencionados, desde su concepción hasta su culminación, donde, los conceptos desarrollados, diseños implementados, análisis del sistema realizado y conclusiones tanto prácticas como teóricas son de exclusiva responsabilidad de los autores. Se permite la libre difusión de este texto a la Universidad Politécnica Salesiana con fines académicos investigativos por cualquier medio.



Daniela Méndez A.



Efrén Lema C.

**AUTORES**

## DEDICATORIA

*Este logro es para ti ñaño Tomi (†), mi angelito de la guarda, con todo el amor del mundo, quien fue la persona que me impulsó a inclinarme por esta carrera profesional, su habilidad y destreza para la electrónica me impresionaba y causó en mí ese deseo de ser como él; admiré siempre su grado de madurez a pesar de ser menor a mí, siempre sabía lo que tenía que hacer, como y cuando lo debía hacer, la manera de resolver las dificultades de la vida. Persona íntegra con sus principios bien cimentados y su amor incondicional, mi mejor amigo y confidente, el guardador de mis secretos, quién reía y lloraba conmigo cuando yo lo hacía; dormía conmigo desde que tenía uso de razón, por ello siempre estuvo presente en todos los momentos de mi vida buenos y malos, ayudándome a superar los desatinos y apoyándome en los aciertos, demostrándome que nada es imposible en esta vida que solo basta con quererlo para lograrlo, por eso y por todo lo que compartimos durante los 21 años que vivimos juntos, hoy estoy cumpliendo la promesa que te hice el día de tu partida, tratando de que hoy te sientas muy orgulloso de mí y pongas en tu rostro esa sonrisa tan linda, que permanece constante en mis recuerdos. Te amo mi flaquito.*

*A los amores de mi vida, quienes han sido la razón de mi vivir y que han hecho posible que yo llegue a cumplir uno de mis propósitos, que con su apoyo incondicional y su muestra de cariño me hicieron ver que es posible llegar al fin de esta meta, los amo Pau, Alex, Sebas, Goffy, Nicky, a ti mi nenita Emy y a mi pedacito de cielo Nico.*

*Danny*

## **AGRADECIMIENTOS**

*A Dios por su infinita bondad, por haberme guiado paso a paso en el desarrollo de esta carrera profesional, por ser la luz a lo largo de este recorrido que se compone de muchas alegrías y tristezas.*

*A mi familia por ser el apoyo incondicional, de manera especial a mis padres, hermanos, primos y sobrinos. Destacando el amor que me han brindado desde muy pequeña mis tías, Mary y María quienes han sido más que hermanas y mejores amigas a la vez, simplemente gracias por estar siempre pendientes de mí, además de ser los mejores ejemplos de superación, enseñándome que hay que ser perseverantes en la vida sin declinar antes de lograr lo que uno realmente desea, a mi abuelita Matilde que con su cariño y ternura me ha acompañado en este arduo camino y a mi Soffy por ser mi confidente, hermana, prima gracias miña te amo con todo mi corazón.*

*A todos mis amigos que me han ayudado de forma directa o indirecta a cumplir este sueño, simplemente un gracias con la mano en el corazón a Efrén y Jorge que son mis mejores amigos y me han acompañado a lo largo de esta carrera siendo un pilar fundamental en el desarrollo de esta tesis.*

*Y de manera especial al Ing. Esteban Ordoñez quien nos ha guiado y colaborado en el desarrollo de esta tesis, al Ing. Leonardo Bueno por todas sus sugerencias, al Ing. Fernando Urgilés por haber compartido información, a la Ing. Ana Cecilia Villa por habernos ayudado a elegir el tema de tesis y al economista Xavier Méndez.*

*Danny*

# DEDICATORIA

*Son muchas las personas que han llegado a mi vida, unas para ser parte de ella y otras para brindar su apoyo en el momento necesario y partir. Algunos están aquí conmigo y otras en mis recuerdos y mi corazón. Pero Ustedes Papi Manuel y Mami Etelvina han estado siempre presentes desde que inicie mis pasos de niño y empecé a conocer el mundo, cuando alcanzo mis metas y cometo errores, ustedes en todo momento han sido un pilar fundamental para velar por mi bienestar y demostrarme que una vida sencilla y tranquila, que una vida de familia es el mejor tesoro, por esta razón les dedico este trabajo para demostrarles mi gratitud por su gran sabiduría.*

*A mis hermanos Heriberto, Pascual, Luis, Sarita, Telmo, Luz, Wilmer, quienes a pesar de la distancia, año tras año desde mis primeros pasos fueron guidándome con sus consejos y sacrificaron muchas de sus metas y comodidades para ayudarme a conseguir mi sueño. Cada uno de ustedes posee cualidades envidiables que desearía tener y aprender. Ustedes son mi ejemplo a seguir, gracias por estar en una etapa tan importante de mi vida.*

*A mis sobrinas Tamy, Achic, Caro, Nari, quienes han compartido conmigo muchas alegrías y locuras, y a estas alturas de la vida ya hemos superado innumerables dificultades. Espero junto a ustedes seguir adelante.*

*A ti Claudia, aún recuerdo cuando te decía que tu nombre estaría en la tesis. Mil gracias por haber estado en gran parte de mi vida universitaria. Fuiste un gran apoyo y la persona que más entendió mi locura.*

*“Jamás he conocido a alguien que me cause más problemas que yo”. Dwight L. MOODY*

**Efrén**

## ***AGRADECIMIENTOS***

*Quiero expresar mi gratitud imperecedera a todos mis amigos que a veces me apoyan, a veces se apoyan en mí, y a veces es suficiente tan solo saber que están ahí.*

*A mis amigos y amigas de barrio Tere, Celia, Bertha, Fabián, Marcelo, Darwin, Mauricio, Juan, Paul, Mario, Diego, y a todos quienes colaboraron en el desarrollo de este trabajo y han aportado con un granito de arena a mi formación, recuerden que un amigo es un Hermano que uno elige, anhelo que sigamos compartiendo grandes momentos. Gracias por permitirme ser parte de muchas de sus actividades. Una nueva etapa inicia no solo para mí, sino para todos nosotros.*

*A Hernán; amigo recuerda que familia es con quien vives y compartes, no quien te dio la vida. Gracias por ser un punto de apoyo importante por más de una década, por esos días de juerga, trabajos, tiempos de colegio y universidad. En verdad y de todo corazón, gracias amigo.*

*A mis amigos y amigas de la universidad Mary, Danny, Jorge, Francisco, Byron, Cristian, Fernando, por los buenos momentos compartidos, por el apoyo brindado durante mi vida universitaria y por estar en las buenas y malas situaciones, les tendré siempre presente.*

*Y de manera especial al Ing. Esteban Ordoñez quien nos ha guiado y colaborado en el desarrollo de esta tesis, al Ing. Leonardo Bueno por todas sus sugerencias, al Ing. Fernando Urgilés por haber compartido información, a la Ing. Ana Cecilia Villa por habernos ayudado a elegir el tema de tesis y al economista Xavier Méndez.*

***Efrén***

---

# ÍNDICE GENERAL

---

|                                                                        |           |
|------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. FUNDAMENTOS .....</b>                                            | <b>1</b>  |
| 1.1. Introducción .....                                                | 1         |
| 1.2. El cerebro.....                                                   | 1         |
| 1.2.1. Corteza Cerebral .....                                          | 2         |
| 1.3. El oído .....                                                     | 3         |
| 1.3.1. Oído externo .....                                              | 3         |
| 1.3.2. Oído medio .....                                                | 4         |
| 1.3.3. Oído interno .....                                              | 4         |
| 1.4. La visión .....                                                   | 5         |
| 1.4.1. Globo ocular .....                                              | 5         |
| 1.4.2. Vías ópticas .....                                              | 5         |
| 1.4.3. Anexos de la visión .....                                       | 6         |
| 1.5. El electroencefalograma .....                                     | 6         |
| 1.5.1. Captación de las señales EEG .....                              | 7         |
| 1.5.2. Potenciales evocados .....                                      | 8         |
| 1.5.3. Ondas alfa .....                                                | 8         |
| 1.6. Sonidos binaurales .....                                          | 9         |
| 1.7. Luz estroboscópica.....                                           | 11        |
| 1.8. Biorretroalimentacion y neuroretroalimentación .....              | 13        |
| 1.9. Descripción del Emotiv EPOC .....                                 | 14        |
| 1.9.1. Comunicación con LabVIEW.....                                   | 16        |
| 1.9.2. Comunicación Openvibe Designer con Emotiv EPOC .....            | 17        |
| <b>2. ESTRUCTURA ERGONÓMICA DEL DISPOSITIVO AUDIOVISUAL.....</b>       | <b>21</b> |
| 2.1. Introducción.....                                                 | 21        |
| 2.2. Diseño de la estructura para el sistema audiovisual.....          | 21        |
| 2.2.1. Construcción de la estructura para el sistema audiovisual ..... | 23        |
| 2.3. Diseño electrónico .....                                          | 23        |
| 2.3.1. Diseño del circuito electrónico .....                           | 24        |
| 2.3.2. PCB de la tarjeta electrónica.....                              | 24        |
| <b>3. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SOFTWARE .....</b>                   | <b>27</b> |
| 3.1. Introducción.....                                                 | 26        |
| 3.2. Diseño de la interfaz de usuario.....                             | 26        |
| 3.3. Monitoreo de las señales EEG .....                                | 30        |
| 3.4. Monitoreo de las señales ECG .....                                | 32        |
| <b>4. RESULTADOS Y ANALISIS.....</b>                                   | <b>35</b> |
| 4.1. Introducción.....                                                 | 35        |
| 4.2. Transformada Wavelet .....                                        | 35        |
| 4.3. Análisis estadístico de las ondas EEG .....                       | 38        |
| 4.4. Análisis de las ondas ECG.....                                    | 45        |



|                         |                                            |           |
|-------------------------|--------------------------------------------|-----------|
| 4.5.                    | Presupuesto del proyecto.....              | 48        |
| <b>5.</b>               | <b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b> | <b>51</b> |
| 5.1.                    | Conclusiones.....                          | 51        |
| 5.2.                    | Recomendaciones.....                       | 53        |
| <b>ANEXOS.....</b>      |                                            | <b>54</b> |
| Anexo 1.....            |                                            | 55        |
| Anexo 2.....            |                                            | 58        |
| Anexo 3.....            |                                            | 60        |
| Anexo 4.....            |                                            | 66        |
| Anexo 5.....            |                                            | 71        |
| Anexo 6.....            |                                            | 74        |
| Anexo 7.....            |                                            | 75        |
| <b>REFERENCIAS.....</b> |                                            | <b>78</b> |

---

## ÍNDICE DE TABLAS

---

|                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 2.1. Características de la silla.....                                 | 22 |
| Tabla 4.3.1. Cuadro estadístico sin Estimulación total .....                | 39 |
| Tabla 4.3.2. Cuadro estadístico con Estimulación total .....                | 41 |
| Tabla 4.3.3. Correlación total entre ondas no estimuladas .....             | 42 |
| Tabla 4.3.4. Correlación total entre ondas estimuladas .....                | 43 |
| Tabla 4.4.1. Relación de frecuencias cardíacas con y sin estimulación ..... | 46 |
| Tabla 4.5.1. Costo del prototipo Audiovisual.....                           | 48 |
| Tabla 4.5.2. Venta del servicio .....                                       | 49 |
| Tabla 4.5.3. TIR y VAN de la venta del servicio .....                       | 49 |
| Tabla 4.5.4. Venta del Producto .....                                       | 49 |
| Tabla 4.5.5. Ventas del equipo por año .....                                | 50 |
| Tabla 4.5.6. Análisis del TIR y del VAN de la venta del producto.....       | 49 |

---

## ÍNDICE DE FIGURAS

---

|                                                                                 |    |
|---------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1.1. Corteza cerebral humana .....                                       | 2  |
| Figura 1.2. Estructura del oído .....                                           | 4  |
| Figura 1.3. Globo ocular .....                                                  | 6  |
| Figura 1.4. Posicionamiento de electrodos con Emotiv Epoc .....                 | 7  |
| Figura 1.5. Ondas alfa y mu .....                                               | 8  |
| Figura 1.6. Relación electrodos - corteza cerebral .....                        | 9  |
| Figura 1.7. Diferencia de frecuencias para cada uno de los oídos .....          | 9  |
| Figura 1.8. Estimulación visual mediante un destello de 10 Hz .....             | 12 |
| Figura 1.9. Actividad EEG en la frecuencia de estímulo .....                    | 13 |
| Figura 1.10. Emotiv EPOC Research .....                                         | 14 |
| Figura 1.1.1 Humectación de las almohadillas .....                              | 15 |
| Figura 1.12. Colocación de los sensores en los brazos .....                     | 15 |
| Figura 1.13. Colocación de la diadema en la cabeza .....                        | 16 |
| Figura 1.14. Vipm-13.0.1878-windows-setup .....                                 | 16 |
| Figura 1.15. Emotiv Development Kit v1.0.0.5-LITE .....                         | 16 |
| Figura 1.16. Dirección de la librería dinámica en el path de LabVIEW .....      | 17 |
| Figura 1.17. Openvibe Designer .....                                            | 17 |
| Figura 1.18. Openvibe Acquisition Server .....                                  | 18 |
| Figura 1.19. Dispositivo de Configuración .....                                 | 19 |
| Figura 1.20. OpenVIBE Acquisition Server .....                                  | 19 |
| Figura 1.21. OpenVIBE Designer .....                                            | 20 |
| Figura 2.1. Diagrama de bloques de la estructura Audiovisual .....              | 21 |
| Figura 2.2. Estructura del dispositivo de estimulación Audiovisual .....        | 22 |
| Figura 2.3. Vista frontal y lateral de la estructura Audiovisual .....          | 23 |
| Figura 2.4. Esquema funcional del sistema visual .....                          | 23 |
| Figura 2.5. Circuito electrónico .....                                          | 24 |
| Figura 2.6. PCB de la tarjeta electrónica .....                                 | 25 |
| Figura 2.7. Tarjeta electrónica elaborada.....                                  | 25 |
| Figura 2.8. Tarjeta electrónica elaborada y completa .....                      | 26 |
| Figura 3.1. Interfaz del usuario, frecuencias generadas .....                   | 28 |
| Figura 3.2. Programación en diagrama de bloques de frecuencias generadas .....  | 28 |
| Figura 3.3. Wólfgang Amadeus Mozart .....                                       | 29 |
| Figura 3.4. Interfaz del usuario, análisis de canciones .....                   | 29 |
| Figura 3.5. Programación en diagrama de bloques del análisis de canciones. .... | 30 |
| Figura 3.6. Programación para la obtención de señales EEG en Openvibe .....     | 31 |

|                                                                                    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 3.7. Visualización de señales EEG en Openvibe .....                         | 31 |
| Figura 3.8. Colocación de electrodos.....                                          | 32 |
| Figura 3.9. Posición para la adquisición de señales ECG .....                      | 32 |
| Figura 3.10. Visualización de señales ECG en Biopac-mp45 .....                     | 33 |
| Figura 3.11. Protocolo para la adquisición de señales EEG y ECG .....              | 34 |
| Figura 3.12. Forma de obtención de las muestras .....                              | 34 |
| Figura 4.2.1. Componente de construcción de una señal mediante TW .....            | 36 |
| Figura 4.2.2. Transformada Wavelet .....                                           | 36 |
| Figura 4.2.3. Subseñales de las ondas EEG .....                                    | 37 |
| Figura 4.2.4. FFT de las subseñales de las ondas EEG .....                         | 37 |
| Figura 4.3.1. Formas de la relación de Asimetría .....                             | 38 |
| Figura 4.3.2. Formas de la Curtosis .....                                          | 39 |
| Figura 4.3.3. Histogramas de las medias de ondas EEG s/estimulación total .....    | 40 |
| Figura 4.3.4. Dispersiones de las medias de ondas EEG s/estimulación total.....    | 40 |
| Figura 4.3.5. Histogramas de las medias de ondas EEG c/estimulación total .....    | 41 |
| Figura 4.3.6. Dispersiones de las medias de ondas EEG c/estimulación total.....    | 42 |
| Figura 4.3.7. Correlaciones entre ondas no estimuladas .....                       | 43 |
| Figura 4.3.8. Correlaciones entre ondas estimuladas .....                          | 44 |
| Figura 4.3.9. Medias aritméticas de las estimulaciones con los no estimulados .... | 44 |
| Figura 4.3.10. Estimulación en los Temporales y Occipitales .....                  | 45 |
| Figura 4.4.1. Señal del ECG .....                                                  | 46 |
| Figura 4.4.2. Porcentajes de las medias aritméticas del ECG .....                  | 47 |

---

# CAPÍTULO 1

---

## 1. FUNDAMENTOS

### 1.1. Introducción

Este capítulo está dirigido al estudio de la inducción, al estado alfa de las personas, partiendo de la estimulación visual y auditiva. Para el cual se expone de manera rápida el funcionamiento fisiológico del oído y la vista.

De otra forma, el cerebro humano se compone de millones de neuronas, de las cuales cada una emite cierta cantidad eléctrica que individualmente no puede ser percibida, pero mediante un electroencefalograma podemos observar su resultante. La misma que le conoce como ondas cerebrales, que se dividen en cuatro grupos; Alfa, Beta, Delta y Theta.

De igual manera el cerebro obtiene señales del medio, a través de sus distintos órganos como el oído y la vista. Para estimular las ondas alfa particularmente se aplica un sonido binaural que se compone de dos frecuencias audibles levemente diferentes. Y en el caso de la vista se le aplica luz estroboscópica.

Mediante la Neurorretroalimentación, se puede estimular el cambio de la actividad eléctrica del cerebro, con este se busca disminuir o aumentar cualquiera de las ondas mencionadas anteriormente. En este caso la onda Alfa y registrar cuyos cambios con la ayuda del dispositivo EPOC<sup>1</sup>, para su respectivo análisis.

### 1.2. El cerebro

Es el encargado de recibir y dar la orden para que se ejecute una acción específica, partiendo de la transmisión de la información que reciben los órganos sensoriales de su alrededor [1].

---

<sup>1</sup> **EPOC.**- Es un equipo que permite la adquisición y procesamiento de neuroseñales, mediante una serie de sensores que detectan la actividad eléctrica cerebral. Y se conecta de manera inalámbrica a la mayoría de computadoras.

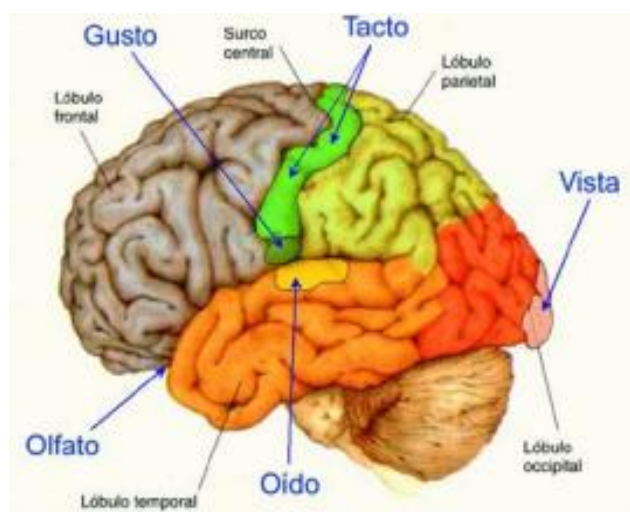
Con un peso aproximadamente de 1200 a 1400 gr, en un humano adulto, además de ser la parte más grande que se ubica en el encéfalo y que se divide en dos partes fundamentales que son; la corteza cerebral y el sistema límbico [1].

**1.2.1. Corteza cerebral.-** Es la parte externa del cerebro que contiene una sustancia gris, debajo de la misma se encuentra otra capa de una sustancia blanca, la que transporta las señales de un lado hacia otro, cabe recalcar que permite efectuar los movimientos, también transforma la información receptora y procede a realizar órdenes a los miembros efectores [1].

Se encarga de controlar a las partes del sistema nervioso, aquí es donde se dan las capacidades intelectuales, la memoria, el raciocinio, la conciencia y la voluntad. La misma se divide en dos hemisferios derecho que es la parte intuitiva y creativa, el izquierdo realiza la parte lógica y analítica [1].

En la parte interna de dicha corteza se encuentra el sistema límbico, que es la parte primordial para emociones, aprendizaje, comprensión, para la supervivencia de una persona.

En la figura 1.1 se muestra la estructura de la corteza cerebral y los cinco sentidos fundamentales de un humano adulto.



**Figura. 1.1.** Corteza cerebral humana<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> Fuente: ( <http://biocia.files.wordpress.com/2011/02/sistema-nervioso.pdf>. Fecha de consulta 12 de Julio de 2013)

El canal auditivo se divide en dos partes; el auditivo ascendente que transmite la información hacia la corteza cerebral auditiva, la misma que está ubicada en el lóbulo temporal y el auditivo descendente que trabaja de forma paralela llevando la información hacia el receptor auditivo.

Dicha corteza auditiva, es la parte principal para la audición de las personas, así como el habla y la música. Se divide en tres partes fundamentales que son; corteza primaria, secundaria y terciaria [2].

**Corteza primaria auditiva.-** Recibe las señales eléctricas en forma de efectos sonoros, presenta nervios binaurales que permiten localizar a un sonido ya que ambos hemisferios resultan estimulados por los oídos tanto derechos como izquierdo [2].

**Corteza secundaria auditiva.-** Reconoce como unidades de lenguaje a dichos efectos sonoros derivados de la corteza primaria auditiva. En el hemisferio derecho se procesa los sonidos no verbales [2].

**Corteza terciaria auditiva.-** En esta parte se reúne toda la información hasta obtener la idea general para la percepción sonora, además tiene el aporte de representaciones mentales que permiten que se dé el lenguaje en forma simbólica, sucediendo todo esto en el córtex frontal [2].

Entonces luego de que se generan los impulsos nerviosos se transmiten hasta los núcleos cocleares dando lugar a la sinapsis del sistema nervioso auditivo en el tronco encefálico para finalizar con la fase de la audición.

### **1.3. El oído**

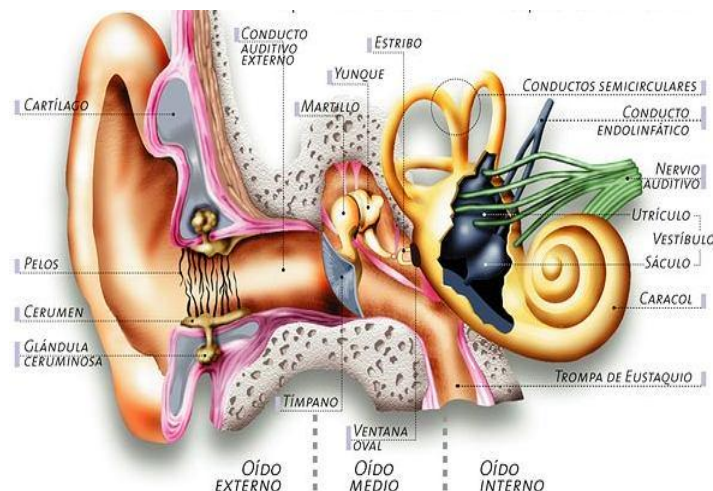
Se encarga de percibir las ondas sonoras y hacer llegar hasta los oídos las señales nerviosas, que el cerebro se encarga de interpretar. Además se conforma de tres partes importantes que son; el oído externo, oído medio y oído interno [3].

**1.3.1. Oído externo.-** Está formado por la parte exterior que se le conoce como cartílago elástico, seguido a él, va el conducto auditivo que es muy parecido a un cono el cual permite llevar la información sonora al tímpano y por último la membrana que separa al oído externo del oído medio. Esta parte del oído es importante ya que nos permite saber si la señal sonora está por delante de la persona o por detrás, o estimar la distancia a que se encuentra la fuente sonora [3].

**1.3.2. Oído medio.-** Se ubica contiguo al oído externo, en el cual, se encuentran tres partes importantes que son; martillo, yunque y estribo que están unidos entre sí, de manera que el extremo del martillo está fusionado al tímpano, por otro lado el estribo está incorporado mediante un anillo flexible a las paredes de la ventana oval, que tiene una pequeña abertura en la rampa vestibular de la cóclea, la misma que permite la entrada del sonido al oído interno. De esta manera toda la energía de vibración timpánica se encuentra en la pared coclear, de modo que pueda eliminar las diferencias que se pueden presentar por la influencia del aire, con el medio y los fluidos que circulan por dicho sistema, para así brindar una mejor transmisión de la información sonora. Los músculos estriados que se encuentran dentro del martillo, el nervio trigémino que es parte de la mandíbula y el estapedio que se ubica dentro del estribo, teniendo a un nervio importante que es el nervio facial, realizando el trabajo de proteger al oído de cualquier tipo de trauma acústico [3].

**1.3.3. Oído interno.-** Está seguido al oído medio, siendo la parte concluyente de la audición de una persona que se encarga, de trabajar al sonido mecánico, permitiendo el procesamiento de la onda sonora así como a la transducción de la misma y finalmente genera las señales nerviosas, en forma de impulsos en el cerebro [3].

En la figura 1.2 se presenta un esquema de las partes que componen al oído humano.



**Figura 1.2.** Estructura del oído <sup>3</sup>

<sup>3</sup>**Fuente:** ([http://www.sonidosimaginarios.es/docencia/didactica/guia\\_didactica.pdf](http://www.sonidosimaginarios.es/docencia/didactica/guia_didactica.pdf). Fecha de consulta 12 de Julio de 2013)



## **1.4. La visión**

El espectro visible del ojo es una pequeña fracción del espectro electromagnético, y está comprendida entre 380nm (violeta) y los 780nm (rojo), fuera de este rango el ojo es ciego a toda radiación. Este órgano es capaz de adaptarse automáticamente a las distintas luminancias de las cosas contrayéndose o dilatándose dependiendo si la luz es intensa o escasa [4].

El proceso de la visión se puede interpretar en cuatro fases; la primera es la percepción, la luz que reflejan los objetos, entra en el ojo traspasando órganos como (córnea, humor acuoso, cristalino y humor vítreo). La segunda es la transformación, cuando los rayos de luz alcanzan la retina, y las células sensoriales (conos y bastones) transforman esta energía en impulsos nerviosos. En la fase de transportación los impulsos nerviosos viajan a través del nervio óptico hasta la corteza cerebral, a las regiones especializadas en la visión. Por último la fase de la interpretación, la corteza cerebral reconoce y procesa la información recibida para saber lo que se observa [5].

Para entender el proceso de la visión es necesario conocer las tres partes constitutivas más relevantes.

### **1.4.1. Globo Ocular**

EL globo ocular tiene la forma de una esfera con un abombamiento sobre su superficie delantera. Su parte externa está constituida por tres clases de tejidos, la capa más externa denominada esclerótica cumple la función de protección, la capa media o úvea está compuesto por tres partes bien diferenciadas conocidas como: coroides, cuerpo ciliar, el iris y la capa interna es la retina, sensible a la luz [5].

### **1.4.2. Vías ópticas**

Mediante estas vías, se transmite información receptadas por los ojos al cerebro, la luz reflejada provoca en los conos y bastones (fotorreceptores), una reacción química que convierte las imágenes en impulsos eléctricos los cuales viajan desde la retina hasta el lóbulo occipital del cerebro, a través del nervio óptico [5].

### 1.4.3. Anexos de la visión

Así mismo el globo ocular está compuesto por partes que se encargan de proteger, alimentar, mover y limpiar la vista del ser humano.

**Sistema óculo-motor.** Conformado por seis músculos que proporcionan el movimiento en todas las direcciones de la vista. Son cuatro músculos rectos (superior, inferior, interno y externo) y dos oblicuos (superior e inferior).

**Sistema de protección.** Los ojos están alojados en las cavidades oculares óseas del cráneo. Tiene pliegues, músculos cutáneos superior e inferior, y en sus extremos se ubican las pestañas que protegen al ojo, de la luz, el polvo y los cuerpos extraños mientras que el parpadeo actúa limpiando la córnea y humedeciéndola.

**Aparato lagrimal.** Se encarga generalmente de humectar la superficie del ojo, elimina los cuerpos extraños y posee enzimas de defensa contra infecciones [5].

En la figura 1.3 se puede apreciar cada una de las partes descritas anteriormente.

