DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

PROYECTO DE GRADO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO EN INGENIERIA

SISTEMA EMBEBIDO DE UN AUDÍFONO INTELIGENTE PARA PERSONAS CON DISCAPACIDAD AUDITIVA A TRAVÉS DE SENSORES NEUROLÓGICOS.

CASTILLO POZO CLAUDIO GUILLERMO
DÍAZ BRICEÑO ANDRÉS FERNANDO

SANGOLQUÍ-ECUADOR

2015

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE

INGENIERÍA EN AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

CERTIFICADO

Ing. Fabián Sáenz
Ing. Carlos Romero

CERTIFICAN

Que el trabajo titulado "Sistema embebido de un audífono inteligente para personas con discapacidad auditiva a través de sensores neurológicos", realizado por Claudio Guillermo Castillo Pozo y Andrés Fernando Díaz Briceño, ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas por la ESPE, en el Reglamento de Estudiantes de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE.

Debido a que se trata de un trabajo de investigación recomiendan su publicación.

Sangolquí, 12 de Enero de 2015

Ing. Fabián Sáenz
DIRECTOR

Ing. Carlos Romero
CODIRECTOR

UNIVERSIDAD DE LA FUERZAS ARMADAS – ESPE

INGENIERÍA EN AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

CLAUDIO GUILLERMO CASTILLO POZO
ANDRÉS FERNANDO DÍAZ BRICEÑO

DECLARAMOS QUE:

El proyecto de grado denominado "Sistema embebido de un audífono inteligente para personas con discapacidad auditiva a través de sensores neurológicos", ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan al pie, de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de mi autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Sangolquí, 15 de Diciembre de 2014

Castillo Pozo Claudio Guillermo Andrés Fernando Díaz Briceño

UNIVERSIDAD DE LA FUERZAS ARMADAS – ESPE

INGENIERÍA EN AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

AUTORIZACIÓN

CLAUDIO GUILLERMO CASTILLO POZO
ANDRÉS FERNANDO DÍAZ BRICEÑO

Autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución del trabajo "Sistema embebido de un audífono inteligente para personas con discapacidad auditiva a través de sensores neurológicos", cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Sangolquí, 15 de Diciembre de 2014

Castillo Pozo Claudio Guillermo Andrés Fernando Díaz Briceño

DEDICATORIA

Este proyecto de grado está dedicado a mi madre que me ha brindado todo su apoyo durante este arduo camino hasta convertirme en un profesional, a mi padre que gracias a su tenacidad y compromiso han sido un pilar fundamental para mi vida y mis estudios, a mis hermanas Silvia y Libia que siempre me han deseado lo mejor para mi futuro, a Christian que gracias a sus valiosos consejos me han permitido formarme como persona y profesional y finalmente a mis compañeros y amigos con los que he compartido muchos momentos hasta llegar a la culminación de nuestros estudios.

Andrés Fernando Díaz Briceño

AGRACEMIENTO

Mi principal agradecimiento es para mis padres y toda mi familia, ellos han sabido guiarme y apoyarme en todas las metas que me he propuesto a lo largo de este camino, la culminación de mis estudios universitarios es el claro reflejo de la dedicación que he demostrado, ahora está por delante nuevos retos y metas que las iré afrontando como un profesional y como la persona que soy.

A mi compañero de tesis que gracias a sus valiosos conocimientos y dedicación logramos culminar con nuestro proyecto de grado, por el tiempo que le dedicamos a este proyecto y por las ganas empleadas en este.

También quiero agradecer a tantos compañeros y amigos que he ido conociendo a través de mi vida universitaria, aquellos amigos que me presentaron de su ayuda para resolver cualquier problema que se nos venía por delante, aquellos amigos con los que sobrevivimos a tantos proyectos, exámenes, conjuntas, trabajos y demás obligaciones de la carrera, a los amigos del grupo que siempre encontrábamos tiempo para disfrutar de las buenas cosas de la vida, a esos amigos locos que siempre estaban cuando más los necesitaba y eran infaltables al frente de la universidad para transmitir la sagrada sabiduría, a mis amigos del colegio que encuentran tiempo a pesar de nuestras ocupaciones.

Andrés Fernando Díaz Briceño

DEDICATORIA

La realización del presente proyecto de tesis está dedicada a mis padres Aida y Luis pilares fundamentales en mi vida quienes dándome sus concejos y sabiéndome guiar por el camino que voy, por el tiempo, esfuerzo que han realizado día a día, con el ejemplo de perseverancia y trabajo para poder culminar con una meta más en mi vida.

A mis familiares y amigos que han contribuido con sus concejos, palabras de aliento y sobre todo su apoyo incondicional para seguir adelante sabiendo que siempre estarán presentes en las buenas y en las malas.

Claudio Castillo

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por permitirme llegar a cumplir este sueño anhelado, por estar siempre presente en cuanto al aprendizaje de mis errores, permitiendo que jamás decaiga y seguir siempre adelante.

Un agradecimiento especial a mis padres por todo lo que ha aportado en mi vida, a mis hermanas por su paciencia, comprensión y su regalo más grande mis sobrinas.

A la UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE por darme la oportunidad de estudiar y ser un profesional.

De igual manera a mi Director y Codirector de tesis gracias a su experiencia, conocimiento y apoyo en la realización de este trabajo.

A los docentes que aportaron con sus enseñanzas para poder ser un buen profesional y contribuir de alguna manera con la sociedad.

A mi compañero de tesis permitiendo hacer de este trabajo un esfuerzo de equipo buscando siempre soluciones antes los problemas que se nos presentó, y sobre todo el agradecimiento especial a sus padres y familiares que nos apoyaron en el transcurso de nuestro trabajo.

Un agradecimiento muy cariñoso a esa persona especial que ha sido más que una amiga, compañera, consejera con la que compartido gratos momentos, también malos pero que siempre los hemos superado juntos y que sobre todo me enseño que nada es imposible en esta vida.

Finalmente a mis amigos, amigas, compañeros y compañeras tanto de la universidad como del colegio que han estado ahí presentes en cada reunión aportando para que se llenen los vasos de sabiduría, compartiendo experiencias y sin rendirse hasta el siguiente día de la resaca moral.

A todos ellos muchas gracias y que Dios los bendiga.

Claudio Castillo

CONTENIDO

CAPITULO I 1
INTRODUCCIÓN 1
1.1 Generalidades 1
1.2 Antecedentes 1
1.3 Justificación 2
1.4 Alcance 3
1.5 Objetivos 4
1.5.1 Objetivo general 4
1.5.2 Objetivos específicos 4
CAPITULO II 6
FUNDAMENTOS TEÓRICOS 6
2.1 Introducción a los problemas auditivos 6
2.1.1 Introducción 6
2.1.2 Anatomía y fisiología del oído 6
2.1.2.1 Oído externo 6
2.1.2.2 Oído medio 7
2.1.2.3 Oído interno 8
2.1.3 Discapacidad auditiva 11
2.1.3.1 Hipoacusia y sordera 12
2.1.3.2 Tipologías de discapacidad auditiva 13
2.1.4 Ayudas audiológicas 15
2.1.4.1 Tipos de audífonos 15
2.1.4.1.1 Según el tipo de estímulo utilizado 16
2.1.4.1.2 Por su formato 16
2.1.4.1.3 Por su funcionamiento 18
2.1.4.1.4 Según el factor de amplificación 19
2.2 Tipos de señales 20
2.2.1 Señal de voz 20
2.2.1.1 Mecanismo de producción de voz 21
2.2.1.2 Digitalización de la voz 22
2.2.1.2.1 Muestreo 22
2.2.1.2.3 Cuantificación 23