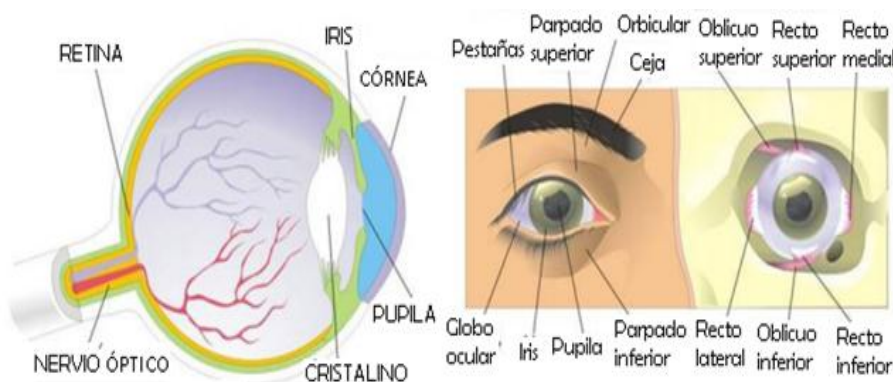


Figura 1.3. Globo ocular<sup>4</sup>

## 1.5. El electroencefalograma

El electroencefalograma es la detección de la actividad eléctrica cerebral, por medio de electrodos colocados en el cuero cabelludo e impresos en papel o monitor.

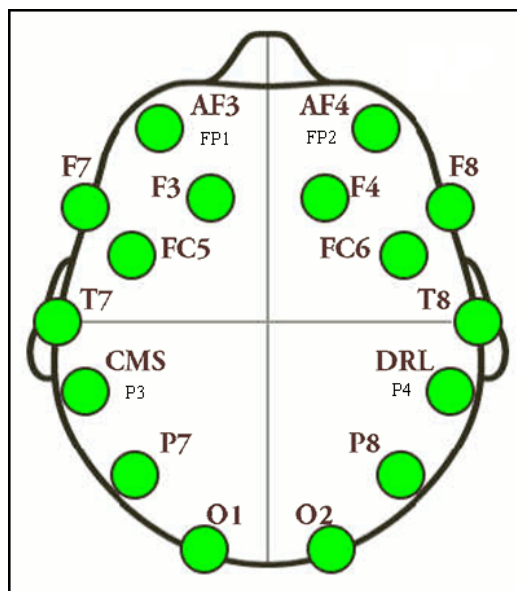
<sup>4</sup> Fuente: ([http://www.ite.educacion.es/formacion/materiales/129/cd/pdf/m1\\_dv.pdf](http://www.ite.educacion.es/formacion/materiales/129/cd/pdf/m1_dv.pdf), Fecha de consulta 14 de julio de 2013)

Esta actividad eléctrica se viene dada por los fenómenos que ocurren en la sinapsis, son de naturaleza química, pero tienen efectos eléctricos que se pueden medir pero una sola neurona no llega a ser apreciable por lo que se mide la resultante de todas ellas [6].

Las señales electroencefalográficas están comprendidas en un espectro de frecuencia de 0 a 30 Hz [7] y está compuesto por cuatro bandas de frecuencia conocidas como; Delta, que va de 1 Hz a 4 Hz y tiene una amplitud entre 70 –100  $\mu$ V. Tetha, entre 4 Hz a 8 Hz con una amplitud de 50  $\mu$ V. Alfa con frecuencias de 8 Hz a 12 Hz) y una amplitud de 20 a 60  $\mu$ V. Por último la banda de frecuencia beta que va de 12 Hz- 30 Hz con amplitud de 10 a 15  $\mu$ V [6] [8].

### 1.5.1. Captación de la señal EEG.

Para obtener la variación de la actividad eléctrica de estas señales, se requiere situar a la persona sensores (electrodos) en diferentes partes de la cabeza. Se ubican entre 16 y 25 electrodos entre la parte occipital, parietal y frontal del cráneo, con una nomenclatura que indica en que región de la cabeza están localizados: frontal (f), central (c), parietal (p), occipital (o) y fronto-polar (fp) [9]. Según el sistema internacional de posicionamiento de electrodos 10/20 los electrodos del Emotiv Epoc quedarían como se muestra en la figura 1.4.



**Figura 1.4.** Posicionamiento de electrodos con Emotiv Epoc<sup>5</sup>

<sup>5</sup> Fuente: ( <http://nuerofeedback.visaduma.info/emotivresearch.htm>. Fecha de consulta: 15 de Julio de 2013 )

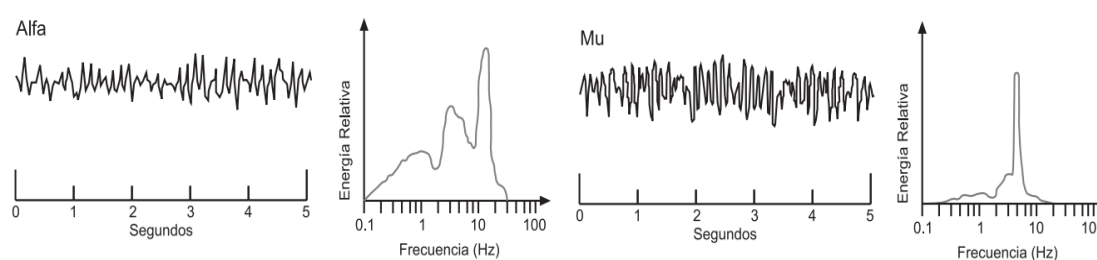
### 1.5.2. Potenciales evocados

Los potenciales evocados, son señales fugaces y de baja magnitud que están relacionados con una estimulación externa instantánea. Existe una gran diversidad de potenciales evocados, dependiendo del tipo de estímulo externo y de la característica sensorial se pueden describir: Potenciales evocados visuales, potenciales evocados auditivos, potenciales evocados somestésicos y potenciales evocados cognitivos [10].

### 1.5.3. Ondas alfa.

Ondas alfa, es un estado cuyas características primordiales son un estado de reposo físico y mental con los ojos cerrados. Estas ondas se manifiestan especialmente en el lóbulo occipital (posiciones O) y frontal (posiciones F), como se observa en la figura 4. El rango en el que se encuentra comprendida es de 8 Hz a 12 Hz [11] y su amplitud está comprendida entre (20 a 60 $\mu$ v) aproximadamente [8].

Ritmo mu, se encuentra en la misma banda de las ondas alfa, su presencia se detecta en las zonas sensomotoras y presenta atenuación durante la movilidad o intento de movilidad de las extremidades [8]. La figura 1.5, presenta el espectro y la forma de las ondas alfa y mu.



**Figura 1.5.** Ondas alfa y mu <sup>6</sup>

Para el análisis de las ondas alfa, se utiliza el EPOC que se basa en los electrodos T7, T8, O1, O2, siendo respectivamente los electrodos que se encuentran en el lóbulo temporal para la parte de la audición y el lóbulo occipital que se encarga de la visión. Para mejor aclaración se presenta en la gráfica 1.6.

<sup>6</sup> **Fuente:** ( <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2013/bmfci791e/doc/bmfci791e.pdf>. Fecha de consulta: 20 de julio de 2013)

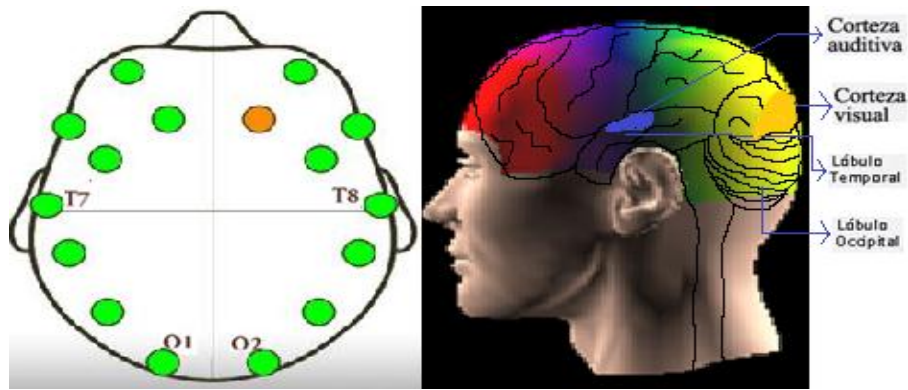


Figura 1.6. Relación electrodos - corteza cerebral <sup>7</sup>

## 1.6. Sonidos binaurales

Los sonidos binaurales nacen de la diferencia de frecuencias que se dan en cada oído, de manera independiente, es decir sin permitir interferencias ni posibles combinaciones de frecuencias que serán recibidas por partes específicas del cerebro, donde se comparan los impulsos nerviosos de cada señal sonora, generando finalmente la fusión binaural.

La diferencia entre las señales sonoras debe ser mínima para que se dé el efecto esperado caso contrario se interpreta un sonido duro y discrepante.

Para mayor ilustración se muestra en la figura 1.7, como es el ingreso de cada una de las señales a cada oído y hasta donde llegan para ser interpretados.

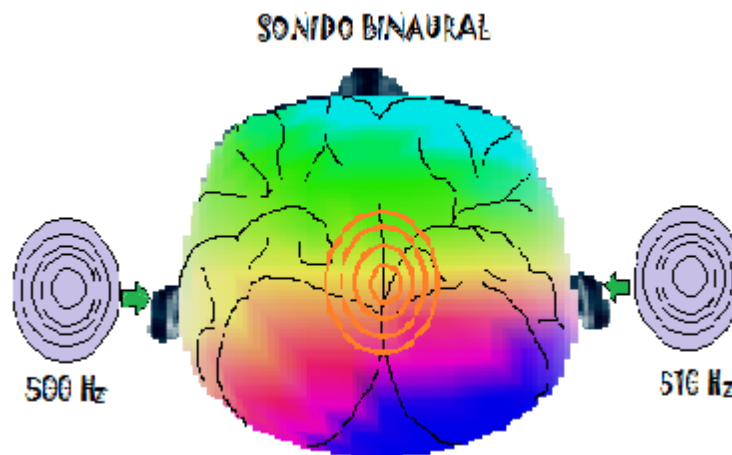


Figura 1.7. Diferencia de frecuencias para cada uno de los oídos <sup>8</sup>

El biofísico Gerald Oster, manifestó que los oídos pueden ser estimulados simultáneamente y por separados con dos frecuencias diferentes, llegando al cerebro como la resta de las mismas, generando así el sonido binaural. Es decir que cuando el

<sup>7</sup> Fuente: Autores

<sup>8</sup> Fuente: Autores

sonido se vuelve repetitivo cada cierto tiempo se le conoce como efecto de seguimiento de frecuencia.

Los sonidos binaurales son más aplicados en el área de la psicología y la medicina mental. Existen estudios [5] que indican que dichos sonidos se utilizan como anestésicos, al momento de ingresar a una cirugía, esto es recomendable en personas que padecen de algún tipo de alergia o reacción que pueda causar la anestesia.

De manera similar Padmanabhan, Hildreth y Laws en el 2005 [5], experimentaron en dos grupos de pacientes el uno de control y el otro que fueron estimulados con sonidos binaurales, sobre los efectos de ansiedad que los pacientes presentan normalmente antes de ser intervenidos quirúrgicamente, se procedía aplicar sonidos binaurales antes de proceder con la cirugía, entonces se dieron cuenta que con la estimulación de dichos sonidos se disminuía la ansiedad de manera significativa, antes de la operación.

Cox [5], expuso que los sonidos binaurales de frecuencia alfa, disminuye la presión arterial y por ende la aceleración del corazón, pudiendo disminuir e incluso llegar hasta eliminar el dolor.

Hay estudios que indican, que el entrenamiento de las ondas cerebrales Alfa y Theta pueden ayudar a la reducción de la ansiedad y a inducir a estados de sueño, a personas que tienen problemas alcohólicos. Peniston y Kulkosky [5], empezaron a tratar a los pacientes con sesiones de 20 minutos a 40 minutos en total, disminuyendo los estados depresivos, de dependencia y de esquizoide de agresión. Se realizó el seguimiento durante 2 años, sin tener ninguna recaída, es decir obteniendo los resultados esperados.

Robert Monroe en 1956 [5], descubrió como modificar el sonido para generar los estados de conciencia que una persona puede adquirir según sea su estado emocional, trabajando directamente con ritmos cerebrales, llevando a cabo la variación de frecuencias del cerebro humano [12].

Thomas Budzynski con Siegfried y Susan Othmer [5], investigaron que si a personas con bajo nivel académico, se les sometía a estimulaciones audiovisuales, se obtenían buenos resultados, es decir que mejoraba notablemente su grado de atención, siempre y cuando el entrenamiento de las ondas cerebrales estaban en un rango de 15 a 18 Hz, que son las ondas Alfa.

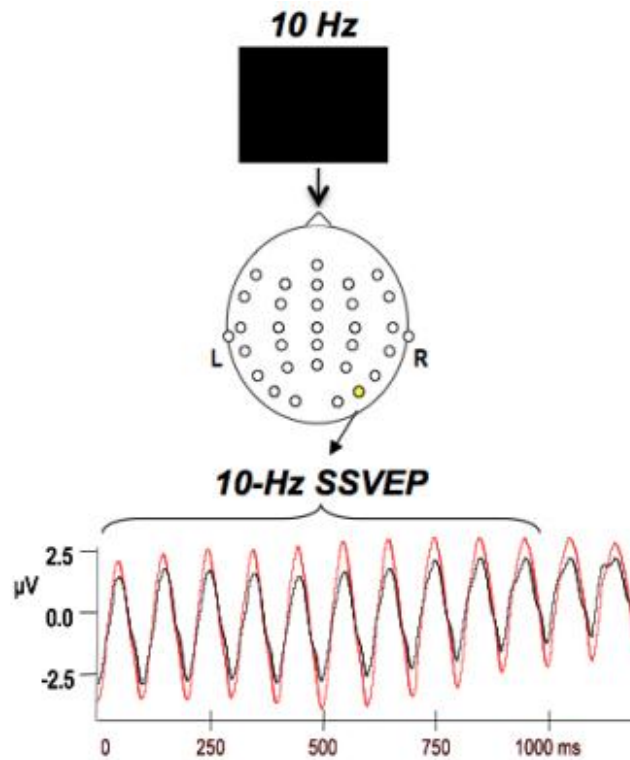
La sincronización hemisférica o Hemi-Sync, vigila colectivamente en un estado de adaptación. Cuando las señales son diferentes se produce el estado de relajación profunda, ayudando a concretar la atención, es decir lograr la concentración o cualquier otro estado deseado.

Hoy en día se conoce que existen varios métodos que se fundamentan en la aplicación de ondas, partiendo desde la depilación de la piel hasta la terapia fotodinámica, que se utiliza para tratar el cáncer de piel [13].

De esta manera las ondas cerebrales pueden responder a estimulaciones de frecuencias determinadas, que serán interpretadas por el cerebro, para alcanzar un estado mental que asocie a dicha frecuencia ya sean las Beta ,Alfa, Theta o Delta que el médico o psicólogo así lo crea conveniente, según sea la patología del paciente a tratar.

### **1.7. Luz estroboscópica**

El neurólogo W. Gray Walter en 1950, descubrió que la luz en forma de destellos, llamada estroboscópica afectaba de manera directa a la zona del cerebro que comprende la visión y puede alterar los ritmos cerebrales [12]. Si una persona está percibiendo un parpadeo de luz a una frecuencia de 10 Hz, en un tiempo aproximado de 500 milisegundos se puede observar en los electrodos occipitales que la actividad eléctrica de esta zona coincide con este parpadeo y si la persona presta atención a esta estimulación la intensidad de la señal resulta amplificada, como se puede observar en la figura 1.8 [14].



**Figura 1.8.** Estimulación visual mediante un destello de 10 Hz<sup>9</sup>

Otras investigaciones concluyeron que la actividad electroencefalográfica y su sincronización responde mejor a estímulos desarrollados con leds que con monitores, pues responden con una mayor amplitud. Es decir, existen muchos elementos a tener en cuenta o tales como: iluminación ambiental, contraste, color y tamaño del estímulo, distracción visual.

Entonces para llegar a un estado alfa es común desarrollarlo con los ojos cerrados pero también se puede conseguir teniendo la vista enfocada a la fuente de destellos de luz. En la figura 1.9 se muestra un potencial evocado estacionario producido por un led azul a una frecuencia de 10 Hz [15].

<sup>9</sup> **Fuente:** ([http://www.sabi2011.fi.mdp.edu.ar/proceedings/SABI/Pdf/SABI2011\\_47.pdf](http://www.sabi2011.fi.mdp.edu.ar/proceedings/SABI/Pdf/SABI2011_47.pdf). Fecha de consulta: 25 de julio de 2013)



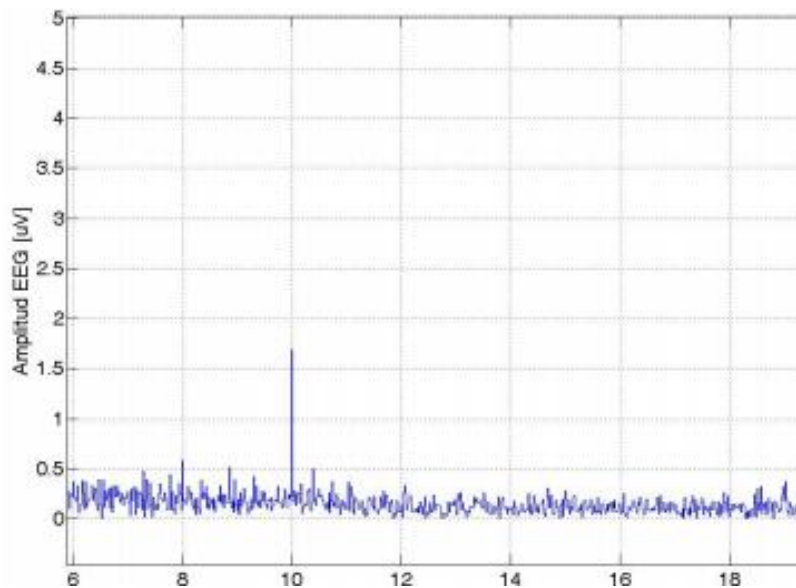


Figura 1.9. Actividad EEG en la frecuencia de estímulo <sup>10</sup>

### 1.8. Biorretroalimentación y Neuroretroalimentación

**Biorretroalimentación.-** Se encarga de controlar los procesos corporales, y entregar información en tiempo real a partir de registros psicológicos, desde los niveles en los que el sistema orgánico está funcionando, dicho registro se da mediante computadoras o dispositivos electrónicos para en lo posterior llevar a la relajación, disminuir o eliminar un dolor, para mejorar el estado emocional de una persona, mediante algún tipo de estimulación. Este ciclo de retroalimentación se completa sólo cuando el paciente cuya función objetivo está siendo monitoreado atiende, y utiliza la información presentada.

La biorretroalimentación (biofeedback) tiene sus inicios a partir de los experimentos a finales de 1950 y comienzos de 1960, en estos años se demuestra que el sistema nervioso autónomo es susceptible de control voluntario, una de las herramientas más importantes de la biorretroalimentación es el electroencefalograma (EEG), fue desarrollado por el alemán psiquiatra, Hans Berger. Los principios básicos de la electromiografía (EMG), otra medida biofeedback ampliamente utilizado, fueron descubiertos en la década de 1960.

La técnicas más usuales del biofeedback son: El electroencefalograma que trata de la obtención de bioseñales a partir de sensores colocados en el cuero cabelludo he impresos en papel o monitor y la electromiografía (EMG), es una representación

<sup>10</sup> Fuente: ([http://www.sabi2011.fi.mdp.edu.ar/proceedings/SABI/Pdf/SABI2011\\_47.pdf](http://www.sabi2011.fi.mdp.edu.ar/proceedings/SABI/Pdf/SABI2011_47.pdf). Fecha de consulta: 25 de julio de 2013)

gráfica de registro de la actividad eléctrica en los músculos en cualquier parte del cuerpo, proporciona información a los pacientes sobre sus niveles de tensión y relajación muscular. El registros de EEG y EMG pueden darse simultáneamente [16].

**Neuroretroalimentación.-** Registra la actividad eléctrica del cerebro en tiempo real, se realiza con tres electrodos ubicados en zonas específicas, dicha actividad se divide en cuatro bandas; beta, alfa, theta y delta. Con esta técnica lo que se procura es aumentar o disminuir una de las bandas, gracias a esto hoy en día, se proyecta curar ciertas enfermedades como la depresión, ansiedad, trastornos del sueño, epilepsias y hasta ataques de pánico, además intenta regular la atención y mejorar el aprendizaje. Cuando las señales eléctricas no realizan bien su trabajo pueden manifestarse ciertas disfuncionalidades como la atención, memoria, el habla y la parte sensorial motora [17].

### 1.9. Descripción del Emotiv EPOC

El Emotiv Epoc adquiere las señales EEG, mediante 14 sensores sujetos a una especie de brazos de plástico, colocados en zonas específicas del cuero cabelludo, y lleva dos referencias, la una que se ubica detrás de la oreja y la otra es un receptor USB, el cual envía dichas señales mediante comunicación wireless al computador, además consigo lleva una batería de litio recargable, como se muestra en la figura 1.10 [18].



**Figura 1.10.** *Emotiv EPOC Research* <sup>11</sup>

Luego de haber realizado la debida instalación del programa, se procede a hidratar las almohadillas con una solución salina la cual permite la conducción de la actividad eléctrica, esta solución es multiuso estándar y de fácil adquisición, en la figura 1.11 se muestra una manera de humectación de las almohadillas [18].

---

<sup>11</sup> **Fuente:** (<http://emotiv.com/developer/SDK/UserManual.pdf>. Fecha de consulta: 28 de julio de 2013)



**Figura 1.11.** Humectación de las almohadillas <sup>12</sup>

Al concluir con el proceso de hidratación, se procede a retirar los sensores e insertar de uno en uno en los brazos del receptor de la cabeza, girando cada uno hasta que quede fijo, en ese momento es cuando está listo para continuar con el proceso. La figura 1.12 se presenta un esquema de colocación de los sensores en uno de los brazos [18].



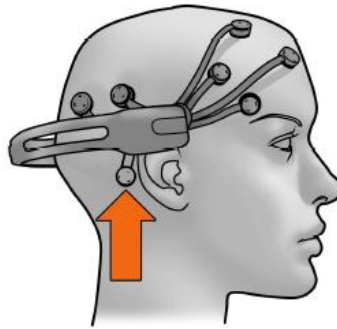
**Figura 1.12.** Colocación de los sensores en los brazos <sup>13</sup>

Cuando se finaliza la práctica, las unidades de sensores deben ser retirados de los brazos del receptor de cabeza y se almacenan en el paquete hidratante para su uso posterior.

Finalmente se coloca el adaptador USB wireless en el computador y en modo encendido el EPOC para colocar los electrodos en la cabeza, como se muestra en la figura 1.13 [18].

<sup>12</sup> Fuente: (<http://emotiv.com/developer/SDK/UserManual.pdf>. Fecha de consulta: 28 de julio de 2013)

<sup>13</sup> Fuente: (<http://emotiv.com/developer/SDK/UserManual.pdf>. Fecha de consulta: 28 de julio de 2013)



**Figura 1.13.** Colocación de la diadema en la cabeza <sup>14</sup>

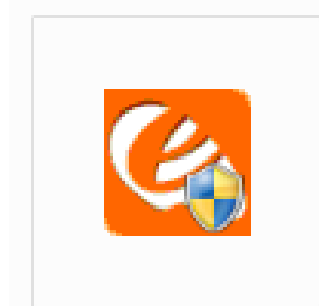
### 1.9.1. Comunicación con LabVIEW

Para establecer la comunicación Emotiv EPOC con el software LabVIEW, se debe instalar los siguientes paquetes que son: El VI gestor de paquetes de JKI (VIPM) y el paquete de EPOC (ni\_lib\_labview\_emotiv\_api-1.0.0.3.vip). En la figura 1.14 se puede apreciar los instaladores correspondientes [19].



**Figura 1.14** (a) vipm-13.0.1878-windows-setup (b) ni\_lib\_labview\_emotiv\_api-1.0.0.3 <sup>15</sup>

Además, es necesario tener instalado en el ordenador el Emotiv EPOC control, como se muestra en la figura 1.15.



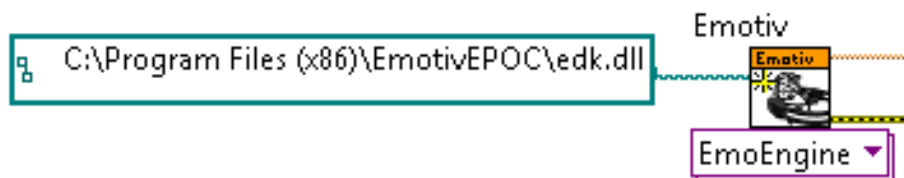
**Figura 1.15.** Emotiv Development Kit v1.0.0.5-LITE <sup>16</sup>

<sup>14</sup> Fuente: (<http://emotiv.com/developer/SDK/UserManual.pdf>. Fecha de consulta: 29 de julio de 2013)

<sup>15</sup> Fuente: Autores

<sup>16</sup> Fuente: Autores

Luego de haber instalado dichos paquetes, se ejecuta el programa de LabVIEW, posterior a esto se procede a localizar el edk.dll, en c: \ archivos de programa \ emotiv desarrollo kit\_v1.0.0.0-LITE \ edk.dll. Copiamos esta dirección y pegamos en el edk.dll path de LabVIEW como ese muestra en la figura 1.16 [19].



**Figura 1.16.** Dirección de la librería dinámica en el path de LabVIEW<sup>17</sup>

### 1.9.2. Comunicación Openvibe Designer con Emotiv EPOC

Es un software que permite observar las ondas electroencefalográficas mediante la interfaz cerebro ordenador en tiempo real, se puede adquirir, filtrar y procesar las señales según requiera la aplicación.

Openvibe es de código abierto y funciona en Windows y Linux, es compatible con un gran número de dispositivos de electroencefalografía o de neurociencia.

Para establecer la comunicación con Emotiv EPOC se necesita de los programas que se muestran en la figura 1.17.



**Figura 1. 17.** Openvibe Designer<sup>18</sup>

<sup>17</sup> **Fuente:** ([http://labviewhacker.com/doku.php?id=projects:lv\\_epoc\\_interface:lv\\_epoc\\_interface](http://labviewhacker.com/doku.php?id=projects:lv_epoc_interface:lv_epoc_interface), Fecha de consulta: 31 de julio de 2013)

<sup>18</sup> **Fuente:** (<http://openvibe.inria.fr/downloads/>, Fecha de consulta: 31 de julio de 2013)

Luego de la instalación de dicho programa se procede a ejecutar el Openvibe Acquisition Server, para establecer la comunicación con el Emotiv EPOC y se realiza las siguientes acciones en los íconos que aparecen en la figura 1.18.

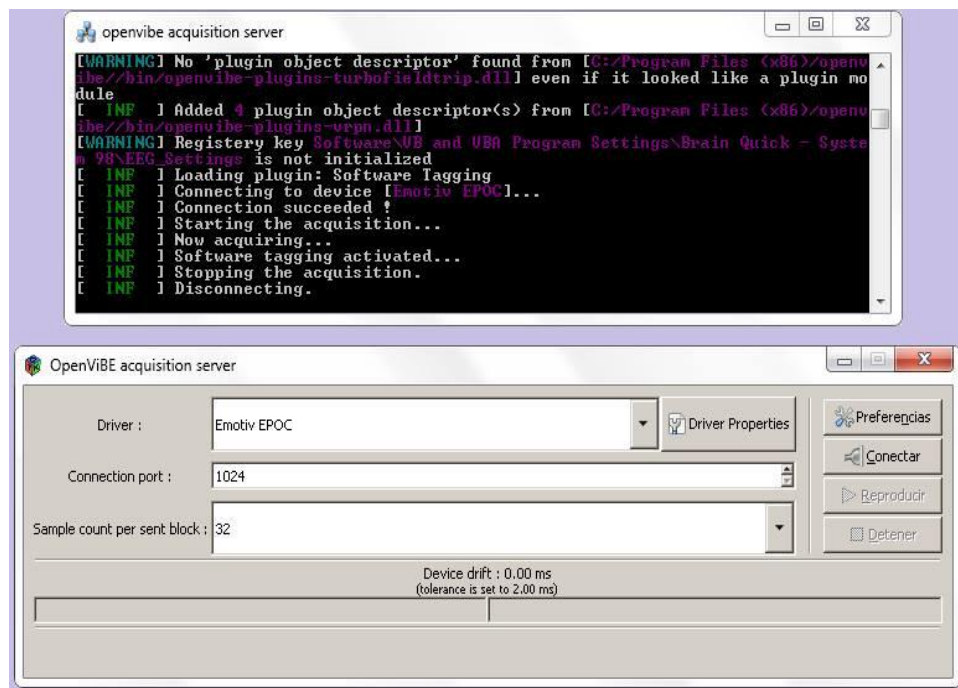
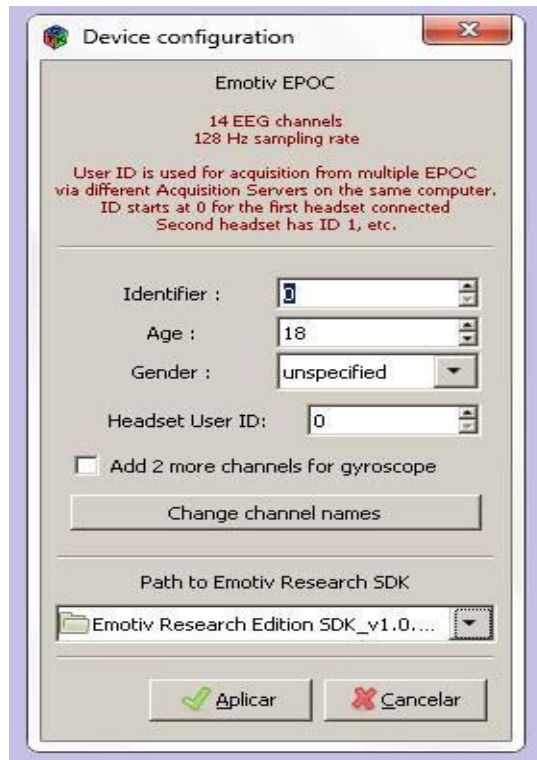


Figura 1.18. Openvibe Acquisition Server<sup>19</sup>

- En Driver Properties, se da doble click y se abre la pantalla que se presenta en la figura 1.19.