2.2.2 Señales neuronales 25
2.2.2.1 Neurona 25
2.2.2.2 Electroencefalograma (EEG) 26
2.2.2.3 Características de las señales neuronales 27
2.3 Casco neuronal EPOC EMOTIV 28
2.4 Micrófonos 31
2.4.1 Introducción 31
2.4.2 Características generales de los micrófonos 32
2.4.3 Tipos de micrófonos 34
2.4.3.1 Según su construcción 34
2.4.3.1.1 Micrófonos dinámicos o de bobina móvil 34
2.4.3.1.2 Micrófonos de condensador 35
2.4.3.2 Características según su captación 36
2.4.3.2.1 Micrófonos omnidireccionales 37
2.4.3.2.2 Micrófonos unidireccionales 38
2.4.3.2.3 Micrófonos cardioides 39
2.5 Dispositivo controlador 41
2.5.1 Introducción 41
2.5.2 Hardware 42
2.5.3 Software 43
2.5.4 Sistemas operativos 44
2.6 Protocolos de transmisión 45
2.6.1 El estándar Bluetooth IEEE 802.15.1. 45
2.6.1.1 Usos y aplicaciones 46
2.6.1.2 Aplicaciones 48
2.6.2 Universal serial bus 48
2.6.2.1 Características del puerto USB 49
2.6.2.2 Terminales del puerto USB 50
2.6.2.3 Tipos de puertos USB 51
2.6.2.4 Velocidad de transmisión del puerto USB 52
CAPITULO III 54
DESARROLLO DE INTERFACE DE SOFTWARE Y HARDWARE. 54
3.1 Adquisición de datos 54
3.1.1 Diseño 54

3.1.2 Mecanismos de comunicación 55
3.1.3 Criptografía 55
3.1.4 Estrategia clave 56
3.1.5 Análisis de paquetes 57
3.1.6 Distribución de paquetes 57
3.1.7 Contador y batería 58
3.1.8 Lectura de los sensores 59
3.1.9 Calidad de los sensores 59
3.1.10 Giroscopio 61
3.1.11 Adquisición de datos del sistema BCI 61
3.2 Desarrollo del procesamiento digital de señales 64
3.2.1 Filtraje de señales 65
3.2.1.1 Análisis de filtros para señales EEG. 65
3.3 Diseño de arreglo de micrófonos 70
3.3.1 La fuente de sonido 71
3.3.2 Tipo de micrófono 72
3.3.3 Arreglo de micrófonos 73
3.3.4 Diseño 73
3.4 Diseño del controlador difuso del sistema. 74
3.4.1 Lógica difusa 74
3.4.1.1 Fusificación 75
3.4.1.2 Inferencia 75
3.4.1.3 Defusificación 76
3.4.2 Pasos para diseñar un controlador difuso 76
3.4.2.1 Selección de las variables de entrada y salida 76
3.4.2.2 Rango de operación de las variables de entrada y salida 77
3.4.2.3 Definición de grados de pertenencia 77
3.4.2.4 Desarrollo de reglas 78
3.4.3 Diseño del controlador 78
CAPITULO IV 84
IMPLEMENTACIÓN Y RESULTADOS 84
4.1 Implementación del sistema embebido 84
4.1.1 Circuito multiplexor para los micrófonos 84
4.2 Pruebas de Software 87

4.2.1 Librerías en Python 87
4.2.2 Desempeño del Software 88
4.2.2.1 Desempeño del Controlador 90
4.2.3 Automatización con script 90
4.2.3.1 Creación de Script 91
4.2.3.2 Modificación del archivo rc.local 91
4.3 Pruebas de Hardware 93
4.3.1 Funcionamiento de los sensores del sistema Emotiv EPOC. 93
4.3.2 Funcionamiento del circuito controlador de los micrófonos 97
4.4 Pruebas del Sistema completo y resultados 102
4.5 Condiciones para implementación en serie 107
4.5.1 Ensamblaje de circuitos. 107
4.5.2 Caja del sistema 109
4.5.3 Instalación del programa y entrenamiento 110
CAPITULO V 112
ANÁLISIS ECONÓMICO 112
5.1 Análisis del costo de materiales y equipos 112
5.2 Análisis de costos adicionales 112
CAPITULO VI 114
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 114
6.1 Conclusiones 114
6.2 Recomendaciones 114
6.3 Trabajos futuros 115
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 116
ANEXOS 118

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Figura del oído externo. 6
Figura 2. Ganancia acústica generada en el oído externo..... 7
Figura 3. Esquema del oído medio. 8
Figura 4. Representación esquemática del oído interno. 9
Figura 5. Esquema de las escalas de la cóclea..... 9
Figura 6. Representación esquemática del órgano de Corti. 10
Figura 7. Representación tonotópica de la cóclea. 11
Figura 8. Audífono retroauricular..... 16
Figura 9. Audífono intrauricular..... 17
Figura 10. Audífono intracanal..... 17
Figura 11. Audífono CIC..... 18
Figura 12. Audífono caja..... 18
Figura 13. Modelo de producción de la voz. 22
Figura 14. Ancho de banda mínimo para las señales de los sistemas de telefonía..... 23
Figura 15. Proceso de digitalización de señal analógica. 24
Figura 16. Proceso de cuantificación..... 25
Figura 17. Modelo funcional de emociones a través del EEG. 27
Figura 18. Bandas de frecuencia del EEG..... 28
Figura 19. Emotiv EPOC Headset..... 30
Figura 20. Ubicación de los 14 sensores del Headset..... 30
Figura 21. Partes de un micrófono y su símbolo. 31
Figura 22. Esquema funcionamiento bobina móvil..... 34
Figura 23. Esquema funcionamiento micrófono condensador. 35
Figura 24. Diagrama polar de un micrófono. 36
Figura 25. Tipos de diagramas polares..... 37
Figura 26. Micrófono Omnidireccional..... 38
Figura 27. Micrófono Unidireccional..... 38
Figura 28. Micrófono Cardioide..... 39
Figura 29. Captación del sonido frontal del micrófono cardioide..... 40
Figura 30. Tarjeta Raspberry Pi, modelo B. 41

Figura 31. Sistema operativo para la tarjeta Raspberry Pi. 43
Figura 32. Logotipo de Bluetooth. 45
Figura 33. Símbolo del dispositivo USB. 49
Figura 34. Líneas eléctricas del conector USB 1.0 y USB 2.0. 50
Figura 35. Líneas eléctricas del conector USB 3.0. 50
Figura 36. Puerto USB integrado en la tarjeta principal ("Motherboard"). 51
Figura 37. Variante del puerto USB integrado en dispositivos grandes. 51
Figura 38. Variante del puerto USB integrado en dispositivos pequeños. 52
Figura 39. Modelo BCI Epoc EMOTIV y tarjeta Raspberry PI. 55
Figura 40. Adquisición de datos terminal. 62
Figura 41. Adquisición de datos terminal. 63
Figura 42. Resultados de la adquisición de datos terminal. 63
Figura 43. Paquete FDAtool Matlab. 66
Figura 44. Ingreso de datos en el filtro. 67
Figura 45. Respuesta en Frecuencia filtro Butterworth orden 86. 67
Figura 46. Filtro Chebyshev. 68
Figura 47. Exportar Filtro. 69
Figura 48. Señal EGG original y filtrada. 69
Figura 49. Transforma de Fourier señal filtrada. 70
Figura 50. Estructura de micrófono electret. 72
Figura 51. Micrófono Electret Genius. 73
Figura 52. Propuesta del diseño del sistema embebido. 74
Figura 53. Sistema basado en técnicas de lógica difusa. 75
Figura 54. Posición de los sensores del emotiv epoc headset. 76
Figura 55. Menú principal del Fuzzy Toolbox, FIS Editor. 79
Figura 56. Ingreso de las entradas del sistema. 79
Figura 57. Membresías y límites de la entrada 1. 80
Figura 58. Membresías y límites de la entrada 2. 80
Figura 59. Membresías y límites de la entrada 3. 81
Figura 60. Membresías y límites de la entrada 4. 81
Figura 61. Salida del sistema difuso. 82
Figura 62. Conjunto de reglas del sistema difuso. 82
Figura 63. Vista y verificación de las reglas. 83
Figura 64. Multiplexor 4052. 85