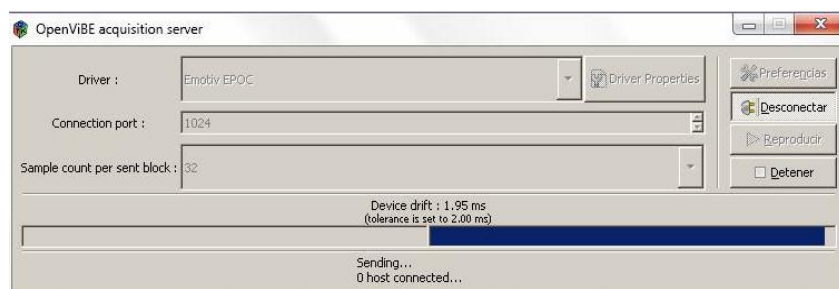
<sup>19</sup> Fuente: Autores



**Figura 1.19.** Dispositivo de Configuración <sup>20</sup>

Y en la parte de Path to Emotiv Research SDK, se introduce la dirección en la que se encuentra el SDK del EPOC Research, esto se realiza una sola vez.

- Luego, en la parte de Driver se escoge al dispositivo que se va utilizar, en este caso Emotiv EPOC y se concluye dando click en conectar y reproducir. En donde se presenta una barra de color azul, cuando la comunicación se estableció, para mejor explicación véase la figura 1.20.



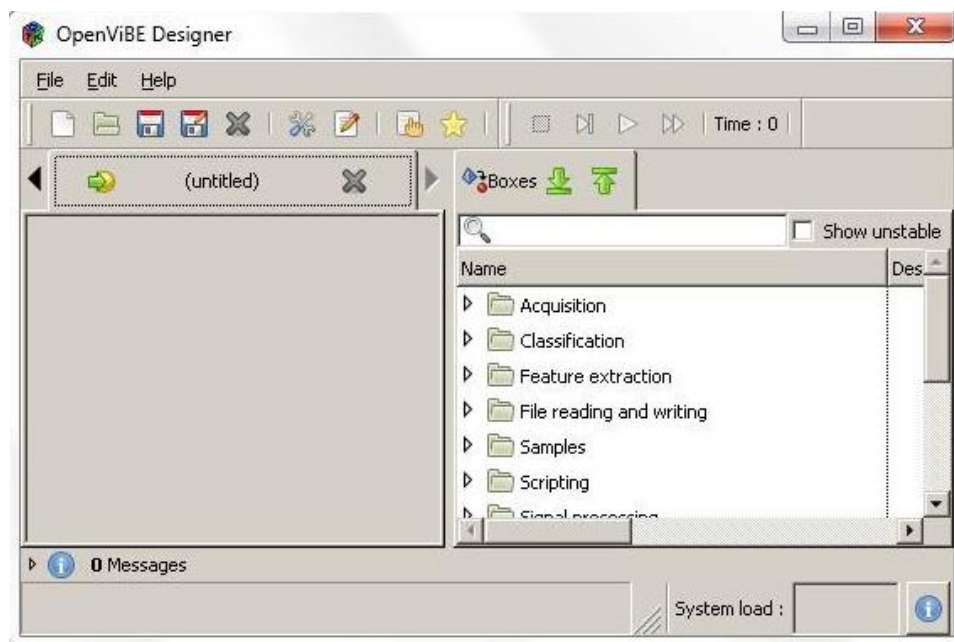
**Figura 1.20.** OpenVIBE Acquisition Server <sup>21</sup>

Seguido de esto se ejecuta el Openvibe Designer, en dónde se procede a la programación por bloques de las señales adquiridas la cual consta de dos ventanas, en

<sup>20</sup> Fuente: Autores

<sup>21</sup> Fuente: Autores

una de ellas se programa y en la otra se encuentran las librerías disponibles para las diferentes aplicaciones, como se puede observar en la figura 1.21.



**Figura 1.21.** *OpenViBE Designer* <sup>22</sup>

Luego de haber expuesto los conceptos básicos sobre el funcionamiento del cerebro y las partes interesadas en este estudio son; la vista y el oído que con la ayuda de los instrumentos, Emotiv EPOC, Labview, Openvibe se realiza un electroencefalograma el cual se enfoca en las regiones temporales y occipitales que corresponden respectivamente a dichas partes.

Para modificar dicha actividad, se realiza dos tipos de estimulaciones, una auditiva en la cual se genera una diferencia de frecuencias en el rango audible y otro visual mediante destellos de luz a una frecuencia de 10 Hz.

Y para dar paso a la realización de la estimulación se procedió con la construcción de una estructura adecuada para dichas pruebas, como se ve en el capítulo dos.

---

<sup>22</sup> Fuente: Autores



---

## CAPÍTULO 2

---

### 2. ESTRUCTURA ERGONÓMICA DEL DISPOSITIVO AUDIOVISUAL

#### 2.1. Introducción

Este capítulo trata sobre el diseño y construcción de la estructura audiovisual, la cual consta de una silla de reposo acoplada a una cámara semicircular, movable en el eje z permitiendo el ingreso y salida de la persona a ser asistida, para lo cual es necesario aislarla del ambiente exterior, ya que esto permite concentrarse en los destellos de luz emitida por la pantalla, que se encuentra en la parte interior frontal de la misma y en la diferencia de frecuencias aplicadas a los oídos mediante audífonos que son completamente independientes a la estructura, pero necesarios para el experimento. Quedando estructurado el sistema como se muestra en la figura 2.1.



**Figura 2.1** Diagrama de bloques de la estructura ergonómica del dispositivo Audiovisual<sup>23</sup>

Para el control de destellos en la pantalla, se diseñó una placa electrónica la cual establece la comunicación con el computador, que está ubicada en la parte interna posterior de la cámara.

#### 2.2. Diseño de la estructura para el sistema audiovisual

Con la ayuda del software Autodesk Inventor, se procedió a realizar el diseño de una silla de asistencia para la relajación, la cual se basa en el modelo de la silla Paradise<sup>24</sup> que hoy en día es la más utilizada para este tipo de estimulación la misma que se

---

<sup>23</sup> Fuente: Autores

<sup>24</sup> Fuente: (<http://javicantero.wordpress.com/page/54/>. Fecha de consulta: 4 de Julio de 2013 )

conforma de dos partes de la silla y la cámara que está asegurada al espaldar de la misma en su parte posterior y en la parte superior se acopla la cabina con la ayuda de una articulación rotacional la que permite el desplazamiento de la cámara de arriba hacia abajo para el ingreso y salida de la persona.

Las características de la silla de asistencia para la relajación, se presentan en la tabla 2.1.

| PIEZAS                           | REPRESENTACION | DIMENSIONES (cm) |
|----------------------------------|----------------|------------------|
| Anchura de asiento               | A              | 40               |
| Profundidad de asiento           | B              | 5                |
| Altura respaldo                  | C              | 40               |
| Altura asiento-suelo             | D              | 40               |
| Anchura respaldo                 | E              | 40               |
| Altura de la cabecera            | F              | 35               |
| Soporte para pies                | G              | 30 x 20          |
| Altura del espaldar de la cabina | H              | 70               |
| Ancho de la cabina               | I              | 80               |

Tabla 2.1. Características de la silla <sup>25</sup>

En la figura 2.2 se puede observar el diseño elaborado en Inventor, de la estructura con sus respectivas partes y medidas de las mismas.

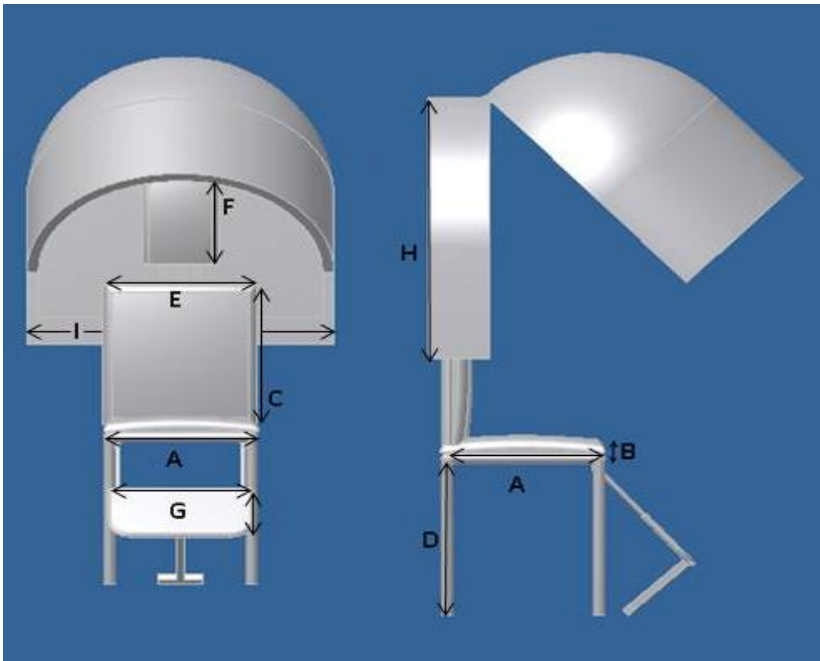


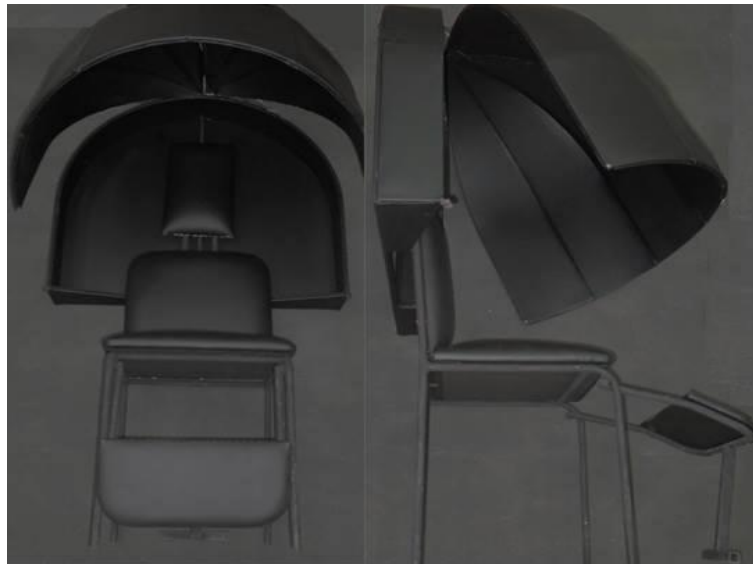
Figura 2.2. Estructura del dispositivo de estimulación Audiovisual <sup>26</sup>

<sup>25</sup> Fuente: Autores

<sup>26</sup> Fuente: Autores

### 2.2.1. Construcción de la estructura para el sistema audiovisual

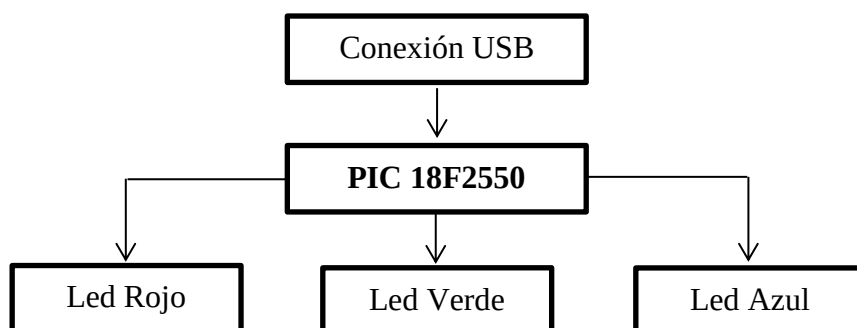
Partiendo del diseño original, se realizaron algunas modificaciones para su posterior construcción, como: el ancho y la altura de la cabina. El armazón de la estructura es de metal, las partes del soporte de los pies, asiento y espaldar está conformado de madera forrada de cuero negro y la cabina está forrada del mismo cuero de manera que la estructura final sea lo suficientemente ergonómica, como se muestra en la figura 2.3.



**Figura 2.3.** Vista frontal y lateral de la estructura audio visual<sup>27</sup>

### 2.3. Diseño electrónico

El esquema de funcionamiento del sistema visual para el control del parpadeo de luces se puede observar en la figura 2.4, dónde el microcontrolador se encarga de recibir las señales de control desde el ordenador por medio del bus USB y la convierte en señales PWM para controlar las luces RGB de la pantalla.



**Figura 2.4.** Esquema funcional del sistema visual<sup>28</sup>

<sup>27</sup> Fuente: Autores

<sup>28</sup> Fuente: Autores

### 2.3.1. Diseño del circuito electrónico

La parte fundamental del circuito electrónico es el microcontrolador PIC18F2550 que es un dispositivo que funciona con una interfaz USB 2.0 de alta velocidad a 12Mb/s y a 1.5 Mb/s a baja velocidad, con 28 pines de entradas y salidas disponibles, con un tipo de memoria flash, posee memoria programable de 32 Kb, con memoria RAM de 2048 bytes y memoria EEPROM de 256 bytes, trabaja con 16385 palabras de instrucciones, se relaciona con un oscilador externo de hasta 48Mhz, con un voltaje de operación de 4.2 a 5.5v [20]. La tarjeta electrónica lleva un sistema de alimentación directamente desde el bus USB, como se muestra en la figura 2.5.

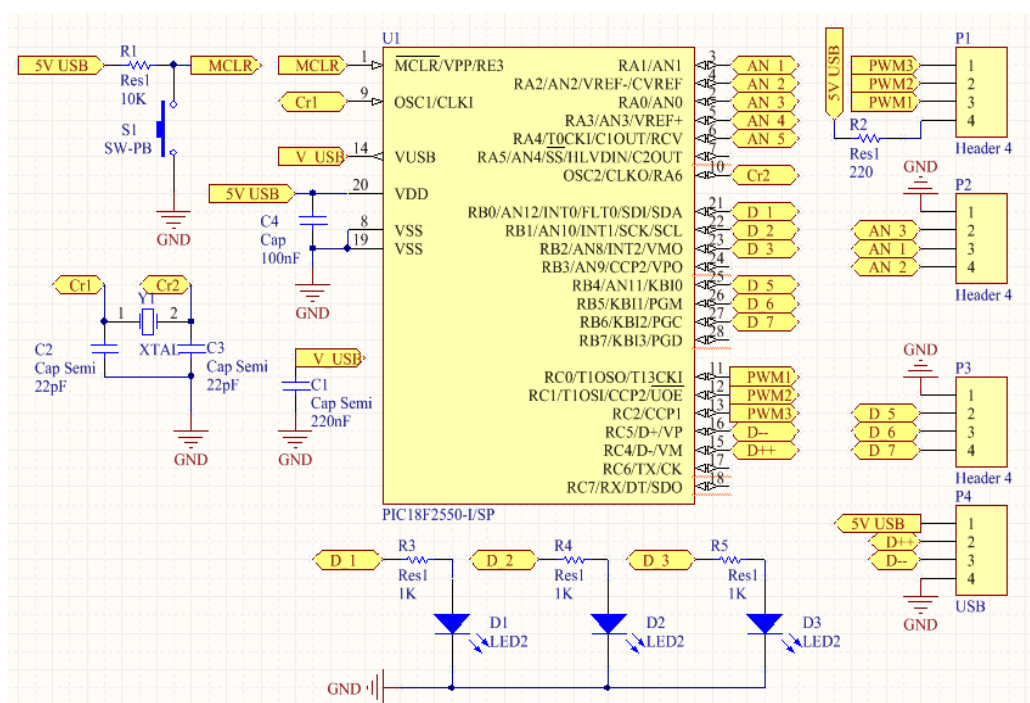
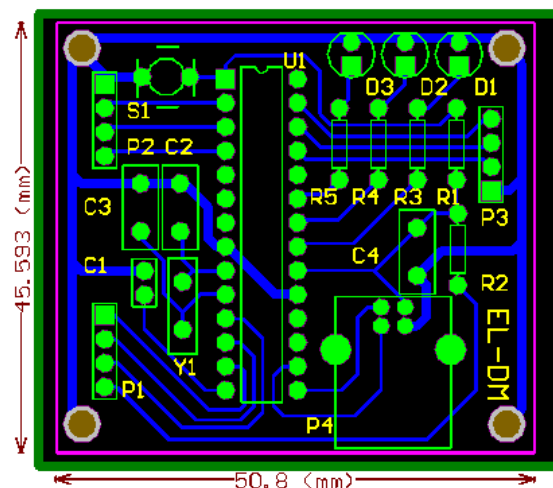


Figura 2.5. Circuito electrónico<sup>29</sup>

### 2.3.2. PCB de la tarjeta electrónica

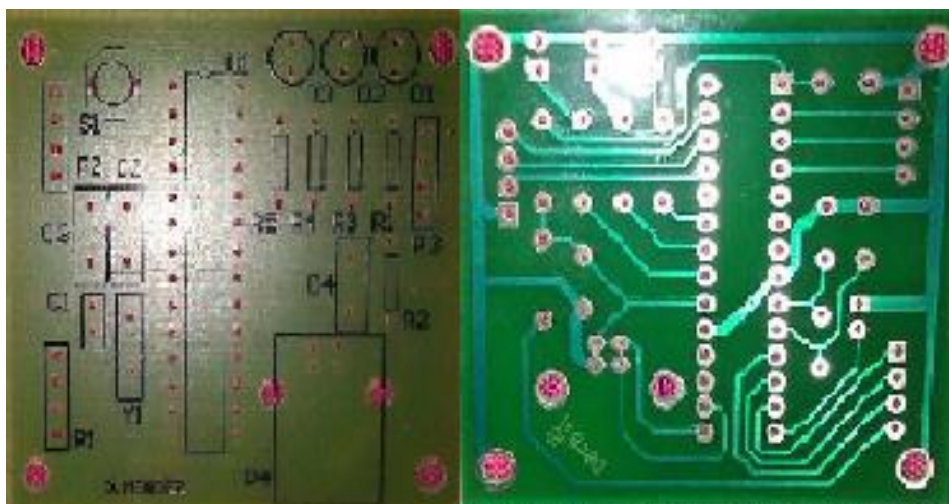
Luego de tener el circuito electrónico y haber ubicado de manera correcta el posicionamiento de los elementos en la tarjeta, como se muestra en la figura 2.6, para su posterior elaboración y soldado de la misma.

<sup>29</sup> Fuente: Autores



**Figura 2.6.** PCB de la tarjeta electrónica<sup>30</sup>

De esta manera, es como queda la tarjeta electrónica después de su elaboración, en donde se encuentran las imágenes de la parte frontal de la placa y la parte posterior según la disposición de los elementos.

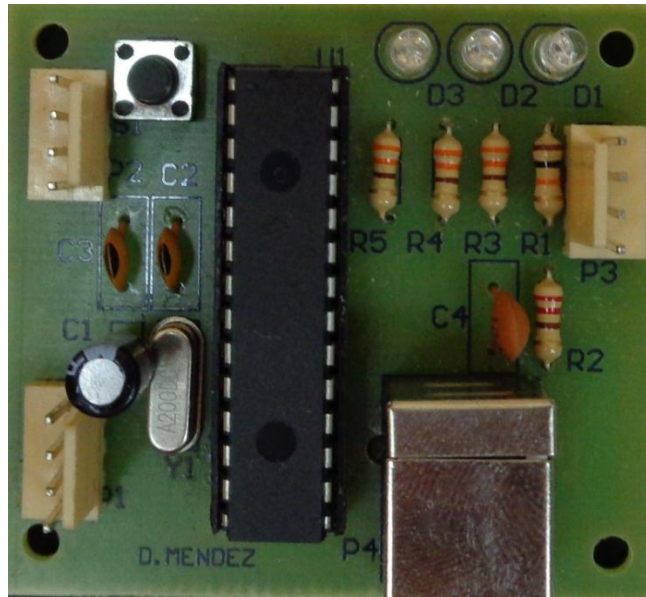


**Figura 2.7.** Tarjeta electrónica elaborada<sup>31</sup>

Y finalmente como queda la tarjeta electrónica ya soldada con los elementos que la componen, quedando lista para su uso en el proyecto.

<sup>30</sup> Fuente: Autores

<sup>31</sup> Fuente: Autores



**Figura 2.8.** Tarjeta electrónica elaborada y completa <sup>32</sup>

Para el diseño y construcción de la estructura ergonómica se desarrolla un prototipo el cual cumpla con las características vistas anteriormente para el proceso de estimulación, por ello se basa en el modelo de la silla Paradise, que es la más indicada en estos experimentos ya que consta de una pantalla la cual produce destellos de luz mediante una tarjeta electrónica y a la persona se le coloca los demás dispositivos necesarios para dicho tratamiento.

En el desarrollo de este experimento se realiza el software de control y de adquisición de señales EEG, como se puede ver en el capítulo tres.

---

<sup>32</sup> Fuente: Autores

---

## CAPÍTULO 3

---

### 3. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SOFTWARE

#### 3.1 Introducción

Este capítulo trata sobre la lectura de las señales electrocardiográficas y electroencefalográficas, mediante los siguientes programas; Labview, Openvibe, Biopac BSL-MP45, Emotiv EPOC.

Mediante el software Labview 2012, se elabora dos ventanas de las cuales, en la primera se genera el sonido binaural mediante la división de la tarjeta de audio, así como la comunicación USB para las luces estroboscópicas y se monitorea la comunicación con EPOC. La segunda ventana se encarga del análisis espectral del sonido binaural enmascarado con música clásica. Con el software Openvibe, se monitorea las señales EEG, procediendo a guardar los datos provenientes del Emotiv EPOC. El Biopac BSL-MP45, monitorea las señales ECG, guarda los datos para su posterior análisis. Emotiv EPOC, reconoce la correcta conectividad de los electrodos con el cuero cabelludo.

#### 3.2 Diseño de la interfaz de usuario

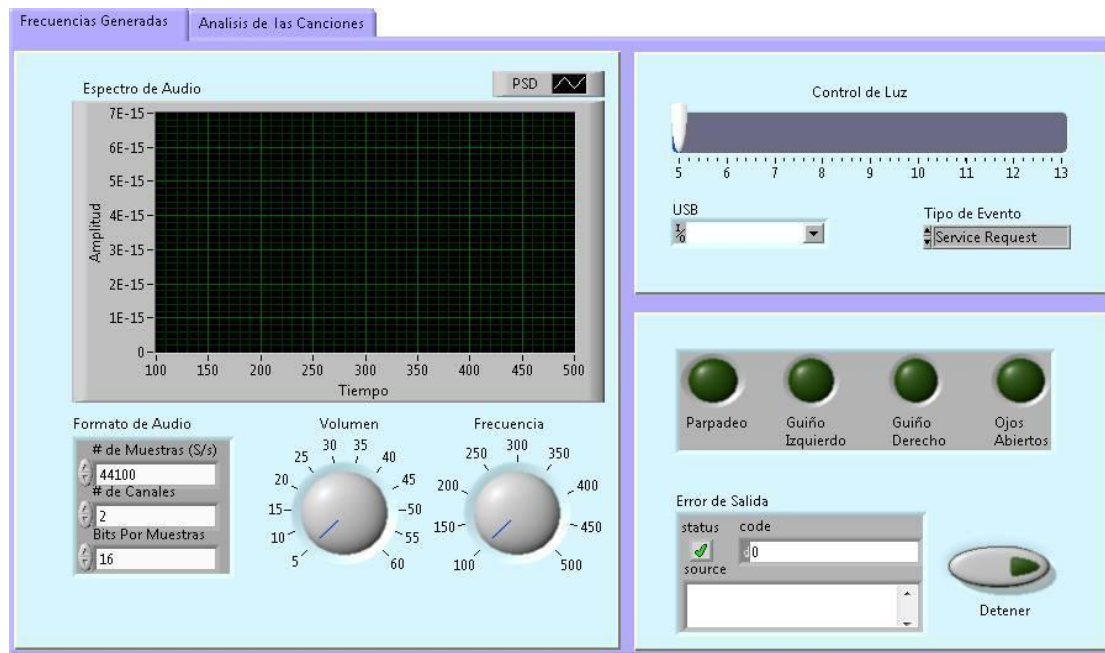
En la figura 3.1, se puede observar la interfaz de usuario, la cual dispone de dos ventanas, en la una se encuentra el control de audio mediante la generación de sonidos binaurales comprendidos entre 100 y 500 Hz, por lo cual se dividió la tarjeta de audio del computador en canales izquierdo y derecho, para así poder enviar una diferencia de frecuencia de 10 Hz dentro del rango de audición de las personas, la misma que se puede visualizar en la pantalla del espectro de audio.

Para el control de la iluminación se dispone de la conexión USB y una barra que permita la generación de los 10 Hz, para los destellos del backlight, generando el efecto de luces estroboscópicas.

Para mayor apreciación del comportamiento de la persona durante el tratamiento se presenta una barra de cuatro leds, los cuales indican si la persona está despierta, está parpadeando o si guiña uno de sus ojos (izquierdo, derecho).

Y por último consta de un botón para detener en cualquier momento el programa, en caso de así requerirlo.





**Figura 3.1.** Interfaz de usuario, frecuencias generadas<sup>33</sup>

La figura 3.2 hace referencia al diagrama de bloques, en donde se puede apreciar la comunicación con el EPOC, la división de la tarjeta de audio y la comunicación USB respectivamente.



**Figura 3.2.** Programación en diagrama de bloques de frecuencias generadas<sup>34</sup>

Existen varios estudios que indican que la música de Mozart en especial la Sonata<sup>35</sup> para dos pianos K448, es una de las técnicas más utilizadas para inducir a una persona a un estado de relajación por sus manejos de frecuencias bajas, así lo confirman, el Dr.

<sup>33</sup> **Fuente:** Autores

<sup>34</sup> **Fuente:** Autores

<sup>35</sup> **Sonata.**- es la composición musical para uno o más instrumentos, que consta generalmente de tres a cuatro movimientos.

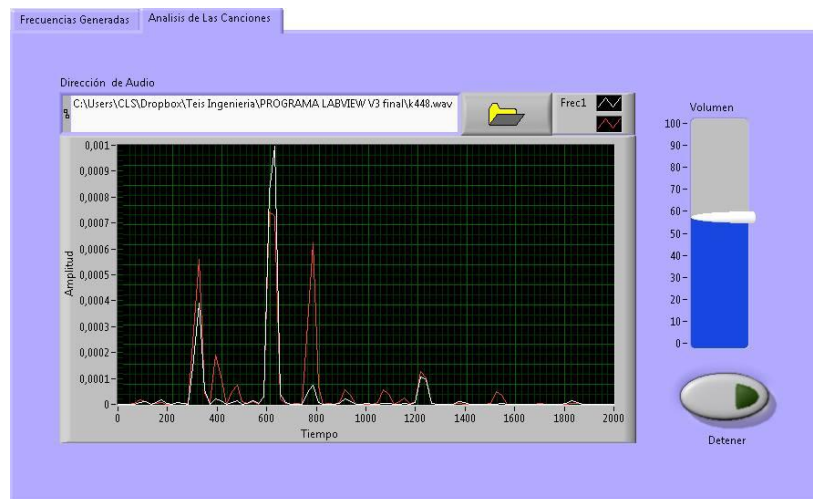


Francis Rauscher<sup>36</sup>, Dr. Gordon L. Shaw, Alfred Tomatis que al escuchar la música de Mozart (Figura 3.3) se obtiene este resultado, además de que mejora la concentración, el aprendizaje y estimula el cerebro de tal manera que tenga mayor agilidad al momento de resolver problemas, el Dr. Alfred Tomatis, otorrinolaringólogo con sus ilustraciones logró resolver algunos problemas de procesamiento auditivo, dificultades de habla, dislexia, problemas afectivos, problemas psicosomáticos y llegó hasta estabilizar a personas desahuciadas [21].



**Figura 3.3.** Wólfgang Amadeus Mozart<sup>37</sup>

En la figura 3.4 se presenta otra ventana, en la cual se realiza el análisis de las canciones, mediante la visualización del espectro de un sonido en formato WAV, el mismo que sirve para observar el número de armónicos presentes en una canción, en este caso de la Sonata para dos pianos K448, además consta de un botón que sirve para detener el programa en cualquier momento.



**Figura 3.4.** Interfaz de usuario, FFT de Audio<sup>38</sup>

<sup>36</sup>**Fuente:**([http://itzamna.bnct.ipn.mx:8080/dspace/bitstream/123456789/7833/1/2319\\_tesis\\_Noviembre\\_2010\\_1111148674.pdf](http://itzamna.bnct.ipn.mx:8080/dspace/bitstream/123456789/7833/1/2319_tesis_Noviembre_2010_1111148674.pdf). Fecha de consulta: 5 de Agosto de 2013)

<sup>37</sup>**Fuente:** Autores

<sup>38</sup>**Fuente:** Autores

En la figura 3.5, se puede apreciar la estructura para el análisis de las frecuencias presentes en una canción, como también su reproducción.



**Figura 3.5.** Programación en diagrama de bloques del análisis de canciones <sup>39</sup>

### 3.3 Monitoreo de las señales EEG

Para el monitoreo de las señales EEG, con la ayuda del software Openvibe, se puede observar las catorce señales provenientes del EPOC, así como también seleccionar los canales deseados, en este caso son los temporales y occipitales. Permitiendo guardar en archivos de formatos GDF y CSV, los cuales son fáciles de leer en el mismo programa y en el software de Matlab, en cual se va a realizar el análisis respectivo.

El diagrama estructurado de Openvibe consta de un primer bloque que entrega las señales EEG, a las cuales se les aplica los siguientes procesos como; la impresión de las señales adquiridas y el espectro de potencia, filtrado, selección de canales específicos y mapas topográficos en 2D y 3D, con la ubicación de los electrodos de análisis.

En la figura 3.6, se presenta la programación en diagrama de bloques para la obtención de las señales EEG.

---

<sup>39</sup> Fuente: Autores

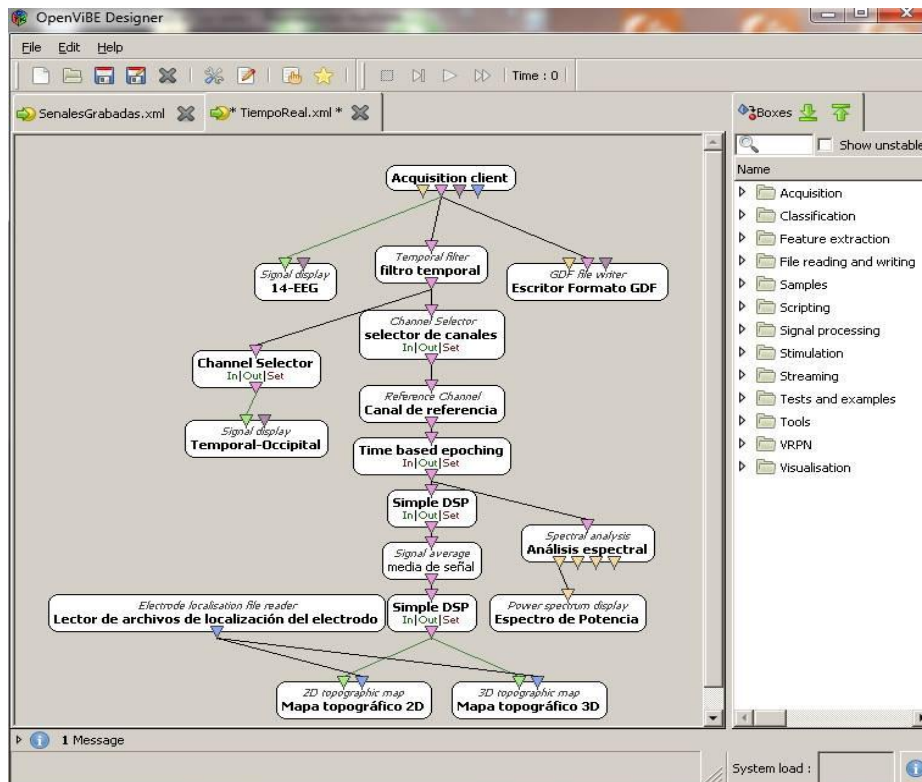


Figura 3.6. Programación para la obtención de señales EEG en Openvibe <sup>40</sup>

En la figura 3.7, se presente la pantalla de visualización del programa en Openvibe luego de haber realizado la programación respectiva para la obtención de las señales EEG.

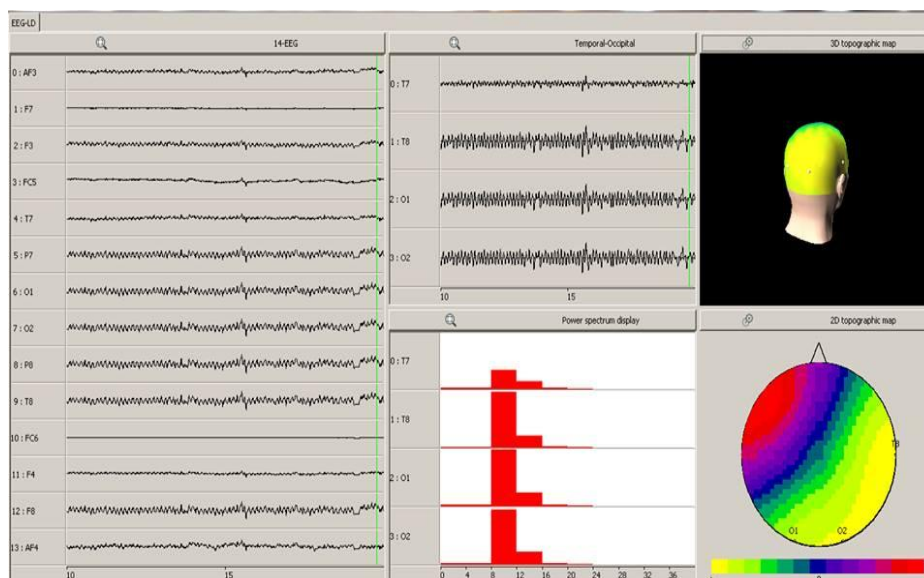


Figura 3.7. Visualización de señales EEG en Openvibe <sup>41</sup>

<sup>40</sup> Fuente: Autores

<sup>41</sup> Fuente: Autores

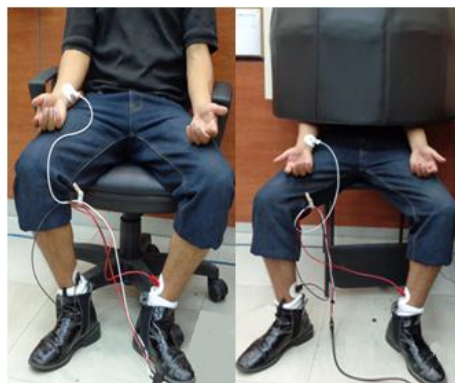
### 3.4 Monitoreo de las señales ECG

El electrocardiograma (ECG), es una señal variante en el tiempo que representa la contracción y relajación de las fibras cardiacas y se obtiene registrando la diferencia de potencial con la ayuda de electrodos colocados en la piel, mediante el siguiente proceso. Colocar los electrodos en la siguiente disposición, el cable blanco en la parte interna del antebrazo derecho, el cable negro en la parte interna de la pierna derecha y el cable rojo en la parte interna de la pierna izquierda como se muestra en la figura 3.8.



**Figura 3.8.** Colocación de electrodos <sup>42</sup>

Luego de la colocación de los electrodos se procede a la adquisición de la señal en el software Biopac mp-45 y se procede a guardar en archivos .TXT, para su posterior análisis. La persona se le instala como se muestra en la figura 3.9, antes y durante el proceso de estimulación.



**Figura 3.9.** Posición para la adquisición de señales ECG <sup>43</sup>

Es necesario realizar el seguimiento de las señales Electrocardiográficas (ECG), para observar una posible variación de la frecuencia cardiaca y en la figura 3.10, se presenta el equipo Biopac mp-45 y la ventana en la cual se visualiza la señal adquirida.

---

<sup>42</sup> Fuente: Autores

<sup>43</sup> Fuente: Autores

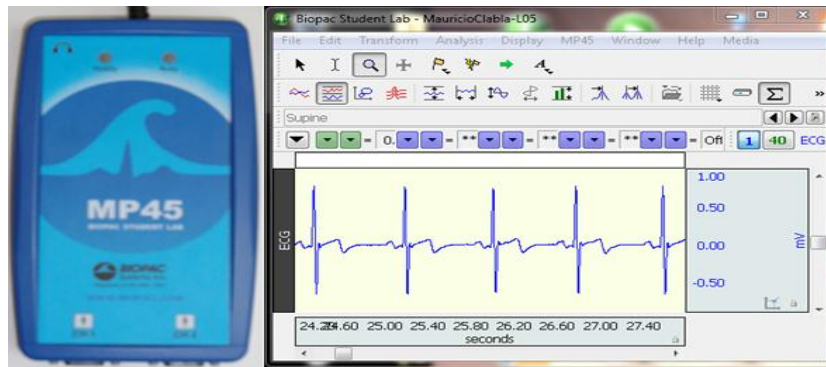


Figura 3.10. Visualización de señales ECG en Biopac-mp45 <sup>44</sup>

Con la ayuda de los equipos anteriormente mencionados se procede a realizar las pruebas de estimulación, mediante el siguiente procedimiento:

Para llevar a cabo la ejecución del proyecto es necesario que el sujeto en estudio llene los datos del protocolo del proyecto y autorice la realización de la estimulación firmando un documento en el cual se le indique de manera formal en que consiste el proyecto, el procedimiento para la adquisición de las bioseñales y el manejo confidencial de la información, además se le da una explicación verbal de cómo se desarrolla paso a paso y se le indica cuáles son los derechos los mismos, que se encuentran en el anexo 1.

Luego de haber dado su consentimiento se procede a colocar los electrodos para realizar la adquisición de las señales ECG y EEG, los mismos que van en la disposición mencionada anteriormente.

Por lo que se verifica que los electrodos con los terminales del Biopac mp-45 hagan contacto para dar paso a la calibración de la señal y así continuar con el almacenamiento de la información que luego será analizada junto con la adquisición de la señal ECG, de la misma forma resulta con el Emotiv EPOC luego de establecer el contacto con la piel se procede con la adquisición de las señales EEG y finalmente se ejecuta el Openvibe que sirve para el procesamiento y almacenamiento de las señales EEG, para proseguir con la primera prueba sin estimulación que consta de un tiempo de 15 a 20 minutos.

Después de adquirir las señales sin estimulación, se prosigue a realizar la estimulación como tal, se adquiere nuevamente las señales de la misma forma que se realizó sin la estimulación, con el mismo tiempo de duración y se almacenan en una base de datos en el computador. Este procedimiento se presenta en la figura 3.11.

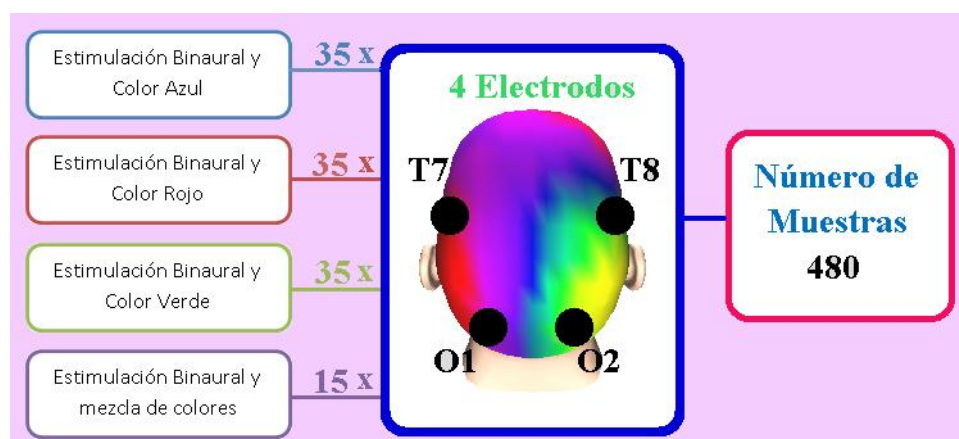
<sup>44</sup> Fuente: Autores



**Figura 3.11.** Protocolo para la adquisición de señales EEG y ECG <sup>45</sup>

Con la ayuda de los equipos de adquisición de bioseñales que dispone el Grupo de Investigación en Ingeniería Biomédica (GIIB), se procede con la creación de los softwares, en los programas establecidos anteriormente para el monitoreo y el procesamiento de las señales EEG y ECG.

Luego de la autorización de los sujetos para el estudio, se colocan los electrodos en la disposición descrita anteriormente tanto para el EEG como ECG, para continuar con la toma de dichas señales con la duración de 15 a 20 min, sin ningún tipo de estimulación. Para las pruebas con estimulación se procede de igual manera. Y con las pruebas realizadas a las 50 personas que colaboraron con el experimento personas de las cuales según el tipo de estimulación llega a un total de 480 como se muestra en la figura 3.12. Dando paso al capítulo cuatro para el análisis de los resultados obtenidos y su presentación en cuadros estadísticos para una mejor interpretación sobre el proyecto.



**Figura 3.12.** Forma de obtención de las muestras <sup>46</sup>

<sup>45</sup> Fuente: Autores

<sup>46</sup> Fuente: Autores



### 4. RESULTADOS Y ANÁLISIS

#### 4.1 Introducción

Para el análisis de los datos obtenidos de cada una de las pruebas realizadas, se procedió con el desarrollo de un software en Matlab para lectura y procesamiento de las señales EEG y ECG, donde primero se aplica la Transformada Rápida de Fourier (FFT), para observar el comportamiento total de la señal en el dominio de la frecuencia y para obtener las características individuales de las bandas Beta, Alfa, Theta, Delta se aplica la transformada Wavelet, de donde se obtiene la mayor amplitud de cada grupo de ondas.

Con las amplitudes de las ondas obtenidas se presenta cuadros estadísticos de la siguiente disposición. Histogramas de las señales puras y de las señales estimuladas con sus respectivos gráficos, cuadros que indiquen que región fue la más estimulada entre los temporales y occipitales analizados. Para mejor comprensión de lo que sucede antes y después de la estimulación se presenta una imagen de comparación entre las medias estimuladas y sin estimular.

#### 4.2 Transformada Wavelet

Es una técnica que utiliza ventanas de tamaño variable, que permite realizar un análisis local por regiones más cortas donde se requiera mayor información, la cual consiste en la descomposición de una señal original ( $x$ ), en dos señales, una de aproximación  $A1$  y otra de detalles  $D1$ , seguido de esto a la señal  $A1$  se le subdivide nuevamente quedando con una aproximación  $A2$  y un detalle  $D2$ , este proceso se realiza las veces que sean necesarias, para mejor entendimiento se presenta la figura 4.2.1. Además se emplean como funciones de análisis con ciertos requerimientos matemáticos.

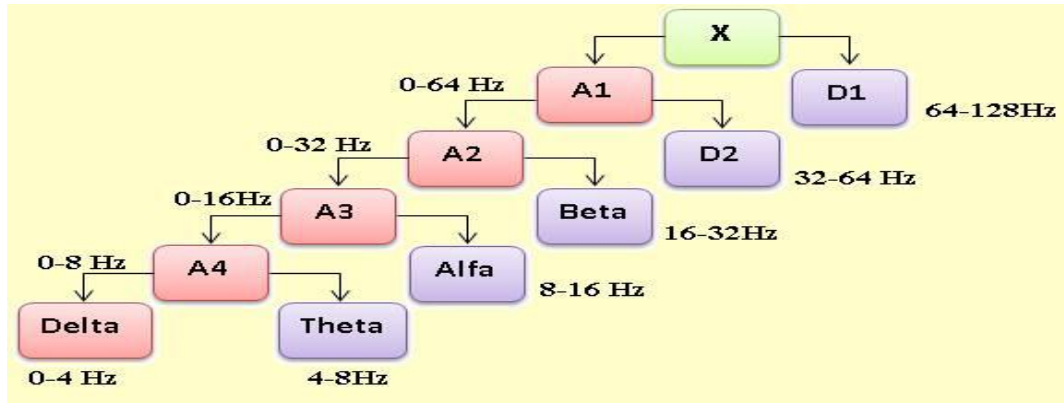


Figura 4.2.1. Componente de construcción de una señal mediante TW <sup>47</sup>

En la práctica para el análisis con la transformada Wavelet (TW), primero se toma una función llamada “wavelet madre” a partir de la cual se deriva toda una familia de versiones trasladadas y escaladas [22].

$$h_{a,b} = \frac{1}{\sqrt{|a|}} h\left(\frac{t-b}{a}\right); \quad a, b \in \mathbb{R}, a \neq 0 \quad (1)$$

- Donde  $h$  es la wavelet madre, y  $t$  es el tiempo.

La TW de una función  $x(t)$  a escala  $a$  y a posición  $b$  se calcula correlacionando la función  $f$  con una partícula wavelet [22]:

$$Wf(a, b) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \cdot \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \cdot h\left(\frac{t-b}{a}\right) \cdot dt = \langle f, h_{a,b} \rangle \quad \text{donde } a \text{ es } a = \frac{f_0}{f} \quad (2)$$

- Donde  $f$  es la frecuencia de muestreo y  $f_0$  es la frecuencia de la función wavelet de forma logarítmica.

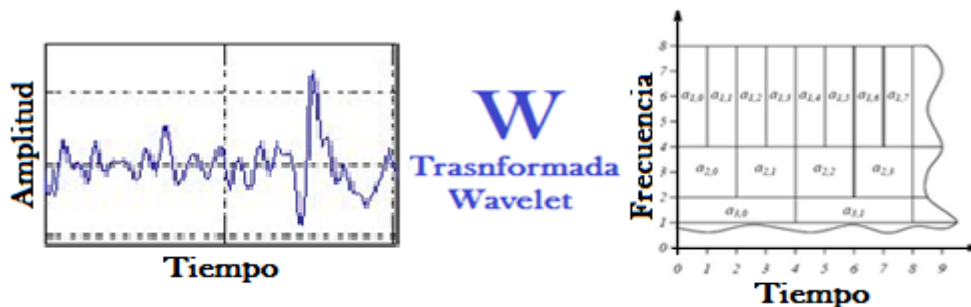


Figura 4.2.2 Transformada Wavelet <sup>48</sup>

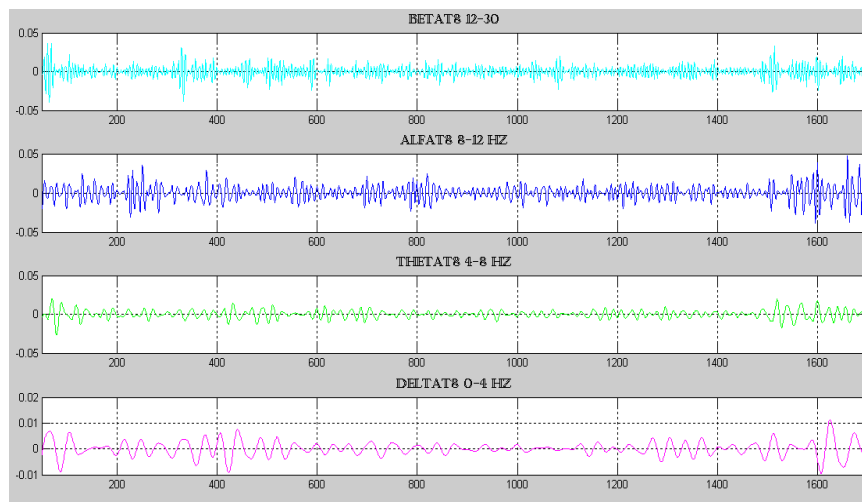
<sup>47</sup> Fuente: Autores

<sup>48</sup> Fuente: Autores



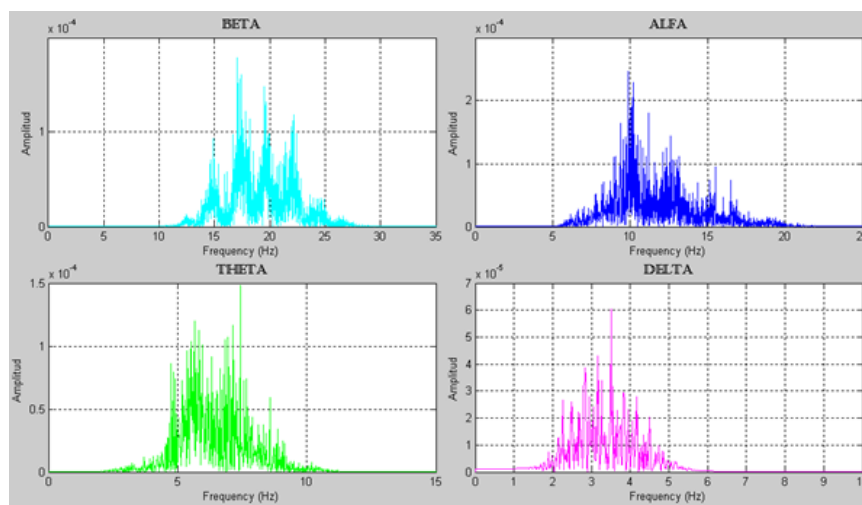
Existe una gran variedad de familias Wavelets, para los diferentes tipos de aplicaciones y la indicada para este, es la tipo Daubechies más conocida como Sym, debido a su parecido con la señal EEG, la cual permite obtener una mejor clasificación de subseñales [23].

Luego de aplicar la TW a las señales adquiridas, se obtiene las aproximaciones y detalles a analizar, en donde la wavelet madre se subdivide en cuatro bandas para observar en regiones más cortas con mayor precisión, como se muestra en la figura 4.2.3. El programa para este procedimiento se encuentra en el anexo 5.



**Figura 4.2.3** Subseñales de las ondas EEG <sup>49</sup>

Para mejor apreciación de la división de las cuatro bandas se obtiene la FFT de cada una de las subseñales, en donde se observa el rango de frecuencias de cada uno de los espectros de dichas señales respectivamente, como se muestra en la figura 4.2.4.



**Figura 4.2.4** FFT de las subseñales de las ondas EEG <sup>50</sup>

<sup>49</sup> Fuente: Autores

<sup>50</sup> Fuente: Autores

### 4.3 Análisis estadístico de las ondas EEG

Para el análisis estadístico se obtienen las medidas de tendencia central de todos los valores obtenidos que permiten resumir a un conjunto de datos dispersos, estas medidas son; media aritmética, mediana, moda, desviación estándar, coeficiente de Asimetría y coeficiente de Curtosis [24] [25].

En donde el coeficiente de asimetría indica la forma en la que están distribuidos los datos, con relación a la media, además de que existen dos tipos de asimetría la positiva y la negativa en función de a qué lado se encuentra la cola de la distribución [25] [26].

Se calcula con la siguiente fórmula, que nos indica que pasa con el valor obtenido de g.

$$S = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{\left( \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \right)^3} \quad (3)$$

- Si  $g > 0$ , la distribución es asimétrica positiva o a la derecha.
- Si  $g = 0$ , la distribución es simétrica.
- Si  $g < 0$ , la distribución es asimétrica negativa o a la izquierda [27].

La figura 4.3.1 muestra las formas de asimetría que existen.

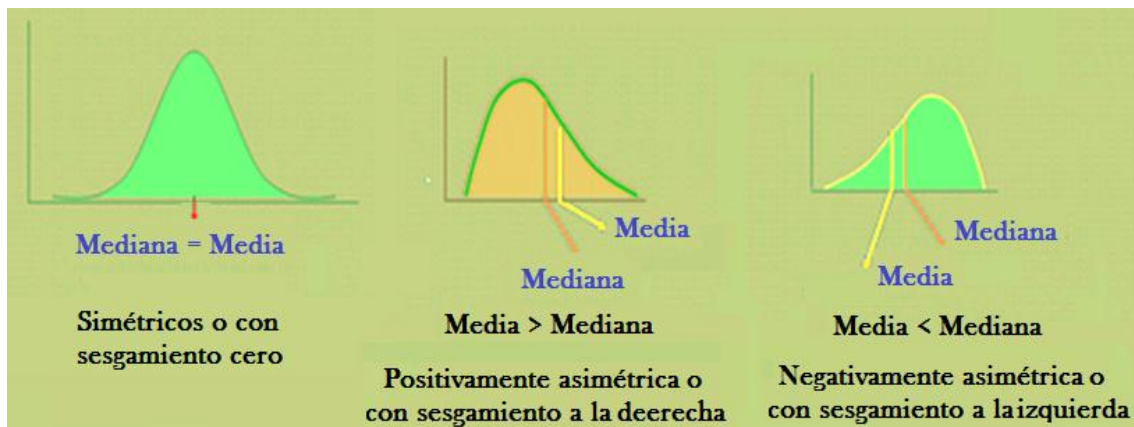


Figura 4.3.1. Formas de la relación de Asimetría <sup>51</sup>

Otra manera de apreciar la forma de una distribución es observar el nivel de apilamiento o planicie de la curva es la Curtosis [26], midiendo en el grado de apuntamiento de una distribución con respecto a la distribución normal gaussiana y existen tres tipos que son Leptocúrtica en donde el valor de Curtosis  $> 0$ , en la Platicúrtica el valor de Curtosis  $< 0$  y en la Mesocúrtica el valor de Curtosis  $= 0$ . Se calcula con la siguiente fórmula, la cual

<sup>51</sup> Fuente: Autores

nos indica que pasa con el valor obtenido de  $g$ . Mientras más cercano sea su valor a 3 es mejor porque se parece a una curva de distribución normal [26].

$$k = g = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4}{\left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right)^2} \quad (4)$$

- Si  $g$  es 0, la distribución es normal.
- Si  $g$  es positivo, la curva es apuntada, más alta que la normal y nos indica una mayor concentración alrededor del promedio.
- Si  $g$  es negativo, es achatada, por lo tanto hay más dispersión respecto al promedio [27].

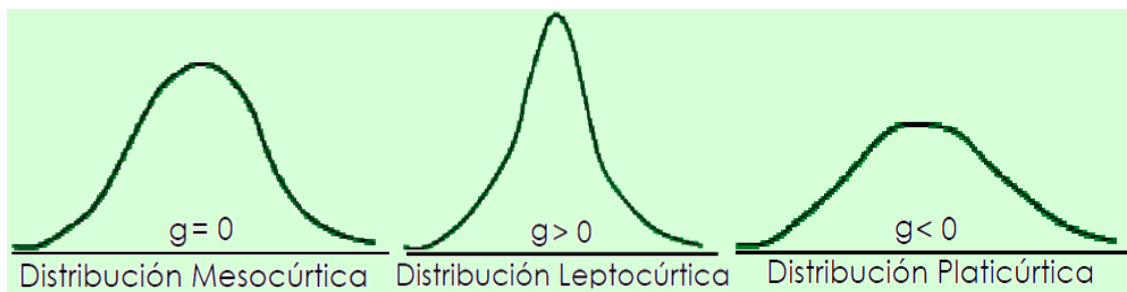


Figura 4.3.2. Formas de la Curtosis <sup>52</sup>

El programa para el análisis estadístico se encuentra en el anexo 7. Y la tabla 4.1 muestra los resultados totales del experimento sin estimulación que servirán en lo posterior para realizar el análisis del que cambio se produce con cada una de las estimulaciones.