Figura 65. Diseño del circuito multiplexor de los micrófonos. 85
Figura 66. Compuerta NOT en cacada. 85
Figura 67. Diseño de la placa del circuito. 87
Figura 68. Adquisición de datos. 89
Figura 69. Controlador de puertos de salida. 90
Figura 70. Script rc.local. 91
Figura 71. Script modificado. 92
Figura 72. Colocación de solución salina en electrodos. 93
Figura 73. Ensamblaje del sensor en el brazo de la diadema. 94
Figura 74. Conexión USB dongle y encendido de la diadema. 94
Figura 75. Posición de los sensores laterales. 95
Figura 76. Posición de los sensores frontales y el sensor de referencia. 95
Figura 77. Panel de control Emotiv SDK. 96
Figura 78. Comprobación del funcionamiento de los sensores. 96
Figura 79. Simulación entradas A (0) y B (0). 97
Figura 80. Visualización Y = Y0 con el uso del osciloscopio virtual. 98
Figura 81. Simulación entrada A (1) B (0). 98
Figura 82. Visualización Y = Y1 con el uso del osciloscopio virtual. 98
Figura 83. Simulación entrada A (0) B (1). 99
Figura 84. Visualización Y = Y2 con el uso del osciloscopio virtual. 99
Figura 85. Simulación entrada A (1) B (1). 99
Figura 86. Visualización Y = Y3 con el uso del osciloscopio virtual. 100
Figura 87. Comprobación Y=Y0 (3.33V). 100
Figura 88. Comprobación Y=Y1 (0.0V). 101
Figura 89. Placa del circuito multiplexor y comprobación con la PC. 101
Figura 90. Sistema embebido completo. 102
Figura 91. Comprobando el funcionamiento del micrófono frontal. 103
Figura 92. Gesto relajado. 103
Figura 93. Interpretación del gesto y activación del micrófono frontal. 104
Figura 94. Gesto a la derecha. 105
Figura 95. Interpretación del gesto y activación del micrófono derecho. 105
Figura 96. Gesto a la izquierda. 106
Figura 97. Interpretación del gesto y activación del micrófono izquierdo. 106
Figura 98. Circuito impreso. 108

Figura 99. Circuito con elementos..... 108
Figura 100. Caja del sistema. 109
Figura 101. Caja con tarjeta controladora. 110
Figura 102. Características tarjeta Raspberry PI modelo B..... 118
Figura 103. Diagrama de bloques Wolfson audio card. 119
Figura 104. Características del multiplexor analógico 74HC4052..... 120

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Grados de pérdida auditiva según el BIAP. 14
Tabla 2. Tabla SDK 29
Tabla 3. Especificaciones técnicas de la tarjeta Raspberry Pi Modelo B..... 42
Tabla 4. Clasificación por clase de la potencia de transmisión..... 46
Tabla 5. Clasificación de los dispositivos USB según el ancho de banda. 47
Tabla 6. Velocidad de transmisión de los puertos USB (Teóricos). 53
Tabla 7. Distribución de paquetes de datos..... 58
Tabla 8. Contador y batería..... 59
Tabla 9. Lectura de contactos y calidad de las señales. 60
Tabla 10. Características de las señales EEG..... 64
Tabla 11. Entradas del controlador. 76
Tabla 12. Límites de las variables..... 77
Tabla 13. Conjunto de reglas. 78
Tabla 14. Tabla de verdad de CI 4052. 97
Tabla 15. Costo de materiales 112
Tabla 16. Costos adicionales..... 113

RESUMEN

El presente proyecto de grado describe el diseño e implementación de audífono inteligente para personas que presenten alguna discapacidad auditiva leve o moderada, haciendo uso de un casco sensorial no invasivo EPOC EMOTIV sobre el cuero cabelludo para la detección de señales neuronales a través de un electroencefalograma. Las señales neuronales serán usadas para la representación de gestos faciales generadas por el usuario y transmitidas inalámbricamente a una tarjeta de procesamiento Raspberry Pi que se encargará del procesamiento digital de señales y el control difuso del sistema, todo esto sobre un lenguaje de programación libre Python y el lenguaje de programación Matlab para el estudio de filtraje y procesamiento de señales neuronales. Un arreglo de micrófonos colocado estratégicamente para optimizar el alcance y el área de cobertura, serán controlados por las señales neuronales para que el usuario pueda discriminar una fuente de sonido al estar presente en un ambiente que produce ensordecimiento, mejorando la calidad auditiva y comprensión al encontrarse con varias fuentes de sonido o personas. El principal objetivo es determinar un dispositivo que mejore la calidad de vida de personas con discapacidad auditiva haciendo uso de tecnologías de última generación a un bajo costo.

PALABRAS CLAVE:

BCI

AUDÍFONO INTELIGENTE

EPOC EMOTIV

RASPBERRY

CONTROL DIFUSO

ABSTRACT

This project describes the design and implementation of intelligent headset for people who have a mild or moderate hearing impairment, using noninvasive sensory helmet Emotiv EPOC on the scalp to detect neural signals through an electroencephalogram. Neural signals will be used for the representation of facial features generates by a user and transmitted wirelessly to a processing card Raspberry Pi that will handle the digital signal processing and fuzzy control system, all this on a free programming language Python and Matlab for the study of neural filtering and signal processing. An array of microphones strategically placed to optimize the range and coverage area will be controlled by neural signals so that the user can discriminate a sound source to be present in an environment that causes deafness, improving the audio quality and understanding to meet with multiple sound sources or persons. The main objective is to determine a device that improves the quality of life for people with hearing impairment using technologies of last generation at a low cost.

KEY WORDS:

BCI

SMART HEADSET

EPOC EMOTIV

RASPBERRY

FUZZY CONTROL

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Generalidades

Tema: “Sistema embebido de un audífono inteligente para personas con discapacidad auditiva a través de sensores neurológicos”

1.2 Antecedentes

El estudio sobre dispositivos electrónicos que ayuden a personas discapacitadas en el país es una tema relativamente nuevo y con un sin número de aplicaciones que ayudan al desarrollo de nuevas tecnologías en este campo (F. Ramiro Cazar 2001).

Las pruebas y tratamientos para desórdenes de la audición han sido estudiados por muchos siglos, sin embargo desde la aparición del transistor en el año de 1947 es cuando se revolucionó el desarrollo de artefactos auditivos. A partir de esto de desarrollaron equipos según la necesidad de cada paciente.

Existen muchos equipos en el mercado con precios que son muy accesibles hasta dispositivos de alta tecnología que representan una gran inversión para el paciente, pero todos estos no pueden discriminar el ruido ambiental cuando una persona pone su atención a determinada situación de interés. Esto genera que todos los sonidos se amplifiquen por igual lo que ocasiona molestias (Blog de WordPress.com 2010).

Otro importante avance en tratamientos médicos para personas discapacitadas es la detección de señales neuronales que han dado como resultado en dispositivos portátiles que aportan mayor comodidad y eficiencia a diferentes aplicaciones.

Para subir el nivel de voz de una persona en un ambiente tipo conferencia, se han usado diferentes características del sensor como los son el tipos de micrófonos, patrón de radiación o posición. Hoy en día los arreglos de micrófonos se ven como un nuevo sistema inteligente para la detección de señales de audio a través del procesamiento

digital, de lo cual se han desarrollado equipos y algoritmos que permitan sectorizar las señales de audio (Pérez 2008).

Cabe recalcar que el gobierno ecuatoriano en su “Agenda Nacional para la igualdad, en la temática de discapacidades 2013-2017”, establece políticas para la igualdad en discapacidades, como: “Política siete Accesibilidad: Asegurar el acceso de las personas con discapacidad al medio físico, a la comunicación y la información” (Ministerio de Finanzas n.d.).

1.3 Justificación

Este proyecto tiene como finalidad garantizar que las personas con discapacidades auditivas puedan acceder en igual de condiciones que las demás, a los sistemas y las TIC.

La investigación, diseño e implementación de este sistema de audífono inteligente conlleva un estudio y tratamiento de señales de audio captadas por un tipo de arreglo de micrófonos para su posterior procesamiento digital, en conjunto con el análisis de señales electroencefalograma (EEG) acopladas a un controlador lógico difuso para el manejo del arreglo de micrófonos.

El estudio permitirá llenar algún vacío en el conocimiento del área de procesamiento de señales de audios y electroencefalograma (EEG), con la información que se obtenga se podrán desarrollar futuras investigaciones para el mejoramiento de la calidad de vida de las personas con discapacidades.

Siempre ha existido personas con problemas auditivos, ya sea por nacimiento o a causa de algún accidente, el presente proyecto está enfocado en el mejoramiento auditivo para personas con dificultades leves y moderadas de audición (OMS 2012).

1.4 Alcance

El proyecto tiene como alcance presentar el diseño e implementación de un casco con micrófonos sectorizados controlados por sensores neuronales para determinar la posición deseada a escuchar por el usuario mediante señales neurológicas (Valderrama, E. & Ulloa 2011); tanto los micrófonos y sensores neuronales serán controlados por un hardware portátil que utilice de la misma manera un software especializado, a continuación se define el alcance:

Se realizará el proceso de adquisición de audio (Nakamura and Valdez 2011) (Bergren and Charles 2003), a través de un sistema que permita una ganancia óptima y con niveles bajos de ruido para realizar el proceso de filtraje de señales .

Determinaremos las diferentes características para que el arreglo de micrófonos como lo son: las señales acústicas cercanas al arreglo, el tipo de micrófono a utilizar, el número de fuentes de señales acústicas no debe ser mayor al número de micrófonos del arreglo, las señales sean estadísticamente independientes, el ruido térmico y el ruido de fondo.

El casco neuronal EPOC Emotiv usa una serie de sensores que están sintonizados con las señales eléctricas que produce naturalmente el cerebro, que permiten detectar expresiones y sentimientos (“Caracteriísticas Emotive EPOC” 2013).

Para lo cual se va hacer uso del área de conocimiento como es el control inteligente, para ello el estudio del funcionamiento del montaje de los sensores neurológicos recomendados para Electroencefalograma como lo son los diferentes montajes. Según el tipo de montaje obtendremos amplitudes en un rango [10mV a 100mV] en la superficie del cuero cabelludo. Las frecuencias de estas ondas se mueven entre 0,5 y 100 Hz y dependen mucho del grado de actividad del córtex cerebral. La mayoría de las veces estas ondas no poseen ninguna forma determinada, en algunas son ritmos normales que suelen clasificarse en ritmos α, β, θ y δ.

Con estas premisas vamos a implementar un control difuso en el software de la tarjeta de control del equipo portátil, ya que los conjuntos difusos pueden agrupar objetos por el valor de cierta magnitud y con la aplicación de un cierto grado de pertenecía. Con esta herramienta la aplicará a los distintos diferenciales de amplitud y la variación de las ondas de frecuencia de los EEG con el fin de obtener un estándar óptimo de los distintos gestos producidos por estas señales neurológicas (Szafir 2009), que se requiere para el control del arreglo de micrófonos, añadiendo así el estudio de lógica difusa como parte de investigación del proyecto (Bonifacio and Sanz 2002).

Todo el desarrollo del procesamiento digital de señales y su control se lo realizará por medio de software especializado tales como: Matlab o Labview para simulaciones y además el software para la programación del equipo de control "Emotive EPOC Developer Edition" (Ingle and Proakis 2007) (A. McCowan 2001). Cabe anotar que todo el procesamiento digital y algoritmos se realizarán en tiempo real.

Se diseñará e implementará el sistema embebido de manera compacta, sencilla y cómoda para la unión de todos los componentes del sistema: arreglo de micrófonos, sensores neuronales (Emotive EPOC) y el equipo de control (Tarjeta Raspberry PI). Así garantizaremos que sea de fácil uso para el usuario (Enríquez 2009) (EmotivSoftware 2012).

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

Desarrollar e implementar un casco con arreglo de micrófonos sectorizados y controlados mediante señales neuronales para personas discapacitadas.

1.5.2 Objetivos específicos

- Evaluar el equipo necesario para el desarrollo del proyecto, tomando en cuenta disponibilidad en el mercado y bajos costos.

- Analizar y procesar señales de audio y neuronales tomadas de los sensores del casco a través de software especializado.

- Diseñar un arreglo de micrófonos cómodo y que maximice el área de cobertura.

- Implementar el hardware de tal forma que todos los elementos del sistema sean lo más cómodo para la persona discapacitada.

CAPITULO II

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 Introducción a los problemas auditivos

2.1.1 Introducción

Los déficits relacionados con la pérdida auditiva constituyen la alteración sensorial más frecuente en la población general; según algunas estadísticas, por cada 1000 recién nacidos al año, de uno a tres sufren este tipo de problemas.

La discapacidad auditiva es un trastorno sumamente relevante debido a que tiene importantes implicaciones tanto en la adquisición como en la utilización del lenguaje, provocando desde dificultades en la comunicación hasta la incapacidad total para aprender el lenguaje, siempre dependiendo de factores como la edad a la que aparece la discapacidad, la rapidez con la que se implementan medidas correctoras, el entorno familiar o las actuaciones educativas.

2.1.2 Anatomía y fisiología del oído

2.1.2.1 Oído externo

El oído externo está compuesto por el pabellón auricular u oreja y el canal auditivo externo.

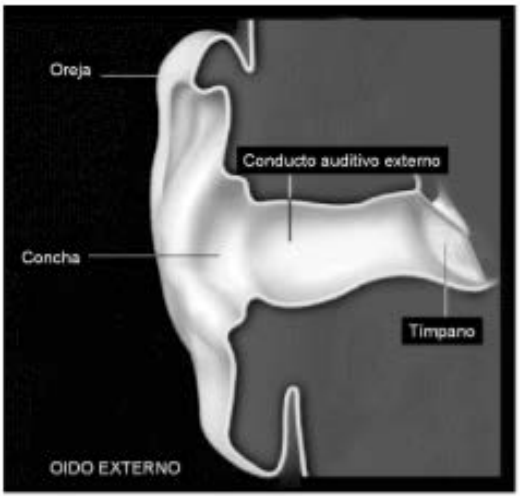


Figura 1. Figura del oído externo.

Fuente: (CRIC, 2013)

El pabellón auricular es una estructura elástica, recubierta de una fina capa de piel y compuesta de cartílago. En términos generales, la función de la oreja es recoger el sonido y facilitar la percepción direccional. El conducto auditivo externo tiene una profundidad de dos a tres centímetros y un diámetro aproximado de un centímetro. En su conjunto, el conducto auditivo externo está tapizado por piel, la cual está provista, en su parte más externa, de glándulas productoras de cera (Gou 2013).

Las funciones del oído externo son de protección y amplificación de la energía sonora. La primera de ellas se alcanza gracias a la presencia de la cera, y también por la rica inervación de la que está dotado el conducto, la cual permite establecer reacciones reflejas de alarma ante la entrada de cualquier cuerpo extraño. La segunda función está vinculada a la resonancia que los sonidos sufren al atravesar su luz. Esto provoca un fenómeno de amplificación de hasta unos 20 dB en el rango de las frecuencias agudas, entre 1500 y 5000 Hz (Figura 2).

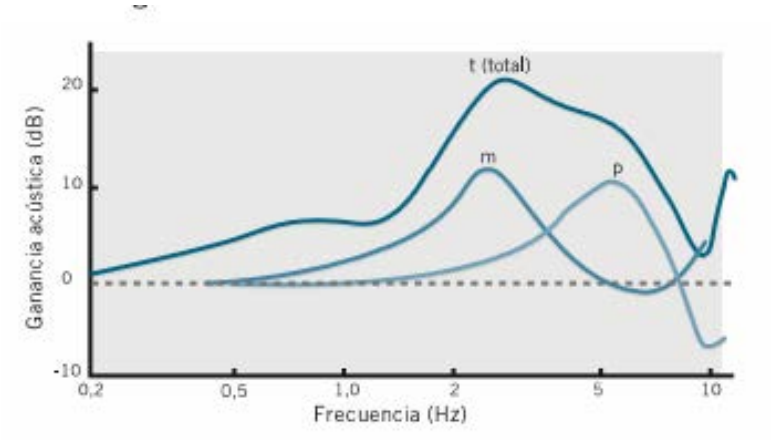
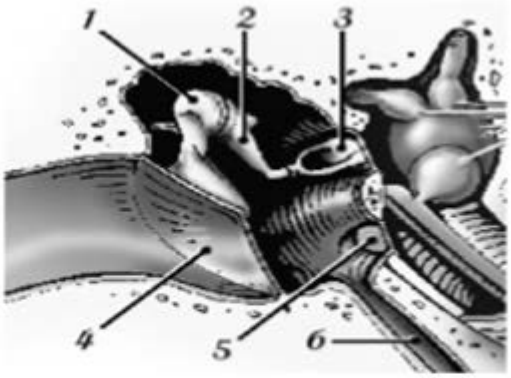


Figura 2. Ganancia acústica generada en el oído externo.
Fuente: (CRIC, 2013)

2.1.2.2 Oído medio

El espacio del oído medio está formado por un sistema de cavidades aéreas comunicadas con el exterior a través de la trompa de Eustaquio. Desde un plano anterior a otro posterior, consta de las siguientes cavidades: trompa de Eustaquio, caja timpánica, antro mastoideo y sistema neumático del hueso temporal (Figura 3).