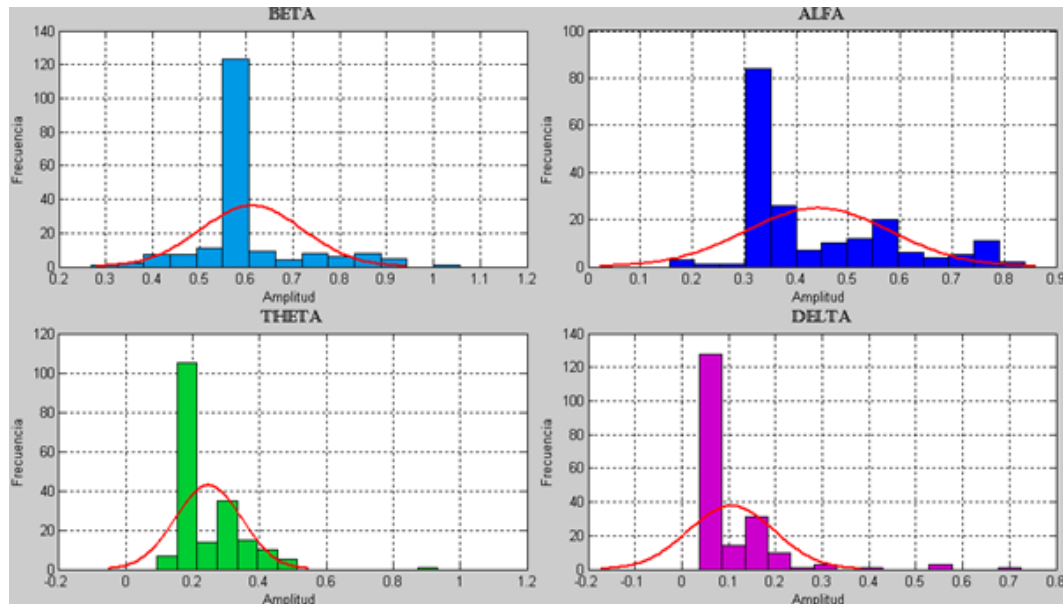
| SIN ESTIMULACIÓN TOTAL     |        |        |         |         |
|----------------------------|--------|--------|---------|---------|
|                            | Beta   | Alfa   | Theta   | Delta   |
| <b>Media Aritmética</b>    | 0,6121 | 0,442  | 0,2469  | 0,1058  |
| <b>Mediana</b>             | 0,6010 | 0,357  | 0,1871  | 0,0651  |
| <b>Moda</b>                | 0,3818 | 0,3639 | 0,177   | 0,0411  |
| <b>Desviación Estándar</b> | 0,1105 | 0,1397 | 0,0996  | 0,0927  |
| <b>Asimetría</b>           | 0,8315 | 0,9904 | 2,2833  | 3,6665  |
| <b>Curtosis</b>            | 5,5179 | 3,192  | 13,4301 | 19,9101 |

Tabla 4.3.1. Cuadro estadístico sin Estimulación <sup>53</sup>

<sup>52</sup> Fuente: Autores

<sup>53</sup> Fuente: Autores

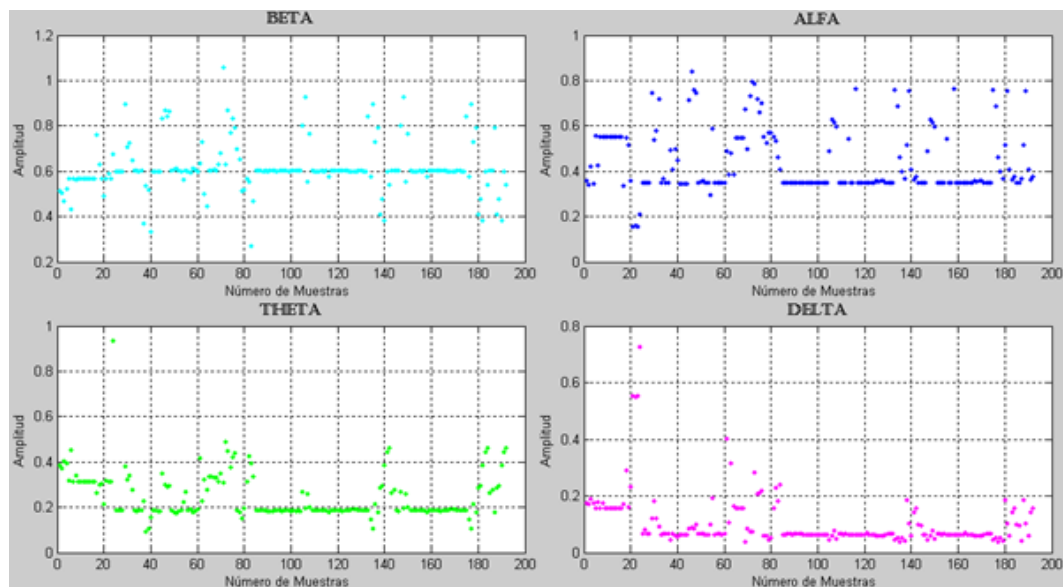
La grafica 4.3.3 representa los máximos de los espectros de las señales adquiridas antes de la estimulación de cada persona, donde se puede observar que las ondas Beta son las que predomina con el 0.6121 del valor de la media aritmética, mientras que las ondas Alfa tienen el 0.442, las ondas Theta tienen el 0.2469 y las ondas Delta tienen el 0.1058 de las medias aritméticas respectivamente.



**Figura 4.3.3.** Histogramas de las medias aritméticas de las ondas EEG sin estimulación total <sup>54</sup>

La figura 4.3.4, representa la dispersión de los datos, en donde el eje horizontal está constituido por el número de muestras y el eje vertical por las amplitudes de los espectros de las señales de cada una de ellas, donde se presenta mayor actividad en las ondas Beta.

<sup>54</sup> Fuente: Autores



**Figura 4.3.4.** Dispersiones de las medias aritméticas de las ondas EEG sin estimulación total <sup>55</sup>

La tabla 4.2 muestra los resultados totales del experimento con estimulación que servirán en lo posterior para realizar el análisis de lo que produce cada una de las estimulaciones ejecutadas.

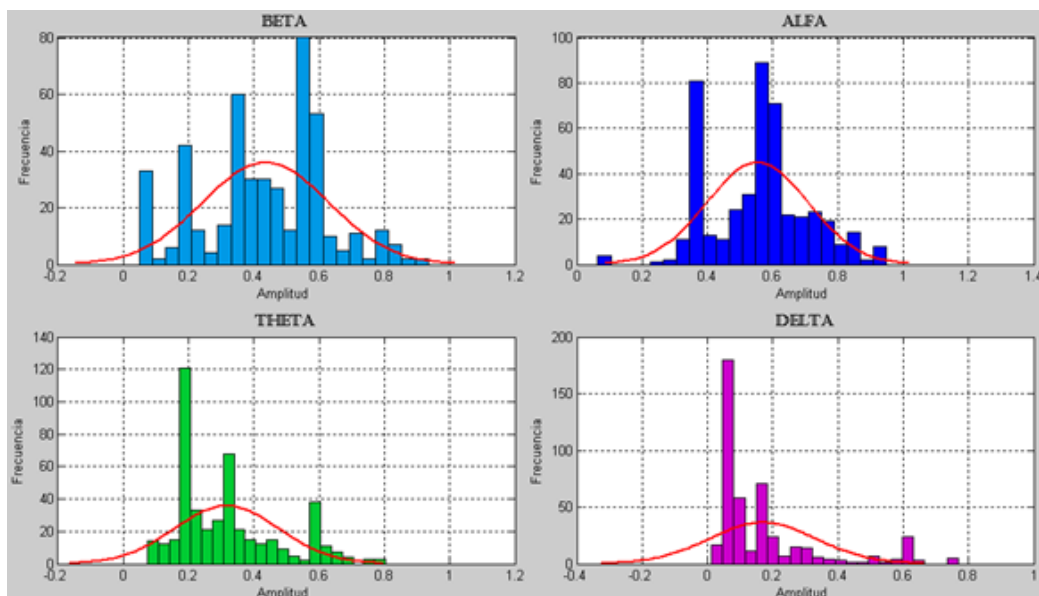
| ESTIMULACIÓN TOTAL         |         |        |        |        |
|----------------------------|---------|--------|--------|--------|
|                            | Beta    | Alfa   | Theta  | Delta  |
| <b>Media Aritmética</b>    | 0,436   | 0,5533 | 0,3168 | 0,1695 |
| <b>Mediana</b>             | 0,444   | 0,5616 | 0,2861 | 0,0983 |
| <b>Moda</b>                | 0,069   | 0,3107 | 0,0851 | 0,0118 |
| <b>Desviación Estándar</b> | 0,194   | 0,1554 | 0,1603 | 0,1651 |
| <b>Asimetría</b>           | -0,1433 | 0,0119 | 0,9272 | 1,8918 |
| <b>Curtosis</b>            | 2,5217  | 3,0693 | 2,9665 | 5,7670 |

**Tabla 4.3.2.** Cuadro estadístico con Estimulación <sup>56</sup>

La grafica 4.3.5 representa los máximos de los espectros de las señales adquiridas después de la estimulación de cada persona, donde se puede observar que las ondas beta tienen el 0.436, mientras que las ondas alfa tienen el 0.5533 del valor de la media aritmética, que en este caso predominan y las ondas theta tienen el 0.3168 y las ondas delta tienen el 0.1695 de las medias aritméticas respectivamente.

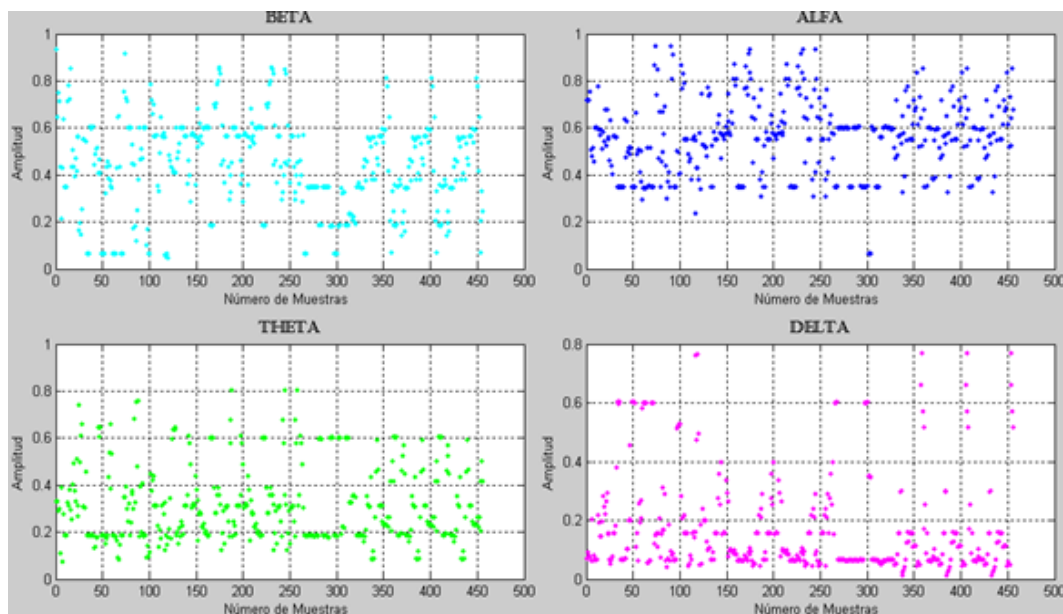
<sup>55</sup> Fuente: Autores

<sup>56</sup> Fuente: Autores



**Figura 4.3.5.** Histogramas de las medias aritméticas de las ondas EEG con estimulación total <sup>57</sup>

Como se puede observar en la figura 4.3.6 de la dispersión total de los datos después de la estimulación, presenta mayor actividad en la onda Alfa y una disminución en la onda Beta que era la que predominaba, permaneciendo de nivel menor las otras dos ondas.



**Figura 4.3.6.** Dispersiones de las medias aritméticas de las ondas EEG con estimulación total <sup>58</sup>

En el análisis de la correlación de las ondas EEG se interpreta la relación que se da entre las ondas con respecto a la onda Alfa antes de la estimulación y que es la de mayor interés en este estudio. Como se puede observar en la tabla 4.3.3 la relación que existe

<sup>57</sup> Fuente: Autores

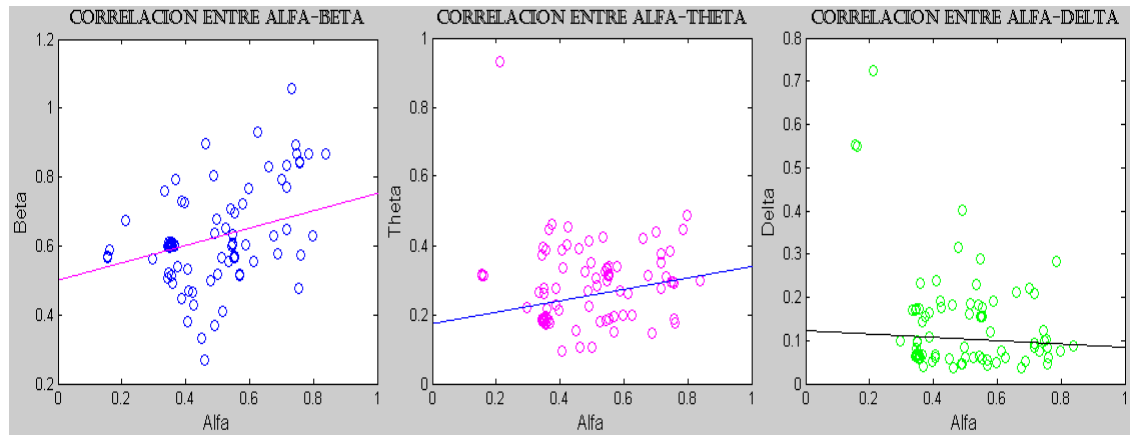
<sup>58</sup> Fuente: Autores

entre la onda Alfa y la Beta es de 0.3181 esto se da por la relación que existe entre los rangos que las definen, lo que quiere decir que no es tan buena, pero es la más significativa, ya que la relación que existe entre la onda Alfa y la onda Theta es de 0.2315 que es mucho más baja que la anterior y la relación que existe entre la onda Alfa y la onda Delta es casi nula, todo es por los rangos en que se manejan las ondas.

| CORRELACION ENTRE ONDAS NO ESTIMULADAS |                    |             |
|----------------------------------------|--------------------|-------------|
|                                        | Número de muestras | Correlación |
| Entre Alfa y Beta                      | 192                | 0.3181      |
| Entre Alfa y Theta                     | 192                | 0.2315      |
| Entre Alfa y Delta                     | 192                | -0.0580     |

*Tabla 4.3.3. Correlación entre ondas no estimuladas*<sup>59</sup>

Lo cual se puede interpretar de mejor manera al observar la gráfica 4.3.7 de las correlaciones de cada una de las relaciones que existe entre las ondas con respecto a la onda Alfa.



*Figura 4.3.7. Correlaciones entre ondas no estimuladas*<sup>60</sup>

Correlación de las ondas EEG estimuladas en relación a la onda Alfa ya que es la de mayor interés en este estudio. Como se puede observar en la tabla 4.3.4 la relación que existe entre la onda Alfa y la Beta es de 0.5261 esto se da por la relación que existe entre los rangos que las definen, lo que quiere decir que no es tan buena, pero es la más significativa, ya que la relación que existe entre la onda Alfa y la onda Theta es de -

<sup>59</sup> Fuente: Autores

<sup>60</sup> Fuente: Autores

0.1185 que es mucho más baja que la anterior y la relación que existe entre la onda Alfa y la onda Delta es casi nula con un valor del -0.2294, todo es por los rangos en que se manejan las ondas.

| CORRELACION ENTRE ONDAS ESTIMULADAS |                    |             |
|-------------------------------------|--------------------|-------------|
|                                     | Número de muestras | Correlación |
| Entre Alfa y Beta                   | 456                | 0.5261      |
| Entre Alfa y Theta                  | 456                | -0.1185     |
| Entre Alfa y Delta                  | 456                | -0.2294     |

Tabla 4.3.4. Correlación entre ondas estimuladas <sup>61</sup>

Lo cual se puede interpretar de mejor manera al observar la gráfica 4.3.8 de las correlaciones de las relaciones que existe entre las ondas con respecto a la onda Alfa.

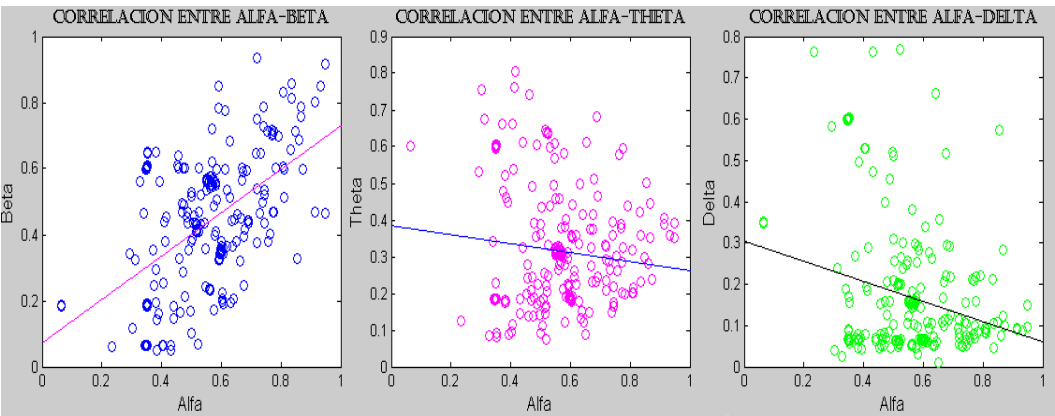


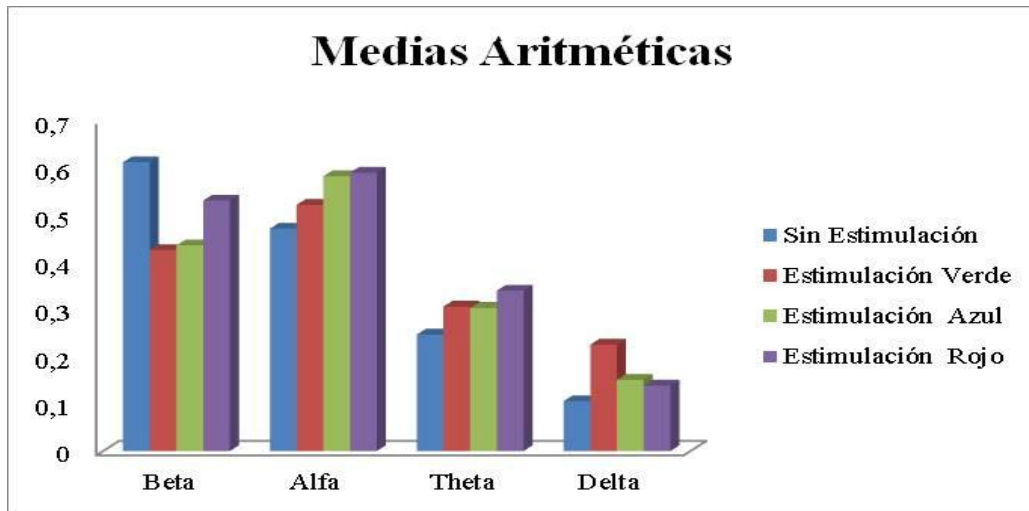
Figura 4.3.8. Correlaciones entre ondas estimuladas <sup>62</sup>

De igual manera se presentan los resultados obtenidos de cada una de las estimulaciones acompañadas del sonido binaural en comparación con los no estimulados. Se puede observar que las ondas Beta son las que predominan sin estimulación y que las ondas Alfa son las presentan mayor actividad cuando se ha estimulado con el color rojo, azul y verde respectivamente, como se muestra en la figura 4.3.9.

<sup>61</sup> Fuente: Autores

<sup>62</sup> Fuente: Autores

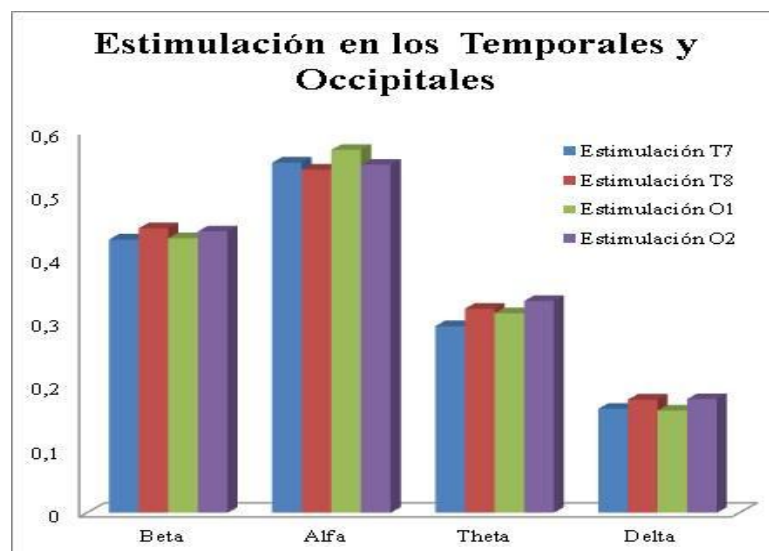




**Figura 4.3.9.** Medias aritméticas de las estimulaciones en comparación como los no estimulados <sup>63</sup>

Ahora se exhiben los resultados obtenidos de las estimulaciones por los lóbulos temporales y occipitales para ver cuál presenta mayor actividad, cabe recalcar que todas las estimulaciones están acompañadas del sonido binaural.

Los lóbulos que presentan mayor actividad en las ondas Alfa son los occipitales O1 y O2 seguidos de los temporales T7 y T8, de manera continua van en las ondas Beta en las cuales la mayor actividad está en el lóbulo T8, seguido de los O2, O1 y T7, en las ondas Theta se manifiesta el lóbulo O2 seguido del T8, O1 y T7 y en las ondas Delta predomina el lóbulo O2, T8, O1, T7 respectivamente, como se muestra en la figura 4.3.10.



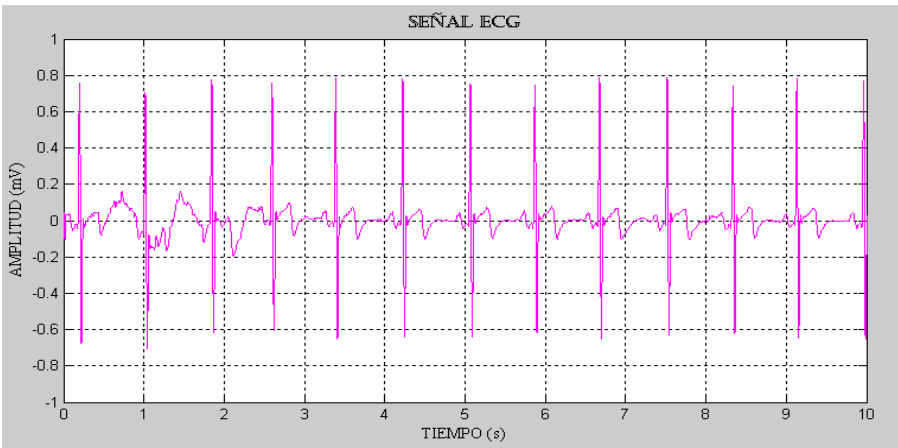
**Figura 4.3.10.** Estimulación en los Temporales y Occipitales <sup>64</sup>

<sup>63</sup> Fuente: Autores

<sup>64</sup> Fuente: Autores

#### 4.4 Análisis de las ondas ECG

El tratamiento de estas señales se realizó en el mismo software de adquisición, en donde los datos obtenidos se procesaron en Matlab para mejor visualización, como indica la figura 4.4.1. Y el programa para este procesamiento se encuentra en el anexo 6.



**Figura 4.4.1.** Señal del ECG <sup>65</sup>

Como se sabe, los pulsos del corazón varían de una persona a otra, por lo que se procede a realizar una media aritmética a los valores obtenidos del ECG, para poder tener una relación más clara de lo que pasa antes y después de la estimulación.

La tabla 4.4.1, muestra los datos obtenidos de 20 personas del experimento para ver la relación que se da entre las frecuencias cardíacas antes y después de la estimulación.

| FRECUENCIAS CARDIACAS |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|-----------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Sin Estimulación      | 64 | 78 | 94 | 66 | 60 | 72 | 88 | 70 | 84 | 72 | 64 | 90 | 60 | 88 | 82 | 74 | 64 | 72 | 78 | 74 |
| Con Estimulación      | 62 | 70 | 94 | 60 | 60 | 74 | 80 | 68 | 78 | 66 | 58 | 86 | 60 | 86 | 86 | 76 | 62 | 70 | 82 | 72 |

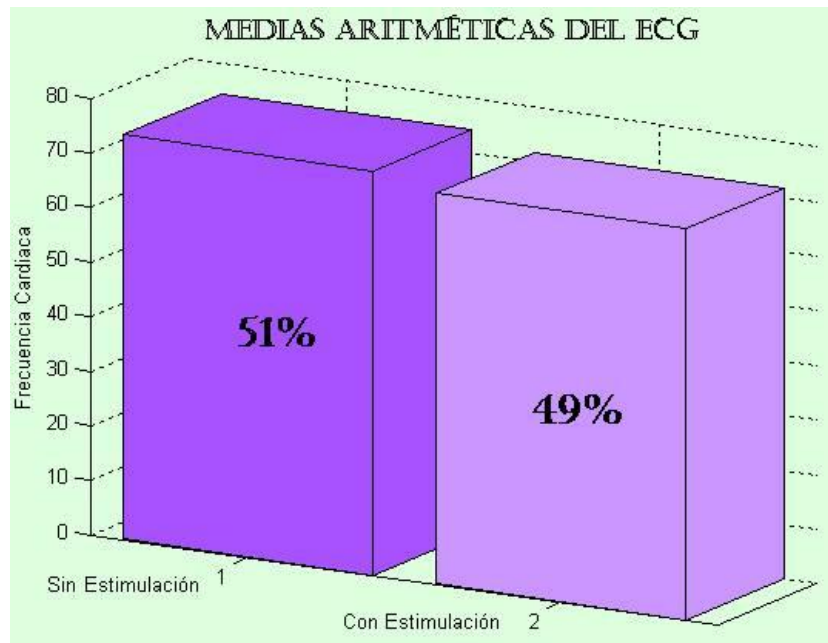
**Tabla 4.4.1.** Relación de frecuencias cardíacas con estimulación y sin estimulación <sup>66</sup>

La gráfica 4.4.2, muestra que la frecuencia cardíaca antes de la estimulación es del 51% y después de la estimulación baja a un 49% lo que indica que no existe gran diferencia, ya que no en todas las personas bajó después de las pruebas, entonces se puede decir

<sup>65</sup> Fuente: Autores

<sup>66</sup> Fuente: Autores

que el experimento no causa alteraciones por lo que es apto para cualquier persona que desee realizarlo.



**Figura 4.4.2.** Porcentajes de las medias aritméticas del ECG <sup>67</sup>

En el desarrollo de este capítulo se realizaron los análisis de los resultados obtenidos de la transformada Wavelet de cada una de las pruebas realizadas en el experimento, además de la información del test de medidas de tendencia central.

---

<sup>67</sup> Fuente: Autores

#### 4.5 Análisis económico del Proyecto

En la tabla 4.5.1, se presenta el valor de la inversión del prototipo Audiovisual que es de \$ 14020 cuyo costo puede reducirse al optar por un equipo de adquisición de señales ECG más económico, con el cual la inversión total del proyecto es de \$10720 con el cual se desarrollará los análisis económicos posteriores.

| <b>COSTO DEL PROTOTIPO AUDIOVISUAL</b> |                            |                                     |
|----------------------------------------|----------------------------|-------------------------------------|
| <b>Descripción</b>                     | <b>Costo Investigación</b> | <b>Costo Final de Investigación</b> |
| <b>Materia Prima</b>                   | 60                         | 60                                  |
| <b>Materia Prima del Mueble</b>        | 200                        | 200                                 |
| <b>Herramientas</b>                    | 6500                       | 3200                                |
| <b>Programación del Software</b>       | 1500                       | 1500                                |
| <b>Programa de LabVIEW</b>             | 4800                       | 4800                                |
| <b>Insumos</b>                         | 960                        | 960                                 |
| <b>Total Inversión</b>                 | <b>14020</b>               | <b>10720</b>                        |

*Tabla 4.5.1. Costo del prototipo Audiovisual <sup>68</sup>*

**Nota:** El proyecto será autofinanciado con excepción del emotiv EPOC y Biopac mp-45 que son herramientas que se encuentran en el laboratorio de Investigación GIIB, UPS.

Para el análisis económico se tomó dos puntos de vista, el primero como venta del servicio y el Segundo como venta del producto.

Para la venta de servicio se indagó sobre las siguientes variables, número de personas a adquirir el servicio por día, precio y días laborables por año y número de spas a brindar el servicio en las ciudades Cuenca, Quito y Guayaquil. Como se presentan en la tabla 4.5.2.