1. Martillo, 2. Yunque, 3. Estribo, 4. Tímpano, 5. Ventana redonda, 6. Trompa de Eustaquio.

Figura 3. Esquema del oído medio.
Fuente: (CRIC, 2013)

El tímpano o membrana timpánica separa el oído externo del medio. En ella podemos distinguir dos regiones: la parte flácida (membrana de Shrapnell) y la parte tensa. Esta última, constituye la región central y más extensa, tiene forma parabólica y está íntimamente adherida al mango del martillo. Así, cuando la vibración sonora accede al tímpano, esta energía es transmitida directamente al martillo, de éste al yunque y por fin al estribo, último elemento de la cadena tímpano-osicular.

Por último, señalar que el oído medio, a través del reflejo del estribo, interviene en la protección del oído interno. Ante la exposición a sonidos de intensidad elevada, por encima de 75 dB, se activa un reflejo acústico-motor, en el que participa la vía auditiva y el nervio facial, provocando finalmente la contracción del músculo del estribo. Ello limita la movilidad del estribo así como la energía sonora que llega al oído interno. Este mecanismo de protección para la cóclea reduce la posible aparición de traumatismos acústicos.

2.1.2.3 Oído interno

El oído interno, alojado en el hueso temporal, está dividido en dos sistemas funcionales distintos, cuya misión es recibir estímulos y transformarlos en energía eléctrica: el sistema vestibular (órgano del equilibrio) y la cóclea (órgano receptor del

sonido). Ambos sistemas están conformados por una serie de conductos conectados entre sí que reciben el nombre de laberinto (Figura 4).

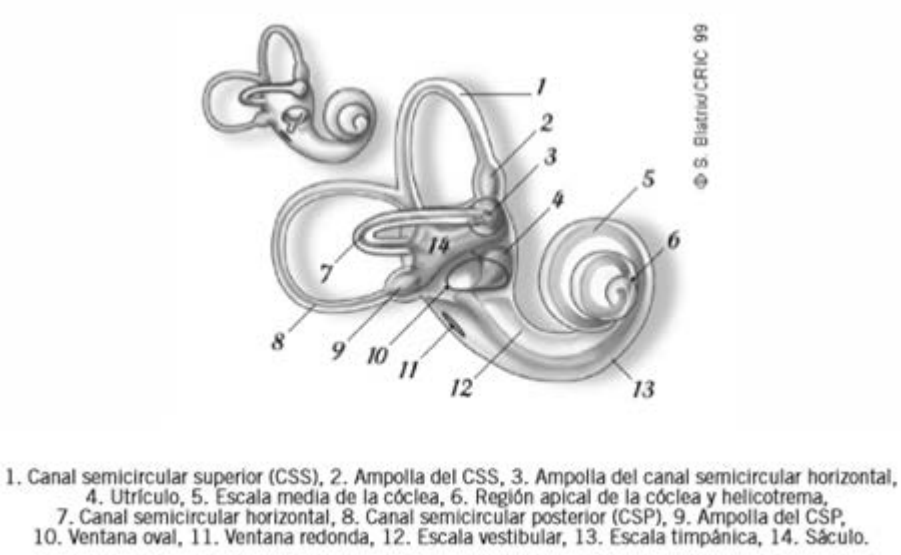


Figura 4. Representación esquemática del oído interno.

Fuente: (CRIC, 2013)

La cóclea, o caracol, está formada por un conducto de unos 3-3’5 cm. de longitud, enrollado sobre sí mismo, describiendo dos vueltas y media en torno a un eje central llamado modiolo, el cual contiene los somas, dendritas y en parte los axones del nervio coclear. En sentido longitudinal, este conducto se divide en tres escalas: timpánica, media o coclear y vestibular (Figura 5).

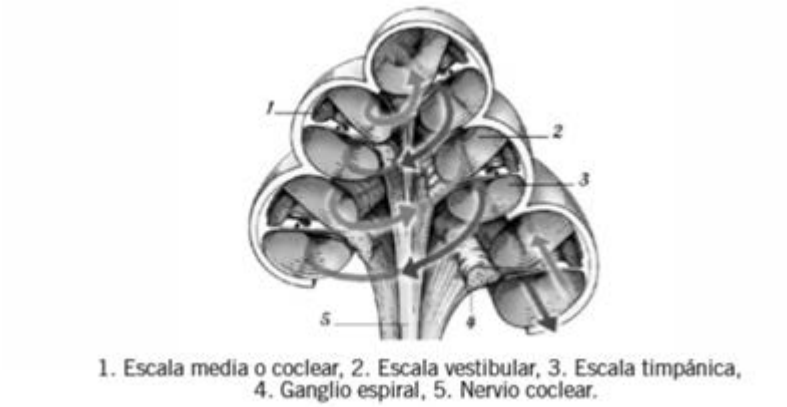
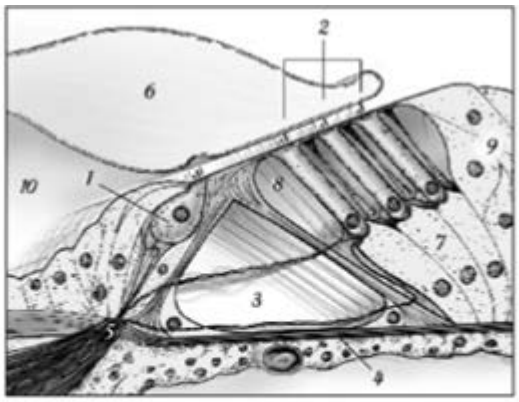


Figura 5. Esquema de las escalas de la cóclea.

Fuente: (CRIC, 2013)

Tanto la escala timpánica como la vestibular contienen perilinfa, mientras que la escala media está llena de endolinfa. La base de esta escala está constituida por la membrana basilar y sobre ella se asienta el órgano de Corti.

El órgano de Corti tiene cuatro filas de células ciliadas: tres filas externas y una interna (Figura 6).



1. Célula ciliada interna, 2. Células ciliadas externas, 3. Túnel de Corti, 4. Membrana basilar, 5. Dendritas del nervio coclear, 6. Membrana tectoria, 7-9. Células de soporte, 10. Surco interno.

Figura 6. Representación esquemática del órgano de Corti.

Fuente: (CRIC, 2013)

Las células ciliadas internas, en su región basal, hacen conexión o sinapsis con las dendritas del nervio coclear, y son las estructuras principales en el proceso de transformación de los estímulos acústicos-mecánicos en impulsos eléctricos que viajarán a lo largo de la vía auditiva. Las células ciliadas externas tienen como misión principal amplificar la onda viajera, lo cual favorece el proceso de transformación que llevan a cabo las células ciliadas internas.

Esta interacción sinérgica entre las células ciliadas internas y externas es la que permite al oído tener un umbral de audición sumamente bajo y una capacidad altamente desarrolla- da para diferenciar las distintas frecuencias. Por otra parte, el análisis de las frecuencias sonoras se realiza siguiendo una determinada distribución espacial de análisis tono-lugar. Los sonidos de baja frecuencia son específicamente analizados en la región apical de la cóclea, mientras que los de tonalidad aguda lo son en la porción basal (Figura 7).