---

<sup>68</sup> **Fuente:** Autores

|            | <b>Flujo de Ingreso</b> | <b>Flujo de Egreso</b> | <b>Flujo de Efectivo Neto</b> |
|------------|-------------------------|------------------------|-------------------------------|
| <b>Año</b> | Ingresos                | Egresos                | Valor                         |
|            |                         |                        | -17865                        |
| <b>1</b>   | 26000                   | 16000                  | 10000                         |
| <b>2</b>   | 31000                   | 8000                   | 23000                         |
| <b>3</b>   | 27000                   | 5000                   | 22000                         |
| <b>4</b>   | 28000                   | 7000                   | 21000                         |
| <b>5</b>   | 29000                   | 5000                   | 24000                         |

**Tabla 4.5.2. Venta del servicio** <sup>69</sup>

La tasa interna de rendimiento (TIR) indica la rentabilidad que lleva un proyecto en términos porcentuales, mientras que la tasa de valor actual neto (VAN) indica el valor total del proyecto, luego de hacer la diferencia entre los beneficios y la inversión. En este caso la inversión total del proyecto es de \$10.720 si este valor se deposita en un banco para obtener ganancias, de la tasa de interés que actualmente es del 7% anual a plazo fijo, lo que daría una ganancia del \$3.752 en un periodo de 5 años con una tasa TIR del 6%, en comparación con la tasa TIR del proyecto que es del 88% y una ganancia de \$63.153,49 en ese mismo periodo, se concluye que es más rentable es ejecutar el proyecto. La recuperación de la inversión se daría alrededor de 9 meses, se muestra en la tabla 4.5.3.

|                            |        |            |             |
|----------------------------|--------|------------|-------------|
| <b>Inversión Inicial</b>   | 10720  | <b>VAN</b> | \$63.153,49 |
| <b>Tasa de Interés 10%</b> | 0,1    | <b>TIR</b> | 88%         |
| <b>Vida Útil</b>           | 5 Años |            |             |

**Tabla 4.5.3. TIR y VAN de la venta del servicio** <sup>70</sup>

En caso de la venta del producto se toma en consideración, el hardware, software, la instalación y mantenimiento. El cual me da un costo final del producto de \$4500.

| <b>Venta del Producto</b> |             |
|---------------------------|-------------|
| <b>Hardware</b>           | 700         |
| <b>Software</b>           | 3000        |
| <b>Instalación</b>        | 800         |
| <b>Total</b>              | <b>4500</b> |

**Tabla 4.5.4. Venta del Producto** <sup>71</sup>

<sup>69</sup> **Fuente:** Autores

<sup>70</sup> **Fuente:** Autores

<sup>71</sup> **Fuente:** Autores

Donde la inversión según el número de ventas deseadas en los 5 años sería de \$70600. El número de spas existentes en las ciudades mencionadas anteriormente y que están en la red es alrededor de 115, asumiendo que solo 58 de ellos desean comprar el equipo siguientes ventas por año en un periodo de 5 años se da los siguientes costos. Para mayor explicación se presenta la tabla 4.5.5.

| NÚMERO DE AÑOS                  | NÚMERO VENTAS POR AÑO | INGRESOS |
|---------------------------------|-----------------------|----------|
|                                 |                       | -70600   |
| 1                               | 12                    | 54000    |
| 2                               | 14                    | 63000    |
| 3                               | 9                     | 40500    |
| 4                               | 11                    | 49500    |
| 5                               | 12                    | 54000    |
| <b>Número de Ventas Totales</b> | <b>58</b>             |          |

*Tabla 4.5.5. Ventas del equipo por año <sup>72</sup>*

La recuperación de la inversión en este caso sería alrededor de 18 meses. Con una ganancia de \$128.324,19 que muestra un van positivo el cual indica que el proyecto es aceptable y lleva una tasa interna de retorno del 71%.

|            |                     |
|------------|---------------------|
| <b>VAN</b> | <b>\$128.324,19</b> |
| <b>TIR</b> | <b>71%</b>          |

*Tabla 4.5.6. Análisis del TIR y del VAN de venta del producto <sup>73</sup>*

<sup>72</sup> Fuente: Autores

<sup>73</sup> Fuente: Autores

---

## CAPÍTULO 5

---

### 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 Conclusiones

- Para el estudio de este proyecto, se realizó una selección de algunos artículos, libros y revistas relacionadas con la Neuroestimulación, debido a que existe gran cantidad de información pero no de fuentes fiables.
- Al momento de hablar de estimulación visual y auditiva, se debe conocer sobre el funcionamiento biológico de cada uno de los órganos involucrados en estas áreas.
- El uso del EMOTIV Epoc facilitó la adquisición de las señales EEG en el Hardware pero para la parte del software se requería de otro programa que permitiere observar la actividad eléctrica de los lóbulos temporales y los occipitales como sus espectros.
- Al momento de diseñar la estructura para el prototipo de estimulación audiovisual se empleó en el modelo Paradise ya que es el más conocido en el mercado.
- En el diseño de la interfaz de usuario y los elementos de estimulación se utilizó el software Labview, debido a que esta plataforma permite el control del puerto USB de la tarjeta de audio y establecer aplicaciones del EPOC.
- Para la realización de las estimulaciones es necesario que las personas estén sentadas de manera relajada, pero sin sostener la cabeza en la parte posterior de la silla, ya que los electrodos del EPOC dejarían de establecer el contacto con el cuero cabelludo.
- Con la ayuda del equipo Biopac mp-45, se realizó la lectura de las señales ECG, ya que es uno de los instrumentos de investigación para bioseñales disponibles en el GIIB.

- Con los datos que nos entrega el análisis estadístico, se puede concluir diciendo que se cumple la hipótesis planteada del proyecto, ya que los valores tanto de la asimetría como de la Curtosis en las ondas alfa después de la estimulación que se indican en la tabla 4.3.2 son los más cercanos a los valores ideales ya que estos deben ser cercanos a cero y a tres respectivamente para que se parezcan más al comportamiento de una curva de distribución normal, mientras que de las otras ondas se alejan por completo, lo mismo que sucede con los datos obtenidos de la correlación que se realizó para ver qué tan alejadas o cercanas están unas de otras, en la cual se obtuvo una mejor correlación entre las ondas Alfa y Beta.
- Al aplicar Mozart más el sonido binaural se observó que la onda beta se atenúa significativamente mientras que la onda alfa se incrementa en un 10%, seguida de la onda theta que sufre una variación similar, pero sin alcanzar a ninguna de las otras ondas.
- También se realizó un análisis de manera individual en cada uno de los lóbulos, donde se observó que el occipital y temporal izquierdo son los que predominan con una pequeña variación con respecto a sus homólogos en las ondas alfa.
- Las estimulaciones realizadas no produjeron un cambio drástico en las frecuencias cardíacas de las personas ya que de lo contrario se volvería en un método invasivo que no sería apto para todas las personas.



## 5.2 Recomendaciones

- ❖ Los electrodos para el ECG no son reutilizables, pero los del EEG si lo son, ya que son parte del equipo EPOC, los mismos que se les debe realizar una limpieza después de ser utilizados.
- ❖ Es recomendable que las personas en estudio estén con el cuero cabelludo humedecido porque favorece a la conducción de las señales.
- ❖ Revisar bien de los equipos antes de realizar el estudio, es decir que sean los indicados ya que existen varios tipos de los mismos.
- ❖ Antes de realizar la comunicación con Labview, se debe tener instalado las librerías para Emotiv EPOC.
- ❖ Cuando se trabaja con el Biopac asegurase de que los archivos se estén almacenando de manera adecuada.
- ❖ Al momento de proceder a realizar las pruebas revisar que el Openvibe y el Emotiv EPOC estén en conexión ya que de lo contrario los datos guardados serían nulos.

ANEXOS

## ANEXO 1

### PROTOCOLO DE REGISTRO DE ONDAS ELECTROENCEFALOGRÁFICAS

**En caso de ser el padre/madre o representante legalmente autorizado de un menor de 18 años, “Yo” se refiere a “mi hijo” y el resto del consentimiento se dirige a mí.**

**NOMBRE DE LA PERSONA:** \_\_\_\_\_,

**FECHA** \_\_\_\_\_

#### **PROPÓSITO DEL ESTUDIO:**

Se me ha solicitado que participe como voluntario en un estudio de investigación en estimulación cerebral mediante un dispositivo audiovisual, el cual observara los cambios de las ondas electroencefalográficas y electrocardiográficas cuando se aplica una diferencia de frecuencias audibles y un destello de luz a la vista. Este estudio puede ayudar al desarrollo de herramientas más sofisticadas en ambientes terapéuticos asociados con el estrés. Sin embargo, no hay garantías de que la participación producirá beneficios para mí u otros.

Las ondas electroencefalográficas son ondas que describen ciertos estados de la persona, se dividen en cuatro grupos de los cuales se centrará en las ondas alfa, las mismas que se encuentran en un rango de 8Hz a 12 Hz de frecuencia, estas ondas se les asocia con un estado de ánimo de relajación.

El estudio planteado y el grado de colaboración que se me solicite estará explicada de una forma comprensible tal que yo que pueda tomar una decisión con conocimiento de causa sobre mi participación. Estos procedimientos se consideran “investigación” y serán gratuitos.

Mi participación en este estudio es completamente voluntaria.

#### **PERSONA:**

Seré tomado en cuenta para participar si yo, No padezco; alergia al líquido para electrodos o lentes de contacto, si me encuentro en estado de gestación, enfermedad neurológica como: epilepsia, esquizofrenia etc. Este estudio incluirá aproximadamente 50 personas que serán estudiadas en el Centro de Investigación Biomédica (GIIB) de la Universidad Politécnica Salesiana. Por favor nótese que este estudio no está diseñado para ayudar al diagnóstico de enfermedades mentales.

#### **PROCEDIMIENTOS:**

El proceso necesario para la investigación es el siguiente:

- Exposición a un sonido binaural: Aplicación leve de una diferencia de frecuencia a los oídos.
- Exposición a luces estroboscópicas: Aplicación leve de un destello de luz a la vista.

- Electroencefalograma: Es una prueba de la función eléctrica cerebral mediante electrodos que están ubicados en los brazos del EPOC, el mismo que registra las ondas cerebrales he imprimirá en una pantalla.
- Electrocardiograma: Es una prueba de la función cardiaca que usa electrodos dispuestos sobre el pecho.

Todo esto se realizara mientras la persona está localizada sobre una silla de asistencia de relajación, que tendrá una duración de 15 a 20 minutos.

### **Resultados Generados por este Estudio:**

Yo no deseo recibir ningún resultado generado por este estudio. Estoy participando solamente para tener el conocimiento de la influencia del sonido y la luz en las ondas cerebrales.

### **RIESGOS:**

Los posibles riesgos y/o inconvenientes asociados con los procedimientos descritos en esta investigación son mínimos, entre los cuales tenemos:

En la recolección de los datos de las ondas electroencefalográficas y electrocardiográficas existe la posibilidad de una reacción alérgica al líquido de contraste de los electrodos, que se manifiesta como una leve picazón.

Puede experimentar breve claustrofobia (miedo como resultado de estar en un espacio cerrado, pequeño) durante el procedimiento. Si esto ocurre, el sujeto puede pedir que se dé por terminada la participación en el procedimiento.

### **CONFIDENCIALIDAD:**

Los datos identificables de la investigación se tendrán en un área de acceso restringido, además se guardarán en un lugar seguro y los datos electrónicos se almacenarán en un computador protegido mediante una clave. Únicamente los investigadores harán uso de dicha información.

### **PARTICIPACION VOLUNTARIA:**

He leído la “Declaración de Derechos de los Sujetos en Experimentación” y se me ha dado una copia de la misma y de este formulario de consentimiento para que las conserve. La participación en este estudio es voluntaria. Puedo rehusarme a responder a cualquier pregunta o discontinuar mi participación en cualquier momento. Mi firma asentada a continuación indica que he leído la información de este formulario de consentimiento y he tenido la posibilidad de hacer preguntas relacionadas con el estudio. Yo doy mi consentimiento para participar.

-----  
Firma del sujeto (edad 15 o mayor)

-----  
Firma del representante legalmente  
autorizado/Padre o madre

-----  
Nombre del sujeto

-----  
Nombre del representante legalmente  
autorizado/Padre o madre

## **DECLARACIÓN DE DERECHOS DE LOS SUJETOS EN EXPERIMENTACIÓN**

Los derechos que se detallan a continuación, son los de cada individuo a quien se le solicita que participe en un estudio de investigación. Usted tiene derecho a:

1. Que se le informe acerca de la naturaleza y los propósitos del estudio.
2. Que se le informe acerca de los procedimientos a seguir durante el estudio de investigación y si algún dispositivo o procedimientos es diferente de aquellos que serían utilizados en prácticas médicas estándar.
3. Recibir una descripción sobre cualquier tipo de efectos colaterales, incomodidades, o riesgos que usted podría razonablemente esperar que se presenten durante el curso del estudio.
4. Que se le informe acerca de cualquier beneficio, si correspondiera alguno, que usted pueda razonablemente esperar como resultado de su participación en el estudio.
5. Que se le dé una oportunidad de realizar cualquier pregunta concerniente al estudio de investigación, tanto antes de dar su acuerdo para participar en el mismo, como en cualquier momento durante el curso de dicho estudio.
6. Recibir una copia del formulario de consentimiento escrito firmado y fechado y una copia de este formulario.
7. Que se le dé la oportunidad de decidir libremente dar o no su consentimiento para participar en el estudio de investigación sin ninguna fuerza, coerción, o influencia indebidas.

## ANEXO 2

| <b>DATOS PERSONALES</b>  |  |                   |  |
|--------------------------|--|-------------------|--|
| APELLIDOS                |  | NOMBRES           |  |
| EDAD                     |  | SEXO              |  |
| ESTADO CIVIL             |  | TELÉFONO          |  |
| PROFESION                |  | AÑOS<br>LABORALES |  |
| DESCRIPCIÓN DE<br>TAREAS |  |                   |  |

| <b>ANTECEDENTES MÉDICOS PERSONALES</b>            |                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|---------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ENFERMEDADES<br>NEUROLÓGICAS                      | SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> | Cefaleas <input type="checkbox"/><br>Temblores, Convulsiones <input type="checkbox"/><br>Epilepsia <input type="checkbox"/><br>Pérdida del conocimiento <input type="checkbox"/><br>Vértigo <input type="checkbox"/><br>Parálisis <input type="checkbox"/><br>Esquizofrenia <input type="checkbox"/><br>Otros <input type="checkbox"/> |
| ALERGIAS                                          | SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> | Cuáles?                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| ENFERMEDAD DE LOS<br>OJOS<br>Usa lentes?          | SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| ENFERMEDAD DE LOS<br>OÍDOS<br>Usted escucha bien? | SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| ENFERMEDAD<br>PSIQUIÁTRICA                        | SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> | Ansiedad <input type="checkbox"/><br>Depresión <input type="checkbox"/><br>Fobias <input type="checkbox"/><br>Psicosis <input type="checkbox"/><br>Otros <input type="checkbox"/>                                                                                                                                                      |
| Enfermedades a la piel                            | SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> | Cuales?                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |

| HABITOS        |                             |                             |            |        |
|----------------|-----------------------------|-----------------------------|------------|--------|
| TABACO         | SI <input type="checkbox"/> | NO <input type="checkbox"/> | FRECUENCIA | TIEMPO |
| ALCOHOL        | SI <input type="checkbox"/> | NO <input type="checkbox"/> | FRECUENCIA | TIEMPO |
| CAFES / TE     | SI <input type="checkbox"/> | NO <input type="checkbox"/> | FRECUENCIA | TIEMPO |
| DROGAS         | SI <input type="checkbox"/> | NO <input type="checkbox"/> | FRECUENCIA | TIEMPO |
| DEPORTE        | SI <input type="checkbox"/> | NO <input type="checkbox"/> | FRECUENCIA | TIEMPO |
| MEDICAMENTOS   | SI <input type="checkbox"/> | NO <input type="checkbox"/> | FRECUENCIA | TIEMPO |
| HORAS DE SUEÑO | SI <input type="checkbox"/> | NO <input type="checkbox"/> | FRECUENCIA | TIEMPO |

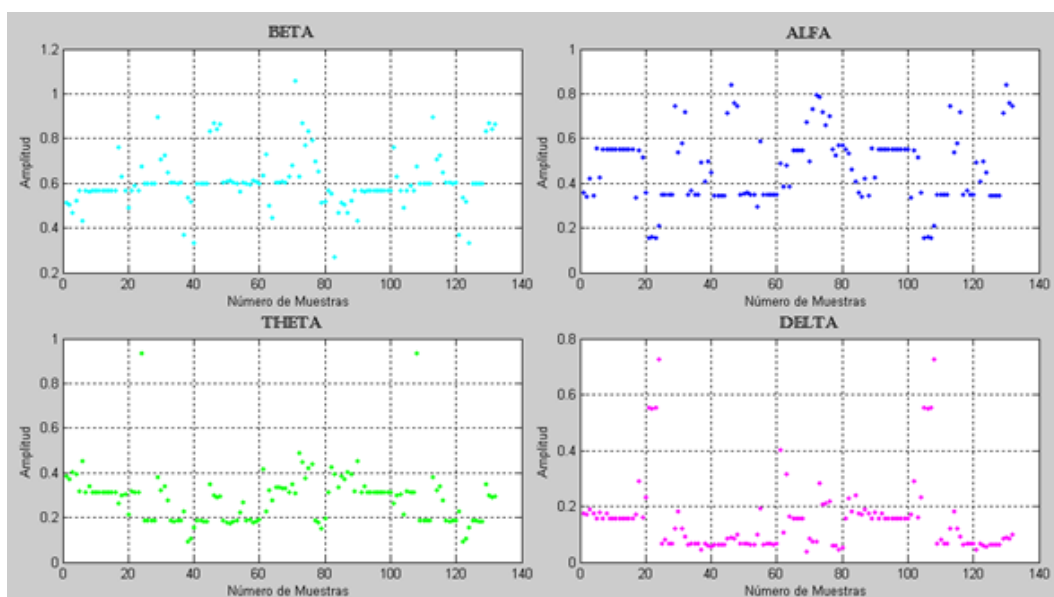
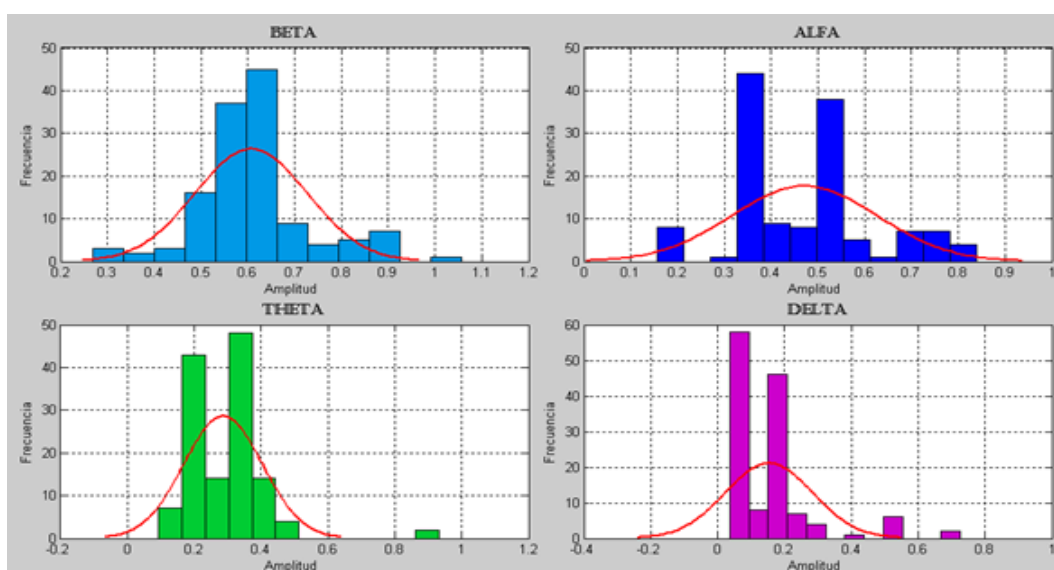
| ANTECEDENTES MEDICOS FAMILIARES            |                             |                             |         |
|--------------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------|
| ENFERMEDADES DEL PADRE                     | SI <input type="checkbox"/> | NO <input type="checkbox"/> | Cuáles? |
| ENFERMEDADES DE LA MADRE                   | SI <input type="checkbox"/> | NO <input type="checkbox"/> | Cuáles? |
| ENFERMEDADES OTROS FAMILIARES (Parentesco) | SI <input type="checkbox"/> | NO <input type="checkbox"/> | Cuáles? |

## ANEXO 3

### DATOS ESTADÍSTICOS

A continuación se presenta los resultados obtenidos sin ningún tipo de estimulación.

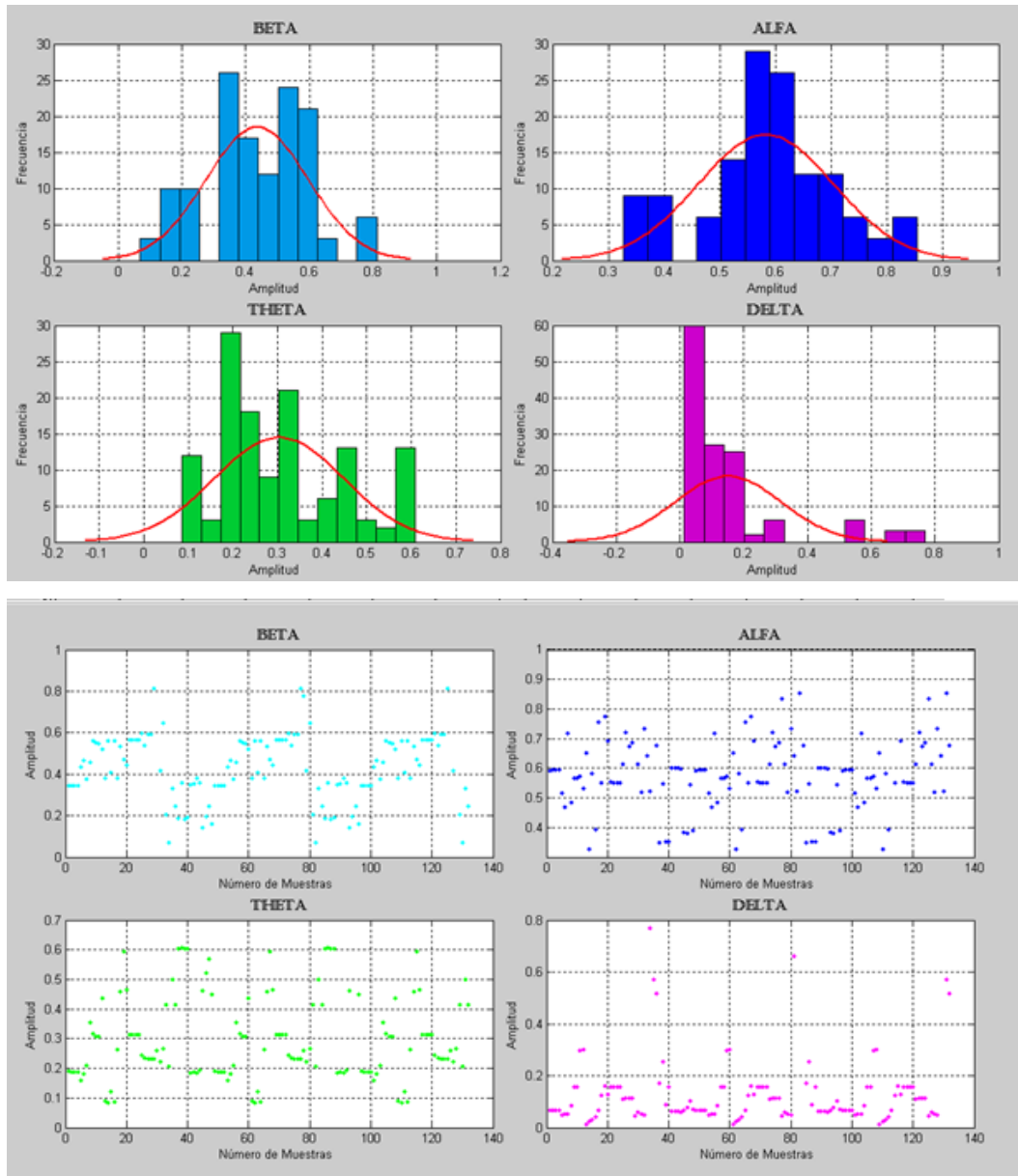
| SIN ESTIMULACIÓN (35P) |        |        |         |        |
|------------------------|--------|--------|---------|--------|
|                        | Beta   | Alfa   | Theta   | Delta  |
| Media Aritmética       | 0,6072 | 0,4712 | 0,2866  | 0,1535 |
| Mediana                | 0,5993 | 0,4846 | 0,3077  | 0,1386 |
| Moda                   | 0,3328 | 0,1558 | 0,0934  | 0,0465 |
| Desviación Estándar    | 0,1199 | 0,1554 | 0,1179  | 0,1311 |
| Asimetría              | 0,7491 | 0,2586 | 2,3928  | 2,5206 |
| Curtosis               | 4,8744 | 2,6737 | 14,5173 | 9,7177 |





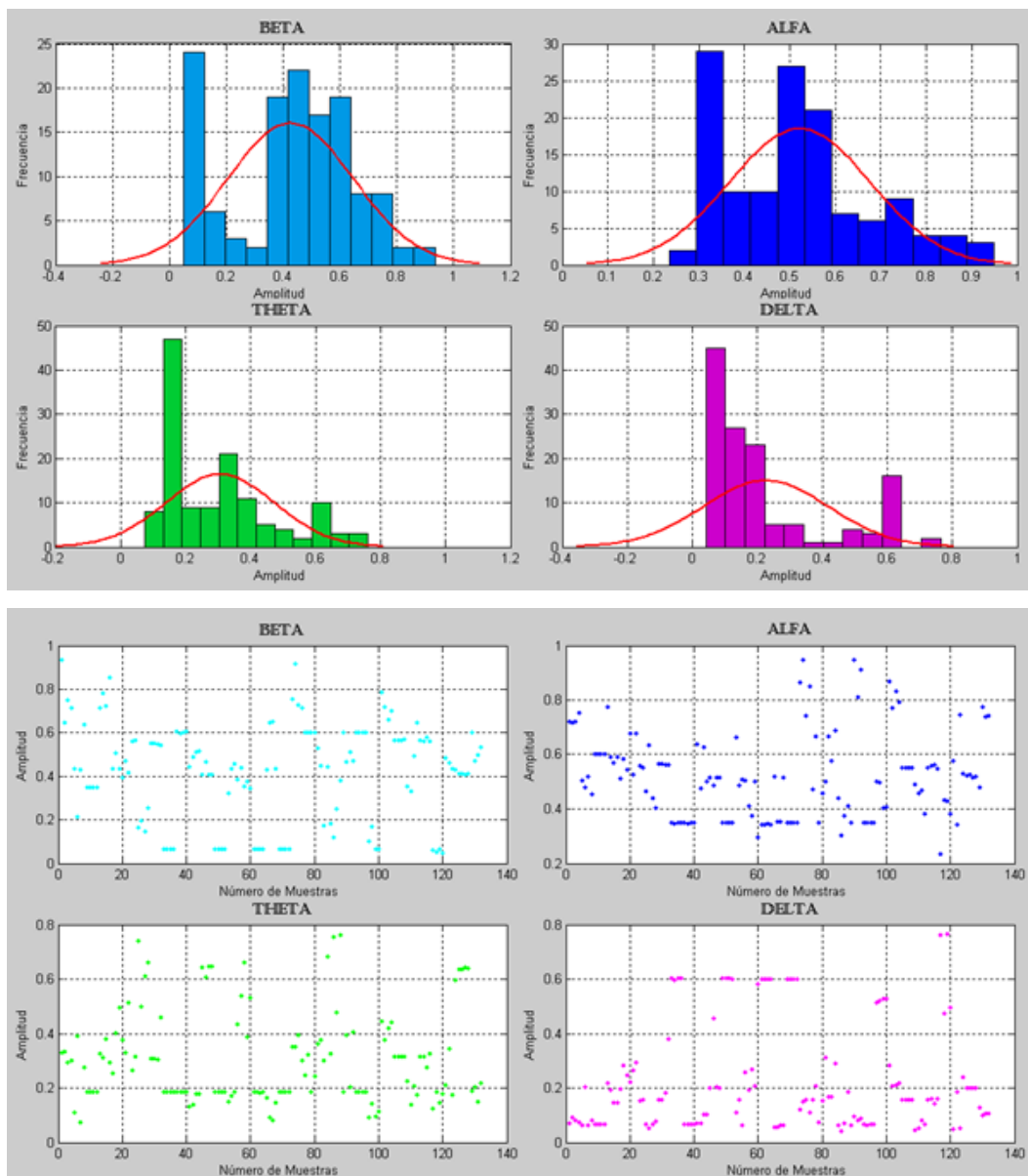
Estimulación con el color Azul acompañado del sonido binaural.