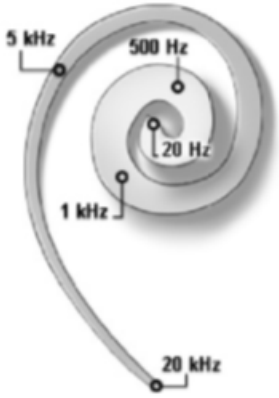


Figura 7. Representación tonotópica de la cóclea.
Fuente: (CRIC, 2013)

2.1.3 Discapacidad auditiva

La literatura científica existente demuestra que una correcta capacidad auditiva resulta imprescindible para que las personas puedan adquirir el lenguaje y para que lo utilicen de manera apropiada, y por tanto los problemas a nivel auditivo suelen generar importantes dificultades para las personas que los sufren. En este primer punto del tema trataremos de definir de manera precisa el concepto de discapacidad auditiva.

Así, al hablar de discapacidad auditiva hacemos referencia a una pérdida de capacidad sensorial en la que el individuo necesita de ayuda constante para la comunicación diaria y/o tiene seriamente afectada su capacidad de aprendizaje lingüístico.

Por tanto, la discapacidad auditiva es un trastorno que no debe confundirse con la simple pérdida de audición que es frecuente en la población normal (algunos autores hablan de que en torno al 25% de la población tiene pérdida auditiva en una u otra forma a lo largo de su ciclo vital), ya que en estos casos la persona sigue disfrutando de una vida normalizada.

Lo esencial de la discapacidad auditiva es, precisamente, que el individuo necesita de ayuda constante para el funcionamiento diario y/o tiene seriamente afectada su capacidad de aprendizaje.

Es importante destacar pues dos aspectos: (a) que no todas las pérdidas auditivas se pueden considerar como discapacidad, y (b) que sólo los casos incapacitantes entrarían dentro de esta categoría.

2.1.3.1 Hipoacusia y sordera

Dentro del término general de discapacidad auditiva se suele distinguir entre tres trastornos que permiten describir mejor las casuísticas habituales:

Hipoacusia: cuando la audición es deficiente, pero permanece cierta capacidad que es útil para la percepción del lenguaje oral y de los sonidos ambientales.

Sordera: existe una audición residual imperceptible, que imposibilita la percepción del lenguaje oral y de los sonidos ambientales.

Cofosis o anacusia: es una ausencia total de audición. Es un problema muy poco frecuente, ya que incluso en las sorderas profundas se mantienen unos mínimos restos auditivos.

Como puedes ver, esta terminología técnica no se corresponde exactamente con el conocimiento de los problemas auditivos que existe en la población general. Por ejemplo, es muy habitual que se aplique el término "sorda" a una persona que tiene problemas auditivos y tiene que utilizar un audífono; sin embargo, técnicamente se estaría haciendo referencia a un hipoacúsico porque este tipo de ayudas siempre necesitan de algún tipo de audición útil y perceptible.

No obstante, otros autores intentan establecer un límite más definido y basado en el grado de pérdida auditiva, y sostienen que la discapacidad auditiva se considera hipoacusia cuando hay una pérdida inferior a 70dB, y sordera cuando es superior a esa cifra.

Lo cierto es que los datos de investigación clínica muestran que resulta habitual encontrar casos de personas con restos auditivos útiles pese a tener una pérdida media

de 90 dB, y al mismo tiempo de otras personas sin restos útiles y una pérdida media de 80dB. Por tanto, parece que el criterio basado en la presencia o ausencia de restos auditivos útiles es más útil, y por tanto en este tema mantendremos la idea de que hipoacusia y sordera se diferencian por los restos auditivos y no tanto por el grado de pérdida.

2.1.3.2 Tipologías de discapacidad auditiva

A la hora de estudiar la discapacidad auditiva, es habitual que se utilicen distintas tipologías para establecer subtipos más específicos del trastorno. Existen multitud de clasificaciones en los manuales, aunque aquí mencionaremos las tres que resultan más relevantes y significativas.

Según la zona lesionada

Esta tipología se basa en la localización anatómica del problema auditivo:

Discapacidad de transmisión o conductiva: debida a una deficiencia en la transmisión a nivel del oído medio. Generalmente son menos severas y pueden tener tratamiento médico.

Discapacidad de percepción, sensorial o neurosensorial: debida a una alteración de los órganos del oído interno. Suelen ser las más relacionadas con la sordera.

Discapacidad mixta: las alteraciones se localizan anatómicamente en el oído medio y también en el interno.

Según el momento de aparición

Siempre en relación a la aparición del lenguaje, se habla de:

Discapacidad prelocutiva: se produce cuando no ha habido ninguna adquisición lingüística importante. Generalmente se considera cuando el problema se inicia desde el nacimiento hasta los 2 años.

Discapacidad perilocutiva: se denomina así a la que ocurre en el periodo inicial de adquisición del lenguaje (que correspondería, de forma general, desde los 2 a los 4/5 años).

Discapacidad postlocutiva: sucede cuando el lenguaje oral ya está adquirido o en la edad adulta.

Según el grado de pérdida auditiva

Para poder entender el diagnóstico y la intervención sobre la sordera y la hipoacusia es necesario también atender al grado de deficiencia, entendido como la pérdida en la capacidad auditiva medida en decibelios (dB). Para ello, se suelen emplear los criterios establecidos por el BIAP (Bureau International d'Audiophonologie) y que aparecen en la siguiente tabla:

Tabla 1. Grados de pérdida auditiva según el BIAP.

Categoría	Grado de pérdida	Efectos en audición del lenguaje
Deficiencia auditiva ligera	20-40 dB	Impide la identificación de algunos fonemas
Deficiencia auditiva media	40-70 a	Sólo pueden identificarse algunas vocales en el habla
Deficiencia auditiva severa	70-90 da	Se perciben algunos sonidos, ausencia de lenguaje espontáneo
Deficiencia auditiva profunda	Superior a 90 da	No se percibe ningún sonido, y no se puede adquirir lenguaje oral
Cofosis o anacusia	Total	No hay respuesta en toda la escala

Generalmente, se entiende que en la discapacidad ligera y media la persona puede percibir algunas características del lenguaje hablado, mientras que la discapacidad severa y profunda esto no es posible. Por tanto, algunos autores consideran que las dos primeras categorías corresponden a problemas de hipoacusia, mientras que las dos últimas se reservan para trastornos de sordera, y de ahí la separación en el límite de los 70dB a la que hacíamos mención más arriba. Por eso, la pérdida de 70dB se utiliza como límite entre ambos problemas.

2.1.4 Ayudas audiológicas

Según la definición de Christian Gélis, Director del Ecolé d Audioprothése de Montpellier, un audífono es un dispositivo activo destinado a mejorar, corregir o rehabilitar la audición de los deficientes auditivos, para una adaptación específica o apropiada a sus capacidades de percepción y de tolerancia (Gélis, 1993).

El funcionamiento básico de un audífono consiste en captar las variaciones de presión acústica o sonido mediante un transductor de entrada denominado micrófono; la señal es modificada en función de las posibilidades técnicas del mismo; posteriormente, es recogida por un transductor de salida o auricular, que se encarga de transformar esta señal en variaciones de presión acústica. Una vez tratado, el sonido es enviado al conducto auditivo externo (CAE) mediante un adaptador anatómico denominado molde. (Manrique & Huarte, 2013)

2.1.4.1 Tipos de audífonos

Existen diferentes criterios para la clasificación de los audífonos. A continuación detallamos los tipos existentes:

- Según el tipo de estímulo utilizado
- Por su formato
- Por su funcionamiento
- Según el factor de amplificación

2.1.4.1.1 Según el tipo de estímulo utilizado

Existen dos tipos de audífonos:

De estimulación por vía aérea. Es el tipo más común de audífono.

De estimulación por vía ósea. Estimulan a través de la aplicación de un vibrador en el hueso mastoides.

2.1.4.1.2 Por su formato

Observamos bajo este criterio cinco tipos de audífonos:

Convencional o de cordón. Esta prótesis es la que tiene el transductor de salida independiente de la prótesis auditiva, y se une a ésta mediante un cordón o cable. Esta prótesis permite utilizar distintos tipos de transductores (auriculares o vibradores) en función del tipo de pérdida auditiva de la persona sorda.

Retroauricular. Esta prótesis queda colocada detrás del pabellón auricular. Es la más utilizada en adaptaciones protésicas infantiles. El rango de adaptación va desde la discapacidad auditiva ligera (DAL), hasta la discapacidad auditiva profunda (DAP).

Figura 8. Audífono retroauricular.
Fuente: (Sandlin, 2000)

Intraauricular. Esta prótesis queda colocada dentro de la aurícula del pabellón.

Figura 9. Audífono intrauricular.
Fuente: (Sandlin, 2000)

Intracanal. Esta prótesis queda colocada dentro del conducto auditivo externo entre el trago y la parte cartilaginosa del mismo.

Figura 10. Audífono intracanal.
Fuente: (Sandlin, 2000)

Intra CIC. Esta prótesis queda colocada totalmente dentro del conducto auditivo externo sin que aparezca ninguna parte del mismo en el trago. Únicamente queda a la vista un pequeño soporte (tirador) para poder extraer el audífono del interior del CAE.

Figura 11. Audífono CIC.
Fuente: (Sandlin, 2000)

Figura 12. Audífono caja.
Fuente: (Valente, 1996)

2.1.4.1.3 Por su funcionamiento

Bajo este criterio observamos tres tipos de audífonos:

Analógicos de control analógico. Este tipo de prótesis está basada en realizar el proceso de la señal acústica mediante un tratamiento analógico de la misma. Durante este proceso, la señal es tratada sin que se modifique su naturaleza.

Analógicos de control digital. Este tipo de prótesis también se denomina programable, ya que, aun cuando el tratamiento de la señal acústica se realiza de forma analógica, la modificación de los parámetros de la misma se efectúa de forma digital.

Digitales. Es la prótesis que realiza el proceso de la señal acústica mediante una modificación de la señal eléctrica, convirtiéndola de analógica a digital y, posteriormente, a analógica, con el fin de poder realizar modificaciones y procesos muy complejos, que de otra forma no podríamos realizar.

Digitales no inteligentes. Es aquel capaz de realizar las mismas funciones que los audífonos analógicos (amplificar, comprimir, filtrar, limitar, ...), pero de una forma cualitativamente mejor, dado que la tecnología digital aporta una mejor calidad de sonido y una mayor flexibilidad.

Digitales inteligentes de 1ª generación. Además de las aportaciones señaladas anterior- mente, realiza un análisis complejo e inteligente de la señal, reduce el efecto del ruido para mejorar la comprensión, utiliza micrófonos direccionales, controla el feedback.

Digitales inteligentes de 2ª generación. Añade a lo referido para los audífonos digitales de 1ª generación, la atribución que su análisis complejo e inteligente de la señal comporta: la implementación de sistemas automáticos cada vez más elaborados que ayudan a paliar problemas que antes no tenían solución. Estos sistemas se concretan en reductores de ruido más eficaces, sistemas de micrófonos direccionales adaptativos, cancelación del feedback,

2.1.4.1.4 Según el factor de amplificación

Con este criterio encontramos dos tipos de audífonos:

Lineal. Esta tecnología aplica un factor de amplificación constante en función del nivel de ganancia aplicada, la cual estará directamente relacionada con la posición del control de volumen del audífono. La mayoría de audífonos con tecnología analógica aplican factores de amplificación lineales.

No lineal. Esta tecnología aplica un factor de amplificación variable que está en función del nivel de señal de entrada del audífono, y es independiente de la posición

del potenciómetro de volumen. La mayoría de audífonos con tecnología digital aplican factores de amplificación no lineales.

La totalidad de fabricantes coinciden en afirmar que, en poco tiempo, la gran mayoría de audífonos existentes en el mercado será de tecnología digital, no lineales e inteligentes, da- do que son los que permiten una mayor versatilidad de adaptación protésica. No obstante, es importante señalar que no todos los audífonos de tecnología digital realizan las mismas funciones, mientras que algunos se limitan a amplificar la señal sin implementar modificaciones de la misma a lo largo del proceso, otros permiten aplicar algoritmos de cálculo muy avanzados. Prestaciones de la tecnología digital:

- La tecnología digital aporta un bajo ruido de fondo en el audífono y una baja distorsión, por tanto, atenúa el ruido y mejora la comprensión de las palabras.
- El punto bajo de la activación de la compresión, nos permite escuchar ruidos y sonidos del habla que antes no podíamos percibir, por lo tanto, mejora la detección e identificación de los sonidos menos intensos. Así mismo, facilita la inteligibilidad de la voz del usuario del audífono, ya que respeta con mayor fidelidad sus modulaciones.
- El gestor/cancelador de feedback nos permite optimizar la adaptación protésica, para poder obtener el mayor rendimiento cuantitativo posible.
- Suministra ganancias diferentes a las diferentes bandas frecuenciales y, por lo tanto, mejora su rendimiento permitiendo a sus usuarios, con perfiles audiométricos poco lineales, percibir mejor los sonidos.
- Suministra ganancias diferentes a diferentes niveles de entrada. Esto asegura que los sonidos sean percibidos respetando sus diferencias cuantitativas en intensidad (sonido fuerte como fuerte y el suave como flojo).

2.2 Tipos de señales

2.2.1 Señal de voz

2.2.1.1 Mecanismo de producción de voz

La voz es producida por la excitación acústica de una cavidad variante en el tiempo, el tracto vocal, la cual es la región de la cavidad de la boca acotada por la cuerdas vocales y los labios. Los variados tipos de sonidos son producidos ajustando, tanto el tipo de excitación, como la forma del tracto vocal.

El mecanismo de producción de la voz puede modelarse por el sistema compuesto de tres etapas:

Fuente: encargada de la generación de sonidos (pulmones, cuerdas vocales). Específicamente el sonido puede pertenecer a uno u otro tipo: sonoro o insonoro. En donde se dice que un sonido es del tipo sonoro si participan las cuerdas vocales en su generación, de lo contrario se dice que es insonoro.

La fuente de sonido del tipo sonoro puede ser modelada como un tren de pulsos o por ondas triangulares asimétricas las cuales son repetidas para cada periodo fundamental. De otra parte, el tipo de voz insonora puede ser modelado como un generador de ruido blanco.

Articulación (Modulador): le da forma y entonación a los sonidos que se están generando, comprende el tracto vocal el cual se puede modelar como una caja resonante que modifica (filtra) el sonido proveniente de las cuerdas vocales.

Radiación: corresponde a la parte final de las cavidades oral y nasal, por donde se expulsa el sonido.

Uno de los modelos más comunes de producción de la voz corresponde al modelo fuente filtro, según el cual, las señales de voz son capturadas por micrófonos, los cuales responden a cambios de presión en el aire. La presión del aire al salir de los labios PL (z), es obtenida de la forma:

$$P_L(z) = U_G(z)V(z)Z_L(z)$$

En donde ZL (z) corresponde a la impedancia presente en los labios, V (z) es la función de transferencia del tracto vocal y UG (z) corresponde a la representación discreta en frecuencia de la señal de excitación proveniente de la faringe uG[n]. En el caso de los sonidos del tipo sonoro la señal uG[n] dentro del modelo 2.1 corresponde a un tren de impulsos en convolución con el pulso global g[n] y para voces del tipo sordo la señal uG[n] corresponde a ruido blanco gaussiano.

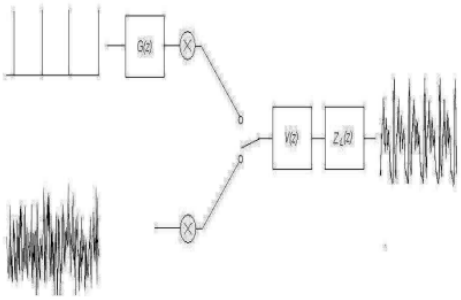


Figura 13. Modelo de producción de la voz.

Fuente: (Elaboración Propia)

2.2.1.2 Digitalización de la voz

El proceso de convertir las ondas acústicas o los espectros visibles en señales de tensión y viceversa se conoce con el nombre genérico de transducción y su complejidad así como el número de subsistemas involucrados en la codificación depende en gran medida de las características del sistema: transmisión a larga o corta distancia, tipo de medio de transmisión o almacenamiento, etc.