| ESTIMULACIÓN AZUL   |         |         |        |        |
|---------------------|---------|---------|--------|--------|
|                     | Beta    | Alfa    | Theta  | Delta  |
| Media Aritmética    | 0,4360  | 0,5824  | 0,3036 | 0,1508 |
| Mediana             | 0,4386  | 0,5809  | 0,2632 | 0,0869 |
| Moda                | 0,0690  | 0,3263  | 0,0851 | 0,0118 |
| Desviación Estándar | 0,1617  | 0,1217  | 0,1452 | 0,1673 |
| Asimetría           | -0,0924 | -0,0755 | 0,6506 | 2,3583 |
| Curtosis            | 2,7656  | 2,9505  | 2,4764 | 7,8695 |



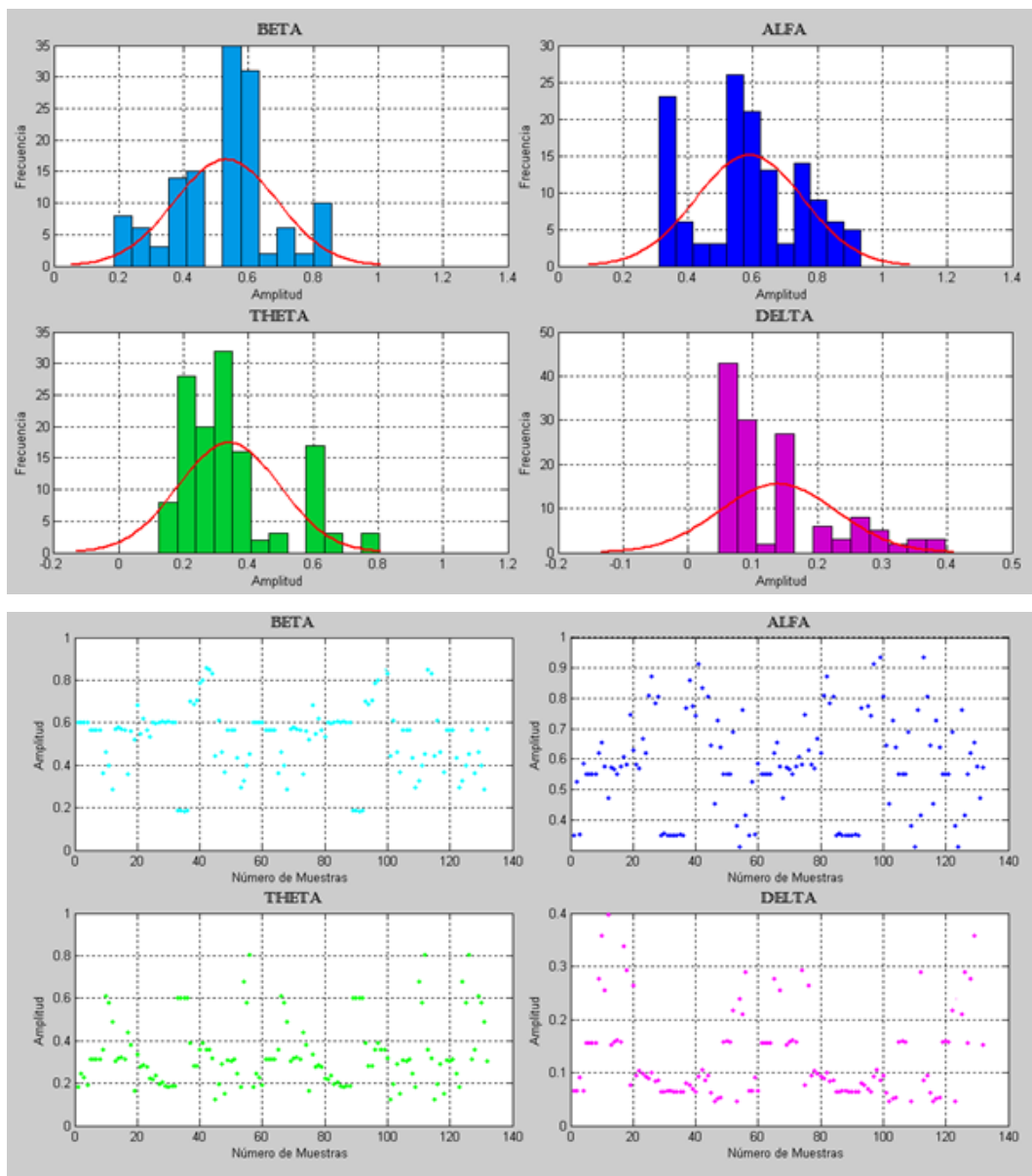
Estimulación con el color Verde acompañado del sonido binaural.

| ESTIMULACIÓN VERDE  |         |        |        |        |
|---------------------|---------|--------|--------|--------|
|                     | Beta    | Alfa   | Theta  | Delta  |
| Media Aritmética    | 0,426   | 0,5218 | 0,3062 | 0,2256 |
| Mediana             | 0,446   | 0,5137 | 0,2716 | 0,1568 |
| Moda                | 0,0482  | 0,347  | 0,1849 | 0,0413 |
| Desviación Estándar | 0,222   | 0,1558 | 0,1681 | 0,1936 |
| Asimetría           | -0,2788 | 0,6931 | 1,025  | 1,2238 |
| Curtosis            | 2,3003  | 2,9462 | 3,1552 | 3,1554 |



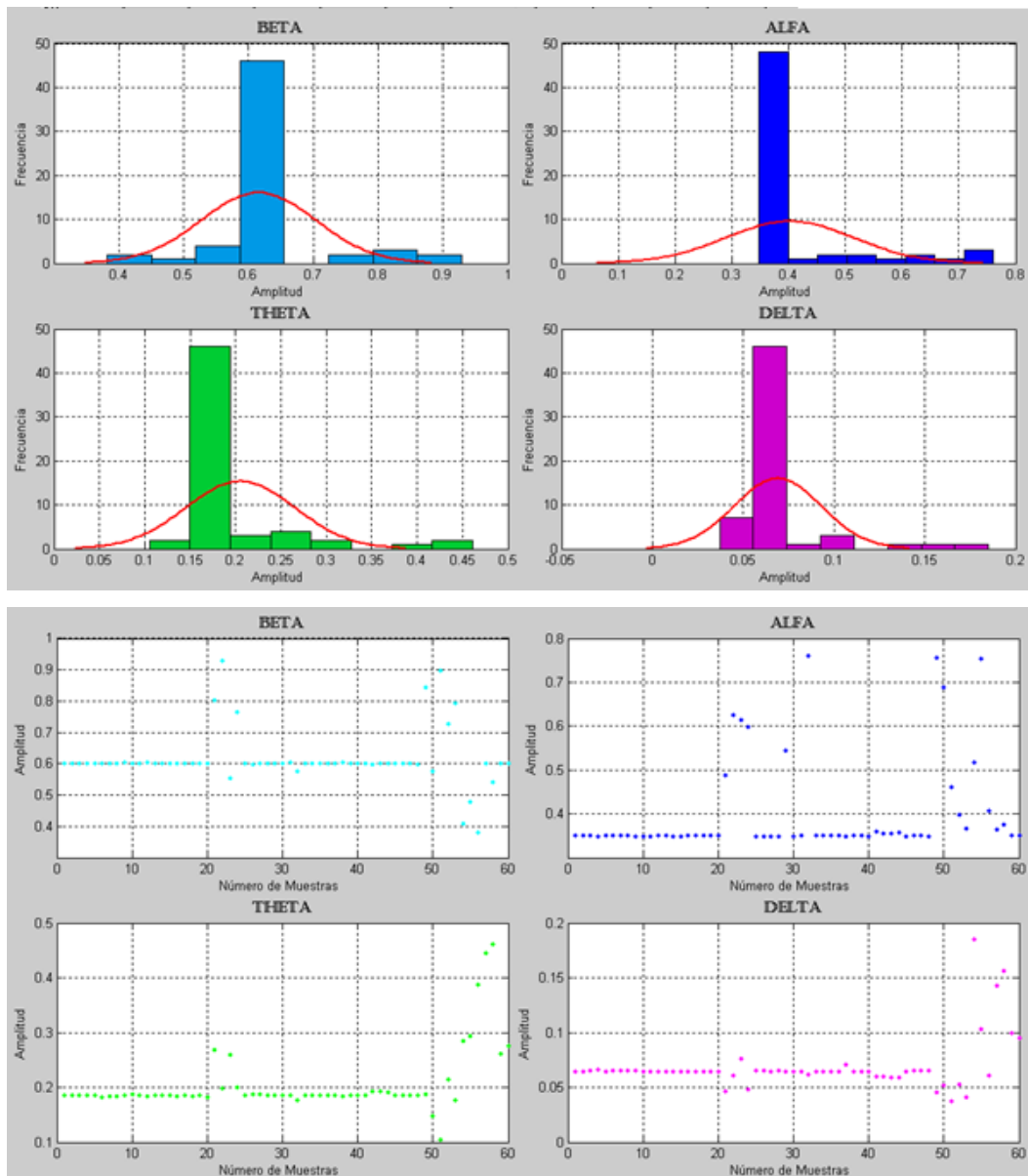
Estimulación con el color Verde acompañado del sonido binaural.

| ESTIMULACIÓN ROJO   |          |         |         |         |
|---------------------|----------|---------|---------|---------|
|                     | Beta     | Alfa    | Theta   | Delta   |
| Media Aritmética    | 0,53090  | 0,58970 | 0,34000 | 0,13880 |
| Mediana             | 0,56650  | 0,57580 | 0,31160 | 0,09480 |
| Moda                | 0,28600  | 0,31070 | 0,12330 | 0,04670 |
| Desviación Estándar | 0,15950  | 0,16570 | 0,15680 | 0,09070 |
| Asimetría           | -0,24580 | 0,10470 | 1,10350 | 1,17600 |
| Curtosis            | 3,00160  | 2,23290 | 3,53370 | 3,48190 |



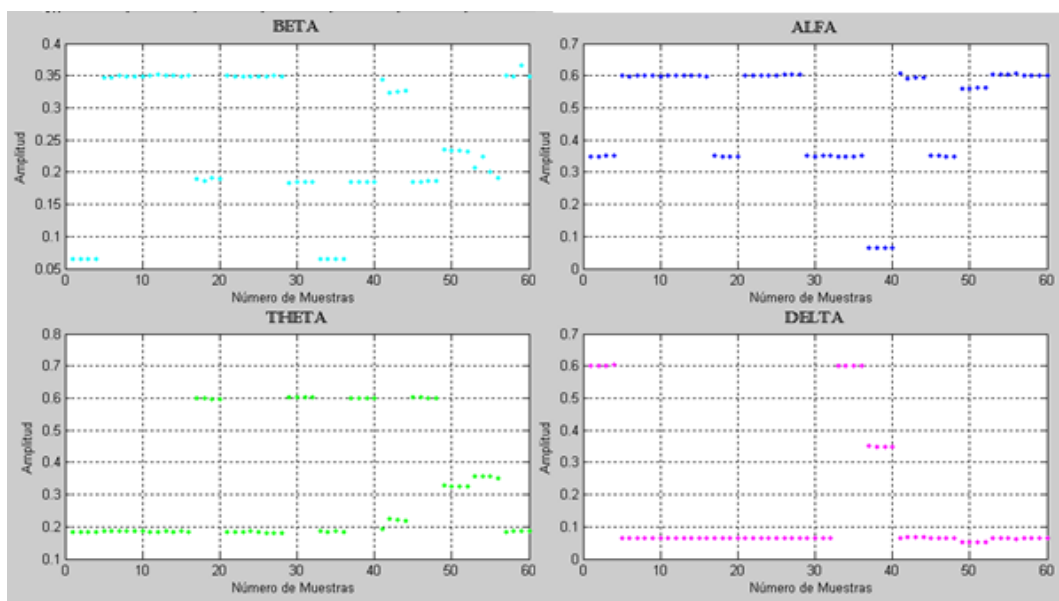
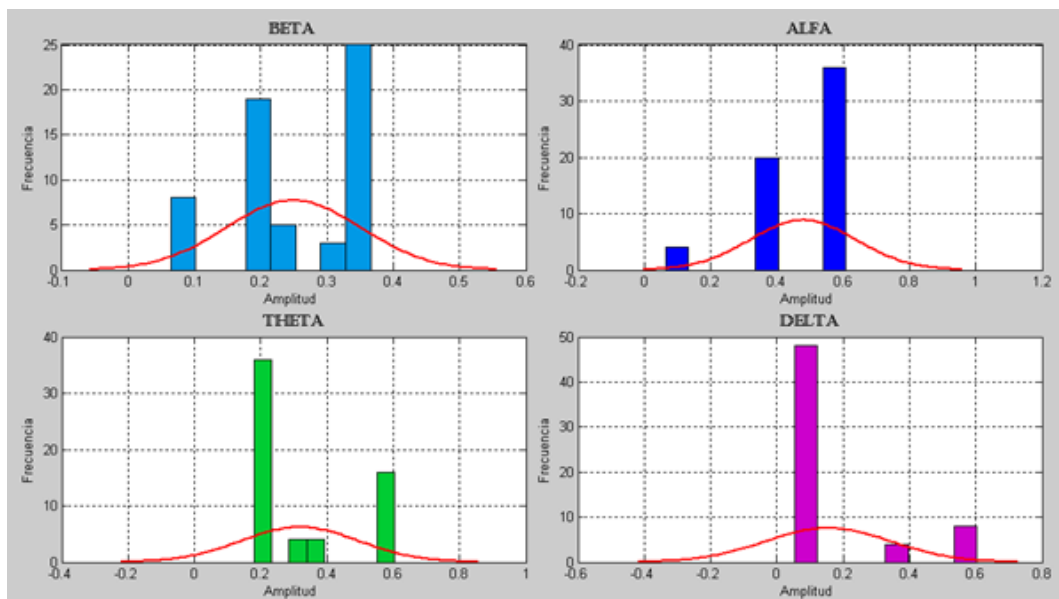
Sin estimulación a las 15 personas con educación de tercer nivel acompañado del sonido binaural.

| SIN ESTIMULACIÓN GIIB      |        |        |         |         |
|----------------------------|--------|--------|---------|---------|
|                            | Beta   | Alfa   | Theta   | Delta   |
| <b>Media Aritmética</b>    | 0,6155 | 0,4022 | 0,2054  | 0,0690  |
| <b>Mediana</b>             | 0,6012 | 0,3501 | 0,1853  | 0,0647  |
| <b>Moda</b>                | 0,3818 | 0,3476 | 0,1053  | 0,0370  |
| <b>Desviación Estándar</b> | 0,0892 | 0,1135 | 0,0607  | 0,0242  |
| <b>Asimetría</b>           | 1,3654 | 2,1610 | 2,8247  | 3,1704  |
| <b>Curtosis</b>            | 7,2830 | 6,3706 | 11,3319 | 13,9028 |



Estimulación a las 15 personas con educación de tercer nivel acompañado del sonido binaural.

| ESTIMULACIÓN GIIB   |         |         |        |        |
|---------------------|---------|---------|--------|--------|
|                     | Beta    | Alfa    | Theta  | Delta  |
| Media Aritmética    | 0,2494  | 0,479   | 0,3183 | 0,1547 |
| Mediana             | 0,2336  | 0,5937  | 0,1867 | 0,0649 |
| Moda                | 0,0644  | 0,0642  | 0,1790 | 0,0527 |
| Desviación Estándar | 0,1022  | 0,1607  | 0,1793 | 0,1908 |
| Asimetría           | -0,4545 | -1,0999 | 0,8276 | 1,7449 |
| Curtosis            | 1,9372  | 3,3833  | 1,8748 | 4,2798 |



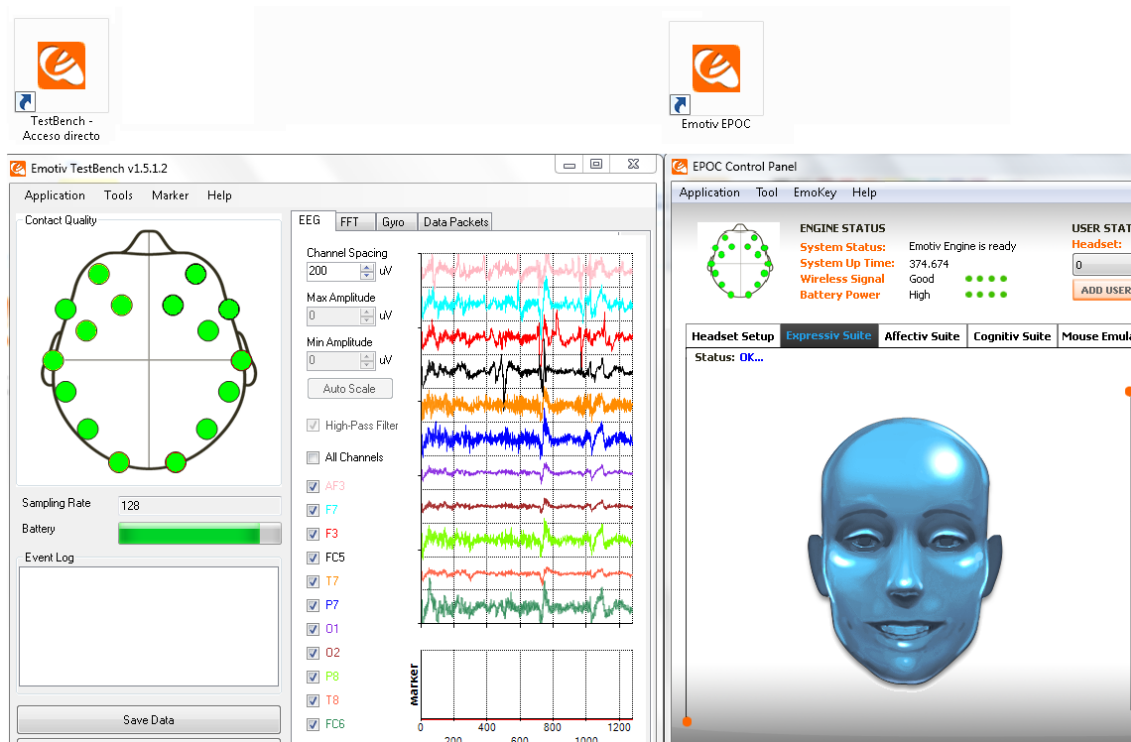
## ANEXO 4

### MANUAL DEL PROTOTIPO AUDIOVISUAL

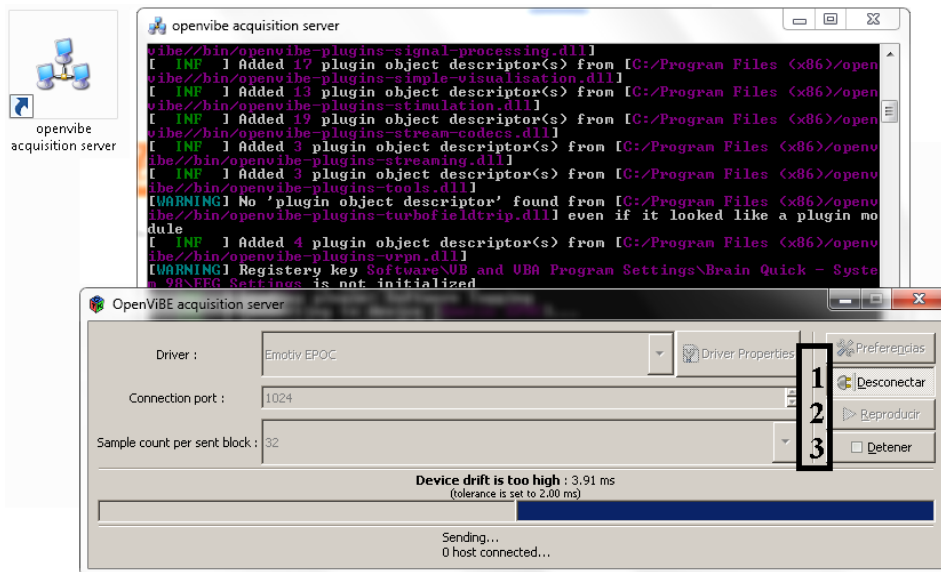
Para la estimulación audiovisual se procede a ejecutar los siguientes programas de forma paralela; TestBench, Emotiv EPOC, Openvibe Acquisition Server, Openvibe Designer y finalmente Labview, donde el EPOC establecerá la comunicación con Openvibe y Labview con la disposición que se indica a continuación.

#### TestBench

- Paso 1. Ejecutar el TestBench y EPOC Control Panel, el TestBench permite establecer la comunicación con Openvibe y Emotiv EPOC con LabVIEW en la función Expressiv Suite.

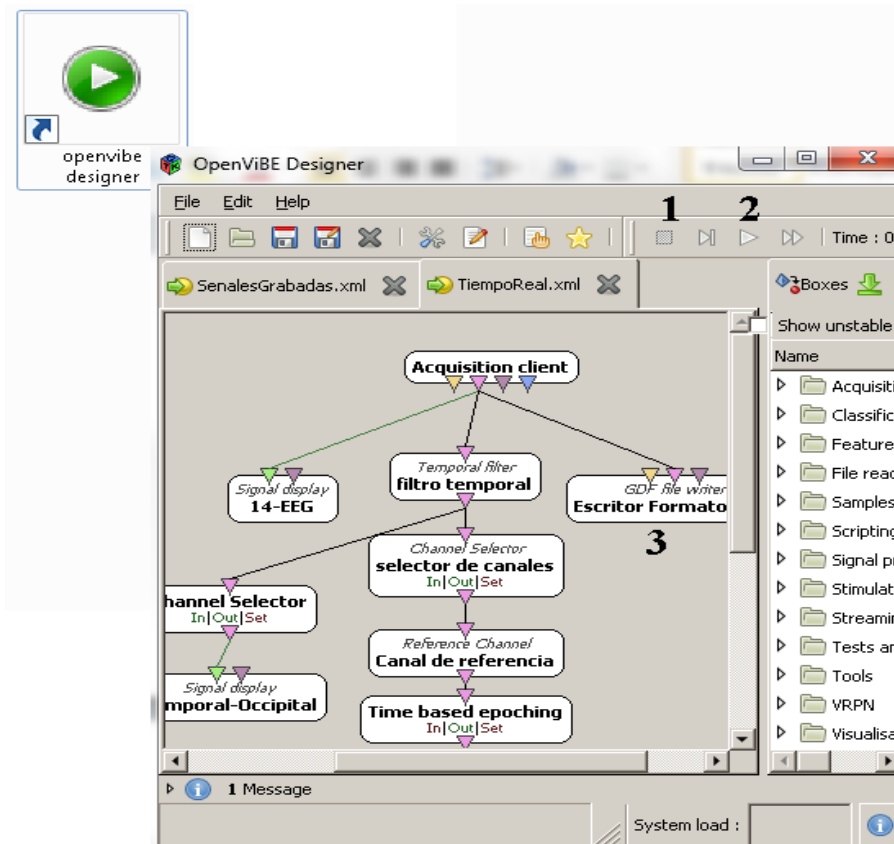


- Paso 2. Ejecutar Openvibe Acquisition Server, y luego de haber desarrollado las debidas configuraciones como se indico en el capitulo 3, se procede a ejecutar los siguientes acciones
  - 1 Botón de conexión entre EPOC y Openvibe
  - 2 Botón de reproducción del dispositivo
  - 3 Botón de pare.



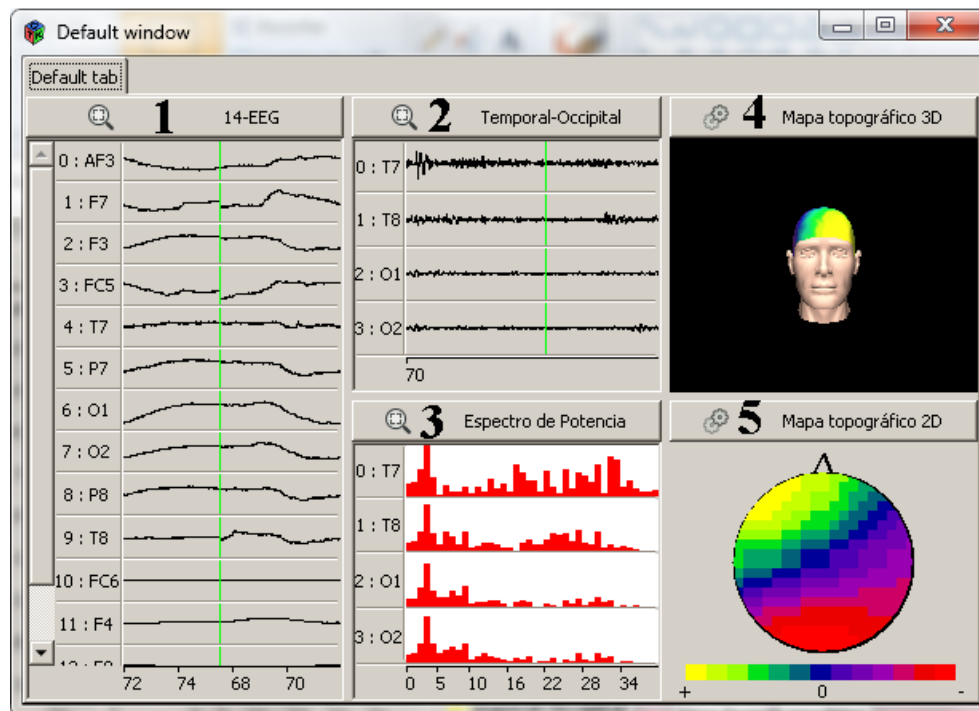
- Paso 3. Ejecutamos OpenViBE Designer

- 1 Es el paro del programa
- 2 Es el reproductor del programa
- 3 Con doble click se da la dirección en donde se guardara el archivo.



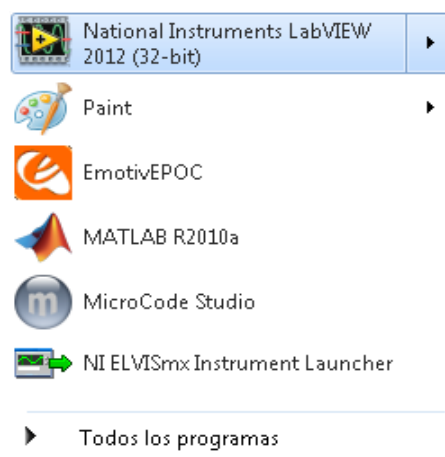


- Al ejecutar el 2 de reproducir aparecerá la siguiente ventana, con subventanas que representan.
  - 1 Muestra el electroencefalograma de los 14 electrodos.
  - 2 Muestra la selección del electroencefalograma de los temporales y occipitales.
  - 3 Y 5 Mapas topográficos en 3D y 2D como también el posicionamiento de los electrodos seleccionados.



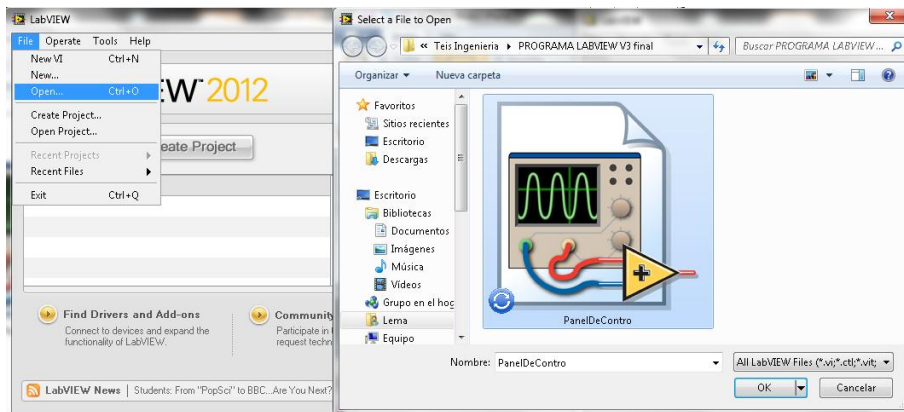
## Programa en LabVIEW

- Paso 4. Ejecutar el software LabVIEW desde el menú inicio o desde el escritorio.





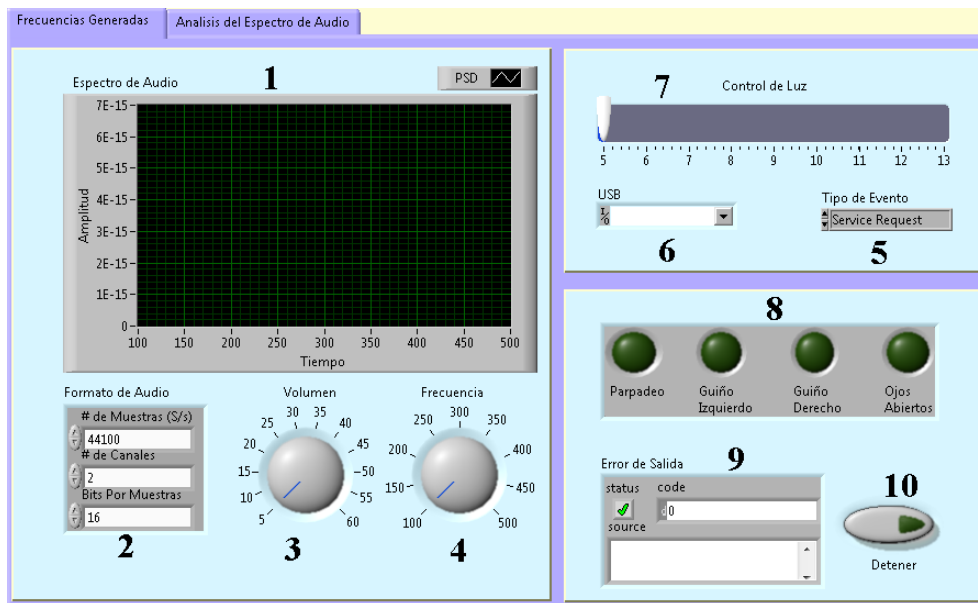
- Paso 5. Desde LabVIEW buscar y abrir el programa PanelDeControl.VI



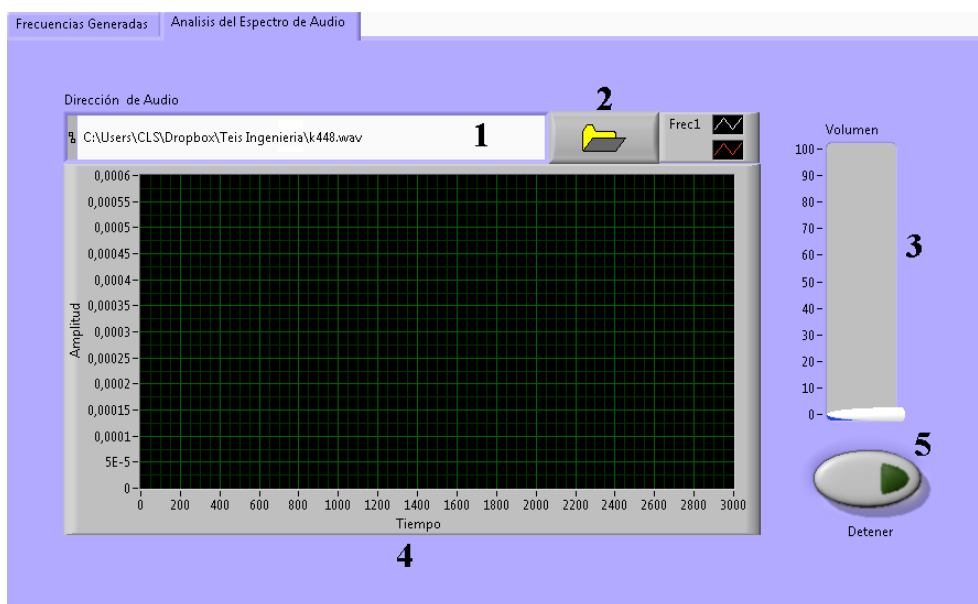
- Paso 6. La pantalla que aparece es la siguiente. Donde se aprecia dos pestañas una de Frecuencias Generadas y la otra de análisis del espectro de audio.

### Pantalla Uno

- 1 Pantalla donde se muestra la frecuencia generada y su amplitud.
- 2 Formato de Audio
- 3 Volumen del sonido generado
- 4 Frecuencias en un rango de 100 a 500Hz
- 5 Selección del evento USB interrupción
- 6 Seleccionar el USB a usar.
- 7 Control de luz en un rango de 8 a 12 se genera la frecuencia respectiva, menores a 8 se apaga el control de luz.
- 8 Visualización de las funciones de la vista, guiño, parpadeo y ojos abiertos
- 9 Salida de errores del EMOTIV Epoc.
- 10 Botón de paro.



## Pantalla Dos



- 1 Pantalla donde muestra la ubicación del archivo, Nota. El archivo de audio debe estar en formato .wav
- 2 Botón que permite seleccionar el archivo a reproducir
- 3 Volumen del archivo a leer
- 4 Pantalla de visualización de los espectros de audio a reproducir
- 5 Botón de paro.

## ANEXO 5

### Programa en Matlab para el análisis del EEG

```
% EEG ANÁLISIS
clc
close all
clear all
%% CARGAR DATOS
tbdata=ImportData ('MauricioChVer.csv');
eegdata = tbdata.data;
%% SELECCIÓN DE CANAL
TEMPORALE
T7=eegdata(:,2:2);
%% FRECUENCIA DE MUESTREO
Fs=128;
%% normalizacion de la Señal
DT7=T7-mean(T7);
DT7=DT7/max(abs(T7));T7=DT7;
%% GRAFICA SEGÚN EN TIEMPO
REAL SÑ ORIGINAL
T=1/Fs;
tiempo=size(T7)/Fs;
tt=0:1/Fs:tiempo;
figure
plot(tt(2:end),T7),title('Temporal7
Izquierdo'); grid;
xlim([90 100])
%% FFT DE LA SÑ REAL
N = length(T7);%para T7
T7ft = fft(T7);
T7ft = T7ft(1:N/2+1);
T7dx = (1/(Fs*N)).*abs(T7ft).^2;
T7dx(2:end-1) = 2*T7dx(2:end-1);
freqT7 = 0:Fs/length(T7):Fs/2;

figure, %Graficas espectro Total
plot(freqT7,T7dx),title('Temporal
7'),grid;xlim([0 35]);
% para T7 Graficas espectro por partes
figure; subplot(1,4,1),plot(freqT7,T7dx);
grid on, title('Delta');xlim([0 4]);
xlabel('Frecuencia (Hz)');
ylabel('Power/Frequency T7');
subplot(1,4,2), plot(freqT7,T7dx); grid on,
title('Theta');xlim([4 8]);
xlabel('Frecuencia (Hz)');
ylabel('Power/Frequency T7');
subplot(1,4,3), plot(freqT7,T7dx); grid on,
title('Alfa');xlim([8 12]);
xlabel('Frecuencia (Hz)');
ylabel('Power/Frequency T7');
subplot(1,4,4),plot(freqT7,T7dx); grid on,
title('Beta');xlim([12 30]);
xlabel('Frecuencia (Hz)');
ylabel('Power/Frequency T7');

%% FUNCION WAVELET
waveletFunction = 'sym8' ;
[CT7,LT7] =
wavedec(T7,5,waveletFunction);
%% CALCULO DE LOS COEFICIENTES
DEL VECTOR
D1T7 = detcoef(CT7,LT7,1);
%Ruido
D2T7 = detcoef(CT7,LT7,2);
%Beta
```

```

D3T7 = detcoef(CT7,LT7,3);
%Alfa
D4T7 = detcoef(CT7,LT7,4);
%Theta
A4T7 =
appcoef(CT7,LT7,waveletFunction,4);
%Delta
%% CALCULO DE LOS DETALLES
DEL VECTOR
D1t7 =
wrcoef('d',CT7,LT7,waveletFunction,1);
%Ruido
D2t7 =
wrcoef('d',CT7,LT7,waveletFunction,2);
%Beta
D3t7 =
wrcoef('d',CT7,LT7,waveletFunction,3);
%Alfa
D4t7 =
wrcoef('d',CT7,LT7,waveletFunction,4);
%Theta
A4t7 =
wrcoef('a',CT7,LT7,waveletFunction,4);
%Delta

%% ESPECTRO DE LA SEÑAL FFT
% para el ruido con wavelet
N = length(D1t7);
T7ft1 = fft(D1t7);
T7ft1 = T7ft1(1:N/2+1);
T7dx1 = (1/(Fs*N)).*abs(T7ft1).^2;
T7dx1(2:end-1) = 2*T7dx1(2:end-1);
freqT7 = 0:Fs/length(D1t7):Fs/2;
%graficas ruido
plot(freqT7,T7dx1); grid on; title('Ruido
T7');

```

```

xlabel('Frequency (Hz)');
ylabel('Amplitud');
% BANDA 1 EEG
N = length(D2t7);
T7ft2 = fft(D2t7);
T7ft2 = T7ft2(1:N/2+1);
T7dx2 = (1/(Fs*N)).*abs(T7ft2).^2;
T7dx2(2:end-1) = 2*T7dx2(2:end-1);
T7freq2 = 0:Fs/length(D2t7):Fs/2;
% BANDA 2 EEG
N = length(D3t7);
T7ft3 = fft(D3t7);
T7ft3 = T7ft3(1:N/2+1);
T7dx3 = (1/(Fs*N)).*abs(T7ft3).^2;
T7dx3(2:end-1) = 2*T7dx3(2:end-1);
T7freq3 = 0:Fs/length(D3t7):Fs/2;
% BANDA 3 EEG
N = length(D4t7);
T7ft4 = fft(D4t7);
T7ft4 = T7ft4(1:N/2+1);
T7dx4 = (1/(Fs*N)).*abs(T7ft4).^2;
T7dx4(2:end-1) = 2*T7dx4(2:end-1);
T7freq4 = 0:Fs/length(D4t7):Fs/2;
% BANDA 4 EEG
N = length(A4t7);
T7ftA4 = fft(A4t7);
T7ftA4 = T7ftA4(1:N/2+1);
T7dxA4 = (1/(Fs*N)).*abs(T7ftA4).^2;
T7dxA4(2:end-1) = 2*T7dxA4(2:end-1);
T7freqA4 = 0:Fs/length(A4t7):Fs/2;

figure;subplot(1,4,1),plot(T7freqA4,T7dxA
4); grid on, title('Delta T7');xlim([0 10]);
xlabel('Frequency (Hz)');
ylabel('Power/Frequency');
subplot(1,4,2),plot(T7freq4,T7dx4); grid
on,title('teta T7');xlim([0 15]);

```

```

xlabel('Frequency (Hz)');
ylabel('Power/Frequency ');
subplot(1,4,3),plot(T7freq3,T7dx3); grid
on,title('Alfa T7');xlim([0 25]);
xlabel('Frequency (Hz)');
ylabel('Power/Frequency');
subplot(1,4,4),plot(T7freq2,T7dx2); grid
on,title('Beta T7'), xlim([0 35]);
xlabel('Frequency (Hz)');
ylabel('Power/Frequency');
%% GRAFICAS
figure;
RuidoT7 = D1t7; plot(1:1:length(RuidoT7),
RuidoT7);grid,title('RuidoT7'),hold on;

figure; DeltaT7 = A4t7; subplot(4,1,1),
plot(1:1:length(DeltaT7),DeltaT7);grid,title
('DeltaT7 0-4 Hz');xlim([100 2500]);
ThetaT7 = D4t7; subplot(4,1,2),
plot(1:1:length(ThetaT7),
ThetaT7);grid,title('Theta 4-8
Hz');xlim([100 200]);
AlfaT7= D3t7; subplot(4,1,3),
plot(1:1:length(AlfaT7),AlfaT7);grid,title('
AlfaT7 8-12 Hz');xlim([100 200]);

BetaT7= D2t7; subplot(4,1,4),
plot(1:1:length(BetaT7),BetaT7);
grid,title('BetaT7 12-30');xlim([100 200]);

```

```

RuidoT7=max(max(RuidoT7));BetaT7=ma
x(max(BetaT7));AlfaT7=max(max(AlfaT7)
);
ThetaT7=max(max(ThetaT7));DeltaT7=ma
x(max(DeltaT7));

fprintf(1,' Ruido , Beta , Alfa , Theta ,
Delta ')
data=[RuidoT7,BetaT7,AlfaT7,ThetaT7,De
ltaT7]

d = {'Ruido','Beta','Alfa','Theta','Delta' ;
RuidoT7 BetaT7 AlfaT7 ThetaT7
DeltaT7};

s = xlswrite('EEGDATOS.xls', d, 'Ondas',
'A1')

```

## ANEXO 6

### Programa en Matlab para el análisis del ECG

```
%ANALISIS DEL ECG
clear all
close all
clc
%% Lectura de los datos ECG
ecg=load('MauricioClabla-L05.txt');
ecg=ecg(:,1);
plot(ecg);
%whos
Fs = 1000;
T=1/Fs;
tiempo=size(ecg)/Fs
x=0:1/Fs:tiempo;
plot(x(2:end),ecg,'m'),grid;
axis([0 10 -1 1])
xlabel('TIEMPO
(s)','FontName','times','FontSize',10)
ylabel('AMPLITUD
(mV)','FontName','times','FontSize',10)
title('SEÑAL
ECG','FontName','CASTELLAR','FontSize'
,12)
```

## ANEXO 7

### Programa en Matlab para el análisis estadístico

```
%% ANALISIS ESTADÍSTICO
clear all
clc
close all
% LECTURA DE DATOS
A = xlsread ('Est_Totales.xls',8);
Estadistica=[A(:,2:2),A(:,3:3),A(:,4:4),A(:,5
:5)];

%% PARA LOS TEMPORALES
%Estadistica=[A(:,1:1),A(:,2:2),A(:,3:3),A(
:,4:4)];
%Estadistica=[A(:,6:6),A(:,7:7),A(:,8:8),A(
:,9:9)];
%Estadistica=[A(:,11:11),A(:,12:12),A(:,13
:13),A(:,14:14)];
%Estadistica=[A(:,16:16),A(:,17:17),A(:,18
:18),A(:,19:19)];
%%
Beta=A(:,2:2); Alfa=A(:,3:3);
Theta=A(:,4:4); Delta=A(:,5:5);
%Beta=A(:,1:1); Alfa=A(:,2:2);
Theta=A(:,3:3); Delta=A(:,4:4);
%Beta=A(:,6:6); Alfa=A(:,7:7);
Theta=A(:,8:8); Delta=A(:,9:9);
%Beta=A(:,11:11); Alfa=A(:,12:12);
Theta=A(:,13:13); Delta=A(:,14:14);
%Beta=A(:,16:16); Alfa=A(:,17:17);
Theta=A(:,18:18); Delta=A(:,19:19);

%% CORRELACIÓN
plot(Alfa,Beta,'o
b'),xlabel('Alfa','FontSize',12),ylabel('Beta','
FontSize',12)
title('Correlacion Entre Alfa-
Beta','FontName','CASTELLAR','FontSize',
12)
figure
plot(Alfa,Theta,'o
m'),xlabel('Alfa','FontSize',12),ylabel('Theta
','FontSize',12)
title('Correlacion Entre Alfa-
Theta','FontName','CASTELLAR','FontSize
',12)
figure
plot(Alfa,Delta,'o
g'),xlabel('Alfa','FontSize',12),ylabel('Delta'
,'FontSize',12)
title('Correlacion Entre Alfa-
Delta','FontName','CASTELLAR','FontSize
',12)
fprintf(1,'  C A-B , C A-T , C A-D')
Correlacion =[corr(Alfa,Beta)
corr(Alfa,Theta) corr(Alfa,Delta)]
fprintf(1,'  Beta , Alfa , Theta , Delta
')

%% MEDIA ARITMÉTICA
Media_Arit_Be=mean(Beta);
Media_Arit_Al=mean(Alfa);
Media_Arit_Th=mean(Theta);
Media_Arit_De=mean(Delta);
```

```

Media_Arit=[Media_Arit_Be,Media_Arit_
Al,Media_Arit_Th,Media_Arit_De]
%% LA MEDIA
Mediana=[median(Beta), median(Alfa),
median(Theta),median(Delta)]
%% LA MODA
Moda=[mode(Beta),
mode(Alfa),mode(Theta),mode(Delta)]
%% CALCULO DE LA DESVIACIÓN
ESTÁNDAR
Desvi_EstanBe=std(Beta);
Desvi_EstanAl=std(Alfa);
Desvi_EstanTh=std(Theta);
Desvi_EstanDe=std(Delta);
Desvi_Estan=[Desvi_EstanBe,Desvi_Estan
Al,Desvi_EstanTh,Desvi_EstanDe]
%% ASIMETRÍA Y CURTOSIS

Asimetria=[skewness(Beta),skewness(Alfa)
,skewness(Theta),skewness(Delta)]
k=[kurtosis(Beta),kurtosis(Alfa),kurtosis(T
heta),kurtosis(Delta)]
%% ESCRITURA DE DATOS EN EXCEL
d = {Media_Arit_Be Media_Arit_Al
Media_Arit_Th Media_Arit_De;...
median(Beta) median(Alfa)
median(Theta) median(Delta);...
mode(Beta) mode(Alfa) mode(Theta)
mode(Delta);...
Desvi_EstanBe Desvi_EstanAl
Desvi_EstanTh Desvi_EstanDe;...
skewness(Beta) skewness(Alfa)
skewness(Theta) skewness(Delta);...
kurtosis(Beta) kurtosis(Alfa)
kurtosis(Theta) kurtosis(Delta)};
s = xlswrite('ValoresZ.xls',d,'V_Z','A1')

```

```

%%
figure,hold on,
subplot(2,2,1),histfit(Beta),grid;
h = get(gca,'Children');
set(h(2),'FaceColor',[.0 .6 .9])

title('Beta','FontName','CASTELLAR','Font
Size',12)
xlabel('Amplitud '); ylabel('Frecuencia');

subplot(2,2,2),histfit(Alfa),
h = get(gca,'Children');
set(h(2),'FaceColor',[.0 .0 1])

title('Alfa','FontName','CASTELLAR','Font
Size',12),grid;
xlabel('Amplitud '); ylabel('Frecuencia');

subplot(2,2,3),histfit(Theta),
h = get(gca,'Children');
set(h(2),'FaceColor',[.0 0.8 0.2])

title('Theta','FontName','CASTELLAR','Fo
ntSize',12),grid;
xlabel('Amplitud '); ylabel('Frecuencia');

subplot(2,2,4),histfit(Delta),
h = get(gca,'Children');
set(h(2),'FaceColor',[.8 .0 .8])

title('Delta','FontName','CASTELLAR','Fon
tSize',12),grid;
xlabel('Amplitud '); ylabel('Frecuencia');

figure,
plot(Alfa,'. c'),
lsline

```



```

figure
subplot(2,2,1),plot(Beta,'.
c'),title('Beta','FontName','CASTELLAR','F
ontSize',12)
xlabel('Número de Muestras ');
ylabel('Amplitud'), grid
subplot(2,2,2),plot(Alfa,'.
b'),title('Alfa','FontName','CASTELLAR','F
ontSize',12)
xlabel('Número de Muestras ');
ylabel('Amplitud'), grid
subplot(2,2,3), plot(Theta,'.
g'),title('Theta','FontName','CASTELLAR','
FontSize',12)
xlabel('Número de Muestras ');
ylabel('Amplitud'), grid

subplot(2,2,4),plot(Delta,'.
m'),title('Delta','FontName','CASTELLAR','
FontSize',12)
xlabel('Número de Muestras ');
ylabel('Amplitud'), grid

```

# REFERENCIAS

[1] LOGROÑO, María, Sistema nervioso, E.S.O, Fecha de consulta 5 de Agosto del 2013, **DISPONIBLE EN:** <http://biocia.files.wordpress.com/2011/02/sistema-nervioso.pdf>

[2] GERTRUDIX, Felipe, Didáctica de la expresión musical, UCLM, Toledo, 2010, **DISPONIBLE EN:** [http://www.sonidosimaginarios.es/docencia/didactica/guia\\_didactica.pdf](http://www.sonidosimaginarios.es/docencia/didactica/guia_didactica.pdf)

[3] INTEF, Educación Inclusiva: Discapacidad Visual, España, FECHA CONSULTA: Julio 25 del 2013. **DISPONIBLE:** [http://www.ite.educacion.es/formacion/materiales/129/cd/pdf/m1\\_dv.pdf](http://www.ite.educacion.es/formacion/materiales/129/cd/pdf/m1_dv.pdf)

[4] LAZO, Carlos, Manual de Luminotecnia para Interiores, FECHA CONSULTA: Julio 25 del 2013. **DISPONIBLE:** [http://www.laszlo.com.ar/Items/ManLumi/issue/Manual\\_de\\_Luminotecnia.PDF](http://www.laszlo.com.ar/Items/ManLumi/issue/Manual_de_Luminotecnia.PDF)

[5] LLANCAFIL, Nicolás, Efectos de los Infrasonidos en la Conducta Humana, Tesis Universidad Austral de Chile Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Valdivia 2013 FECHA CONSULTA: Julio 20 del 2013. **DISPONIBLE:** <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2013/bmfci1791e/doc/bmfci1791e.pdf>

[6] HOFFMANN, Ulrich, y otros, Recent Advances in Brain-Computer Interfaces, EPFL Signal Processing Institute, Grecia, Octubre del 2007. FECHA CONSULTA: Julio 25 del 2013. **DISPONIBLE:** <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download;jsessionid=CC55B636F6CB3B5084ECE8F842007258?doi=10.1.1.120.4389&rep=rep1&type=pdf>

[7] RETA, Juan, Principios de Electroencefalografía, Universidad Nacional de Entre Rios Facultad de Ingenierías, Entre Rios, Argentina. FECHA CONSULTA: Julio 28 del 2013, **DISPONIBLE:** [http://www.sase.com.ar/2012/files/2012/09/ECG\\_PETAC\\_publicar.pdf](http://www.sase.com.ar/2012/files/2012/09/ECG_PETAC_publicar.pdf)

[8] GONZÁLEZ, Román, Sistema de Comunicación y Control Basado en el Pensamiento, Universidad Paul Verlaine de Metz, Francia. FECHA CONSULTA: Julio 25 del 2013, **DISPONIBLE:** [http://www.avid-romangonzalez.com/Sistema\\_de\\_Comunicacion\\_y\\_Control\\_Basado\\_en\\_el\\_Pensamiento.pdf](http://www.avid-romangonzalez.com/Sistema_de_Comunicacion_y_Control_Basado_en_el_Pensamiento.pdf)

[9] SANCHO, Guillen, Procesado de Señales Electroencefalográficas para Determinar Características Espectrales de Episodios Epilépticos, Universidad de Lleida, España, Septiembre de 2011. FECHA CONSULTA: Julio 25 del 2013, **DISPONIBLE:** [http://fitmore.es/blog/wp-content/uploads/2011/10/documentacion\\_final.pdf](http://fitmore.es/blog/wp-content/uploads/2011/10/documentacion_final.pdf)

[10] GONZÁLEZ, Laura, Desarrollo de un Sistema Brain Computer Interface basado en potenciales evocados P300 para el control de dispositivos Demóticos, Universidad de Valladolid, Valladolid, 12 de Septiembre de 2012. . FECHA CONSULTA: Julio 25 del 2013, **DISPONIBLE:** <http://uvadoc.uva.es/bitstream/10324/2655/1/TFM-G%2092.pdf>

[11] ORTEGA, Pedro, Diseño de Mecanismos de Procesamiento Interactivos para el Análisis de Ondas Cerebrales, Universidad de Chile, Santiago, Chile, Marzo de 2005. FECHA CONSULTA: Julio 25 del 2013. DISPONIBLE: [http://www.adaptiveagents.org/\\_media/papers/memoria.pdf](http://www.adaptiveagents.org/_media/papers/memoria.pdf)

[12] SERES LIBRES, Tecnología y sonido, Vademecum de las frecuencias, 26 de junio de 2013, DISPONIBLE EN: <http://sereslibres.com/2013/06/26/vademecum-de-las-frecuencias-de-sonido/>

[13] SONIDOS BINAURALES, Lista completa de frecuencias de onda y efectos que provocan en el ser humano, 26 de febrero de 2012, DISPONIBLE EN: <http://sereslibres.com/2013/06/26/vademecum-de-las-frecuencias-de-sonido/>

[14] CORREA, Ángel, Ciencia Cognitiva, Dept. de Psicología Experimental y Fisiología del Comportamiento, Universidad de Granada, España, FECHA CONSULTA: Julio 25 del 2013. DISPONIBLE: <http://medina-psicologia.ugr.es/~cienciacognitiva/files/2010-28.pdf>

[15] GARCIA, Pablo, y otros, Interfaz Cerebro Computador basada en potenciales evocados visuales de estado estacionario, Ponencia presentada en el XVIII Congreso Argentino de Bioingeniería SABI 2011, Mar del Plata, 28 al 30 de septiembre de 2011. CONSULTA: Julio 25 del 2013. DISPONIBLE: [http://www.sabi2011.fi.mdp.edu.ar/proceedings/SABI/Pdf/SABI2011\\_47.pdf](http://www.sabi2011.fi.mdp.edu.ar/proceedings/SABI/Pdf/SABI2011_47.pdf)

[16] HOROWITZ, Sala, Biofeedback Applications, alternative and complementary therapies, Diciembre de 2006, FECHA CONSULTA: Julio 28 del 2013. DISPONIBLE: <http://touroinstitute.com/biofeedback.pdf>

[17] C.H.I.L.D Foundation, “Neurofeedback: EEG Biofeedback”, Pediatric Neuropsychology, NDC, FECHA CONSULTA: Julio 28 de 2013. DISPONIBLE: <http://www.childhealthlearn.org/articles/Neuroscience/Neurofeedback-%20EEG%20Biofeedback.pdf>

[18] Emotiv Systems, “Emotiv Software Development Kit”, California, EEUU. FECHA CONSULTA: Julio 28 de 2013. DISPONIBLE: <http://emotiv.com/developer/SDK/UserManual.pdf>

[19] LabVIEWWhacker, LabVIEW Emotiv Epoc Interface, Agosto 08 de 2013. DISPONIBLE: [http://labviewhacker.com/doku.php?id=projects:lv\\_epoc\\_interface:lv\\_epoc\\_interface](http://labviewhacker.com/doku.php?id=projects:lv_epoc_interface:lv_epoc_interface)

[20] Microchip, “PIC18F2455/2550/4455/4550”, Fecha de Consulta: 9 de Julio de 2013, DISPONIBLE EN: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/39632c.pdf>

[21] BRAVO, Víctor, Olmedo, Lucero, Análisis de la Sonata para dos pianos K 448, y el efecto Mozart, que produce en los seres humanos, Instituto Politécnico Nacional, 2009: Julio 23 del 2013. [http://itzamna.bnct.ipn.mx:8080/dspace/bitstream/123456789/7833/1/2319\\_tesis\\_Noviembre\\_2010\\_1111148674.pdf](http://itzamna.bnct.ipn.mx:8080/dspace/bitstream/123456789/7833/1/2319_tesis_Noviembre_2010_1111148674.pdf)

[22]GÓMEZ, Hugo, Aplicación de la transformada Wavelet y el método Level Set para el filtrado y segmentación de imágenes, Universidad Politécnica Salesiana, 2012, Agosto 2 del 2013. DISPONIBLE EN: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/1926>

[23]PAULO, Andrés, HAEDERS, Saldarriaga, Clasificación básica de Neuroseñales, Universidad Tecnológica de Pereira Facultad de Ciencias Básicas, Pereira 2010, FECHA CONSULTA: Agosto 20 del 2013. DISPONIBLE: VILLAFANEA<http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/11059/1877/1/6213822V436.pdf>

[24]MOORE, Holly, Saldarriaga, Matlab para ingenieros, Pearson, Instituto Politécnico Nacional, 2002, FECHA CONSULTA: Agosto 20 del 2013. DISPONIBLE: Biblioteca personal

[25]ANDERSON, Sweeney, Estadística para Administración y Economía, Octava Edición, Thomson, 2004. FECHA CONSULTA: Agosto 20 del 2013. DISPONIBLE: Biblioteca personal

[26] VERA, Lamberto, Manual Básico de Estadística Descriptiva para la Educación y las Ciencias Sociales, Publicaciones Puertorriqueñas, 2005. FECHA CONSULTA: Septiembre 2 del 2013. DISPONIBLE: Biblioteca personal

[27] WALPOLE, Ronal, y otros, Probabilidad y estadística para ingenieros, 6ta. Edición, Editorial Prentice Hall, México, 1999. FECHA CONSULTA: Septiembre 5 del 2013. DISPONIBLE: Biblioteca personal