2.2.1.2.1 Muestreo

El proceso de “muestreo” consiste en tomar muestras de la señal vocal a intervalos regulares. Estos intervalos deben ser tales que cumplan con el “Teorema del muestreo”, que establece:

“La mínima frecuencia a la que puede ser muestreada una señal y luego reconstruida sin perder información, es el doble de la frecuencia máxima de dicha señal” para establecer cual es ésta frecuencia mínima, se han tenido en cuenta las siguientes consideraciones de las señales de voz:

- Si bien el oído humano puede llegar a escuchar sonidos de hasta 18 a 20 kHz, la mayor parte de la energía de las señales de voz humana se encuentran por debajo de los 4 kHz.
- El sonido resultante de filtrar la voz humana a 3.4 kHz es perfectamente inteligible, y además se puede distinguir sin problemas al locutor.
- El sistema de telefonía originalmente se ha diseñado para transmitir satisfactoriamente "voz humana", minimizando los recursos necesarios para ésta tarea.

Por lo expuesto, podemos pensar en un ancho de banda mínimo para las señales de los sistemas de telefonía de 3.4 kHz. Según el teorema del muestro, para poder reconstruir una señal de hasta 3.4 kHz, debe ser muestreada a más de 6.8 kHz. Dado que los "filtros reales" no pueden realizar cortes abruptos, se ha tomado originalmente en el codec G.711 una secuencia de muestreo de 8 kHz, es decir, tomar una muestra de voz cada 125 microsegundos. Si bien esto es adecuado para reproducir la voz humana, el audio de "alta calidad", por ejemplo con contenido de música, requiere de frecuencias de muestro mucho mayores, para que puedan llegar a funcionar con señales de hasta 20 kHz.

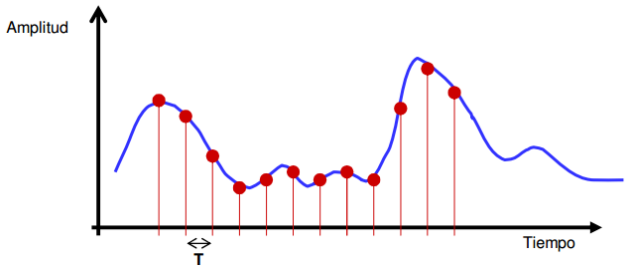


Figura 14. Ancho de banda mínimo para las señales de los sistemas de telefonía.

Fuente: (EPSC, 2004)

2.2.1.2.3 Cuantificación

El proceso de cuantificación convierte las muestras analógicas en muestras que pueden tomar un conjunto discreto de valores. De esta manera, los valores de las muestras se "cuantifican" en cantidades discretas.

Al pasar de infinitos valores (señal analógica) a un conjunto discreto de valores, se introduce naturalmente una distorsión a la señal original. Esta distorsión se conoce normalmente como “Ruido de Cuantificación”. Es de hacer notar, que más allá de su nombre, esta distorsión no es un “ruido”, ya que no proviene de factores externos, sino que es parte del propio proceso de digitalización.

Cuántos más valores discretos se utilicen, menor será la distorsión introducida en el proceso. Por otro lado, cuántos más valores discretos se utilicen, mayor será la cantidad de información” (bits) que se deben procesar (o transmitir) por cada muestra.

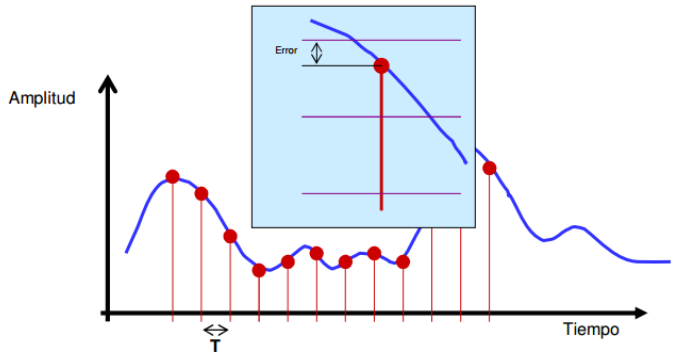


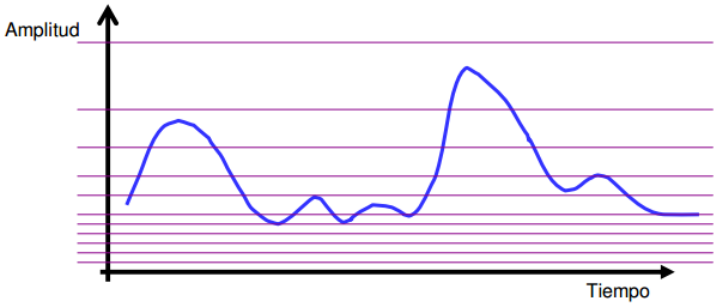
Figura 15. Proceso de digitalización de señal analógica.
Fuente: (EPSC, 2004)

Es importante detenernos a pensar cuál es la menor cantidad de “valores discretos” aceptables para el tipo de señal que se desea digitalizar. Se ha demostrado que para lograr niveles de “ruido” aceptables al reconstruir señales de voz cuantificadas, se requieren de unos 4.000 niveles de cuantificación, utilizando una “cuantificación lineal” (esto es, dividiendo en intervalos de la misma amplitud el “eje y”). Esto requiere de 12 bits por muestra (recordar que con 12 bits se pueden representar 212 valores = 4096 valores).

Por otro lado, se ha comprobado que el oído humano es más sensible a ruidos o distorsiones en señales de baja amplitud que a los mismos ruidos o distorsiones (en valores absolutos) en señales de mayor amplitud. Esto lleva a pensar en algún tipo de cuantificación no lineal, de manera de disponer de distorsiones pequeñas en las partes

de baja amplitud, a costo de distorsiones mayores en las partes de gran amplitud de la señal.

El proceso de cuantificación adoptado originalmente en telefonía por la CCITT (y actualmente estandarizado por ITU en la Recomendación G.711) implementa un algoritmo no lineal, de manera de obtener una calidad de voz aceptable, minimizando la cantidad de niveles de cuantificación". Este algoritmo se basa en tener distorsiones pequeñas para las amplitudes pequeñas de la señal, y distorsiones mayores para las amplitudes mayores de la señal.



Ley A (de 13 segmentos)

$y=(1+\log(Ax) / (1 + \log(A))$ si $1/A < x < 1$
$y = Ax/(1 + \log(A))$ si $0 < x < 1/A$
$A = 87.6$

Ley μ (de 15 segmentos)

$y = \log(1+\mu x)/\log(1+\mu)$
$\mu = 255$

Figura 16. Proceso de cuantificación.

Fuente: (EPSC, 2004)

2.2.2 Señales neuronales

2.2.2.1 Neurona

Son las células funcionales del tejido nervioso. Ellas se interconectan formando redes de comunicación que transmiten señales por zonas definidas del sistema nervioso. Las unciones complejas del sistema nervioso son consecuencia de la interacción entre redes de neuronas, y no el resultado de las características específicas de cada neurona individual.

La forma y estructura de cada neurona se relaciona con su función específica, la que puede ser:

- Recibir señales desde receptores sensoriales
- Conducir estas señales como impulsos nerviosos, que consisten en cambios en la polaridad eléctrica a nivel de su membrana celular
- Transmitir las señales a otras neuronas o a células efectoras

2.2.2.2 Electroencefalograma (EEG)

De todas las técnicas de imágenes cerebrales que existen, la Electroencefalografía (EEG) es la más utilizada debido a su facilidad de manejo y los menores costos comparados con las demás. Éste es un procedimiento que consiste en medir las señales del cerebro con el fin de estudiar el sistema nervioso (Rangayyan, 2002). Se mide la actividad eléctrica de un grupo de células neuronales de la corteza cerebral o del cuero cabelludo. Contiene información física, fisiológica y patológica, por lo que se analiza y se procesa para diagnóstico médico de varias enfermedades cerebrales, y también es utilizado en investigaciones científicas de procesos cognitivos (Zhang, Yin, & Wang, 2011). Cuenta con las siguientes características:

- Son señales débiles y con fuerte ruido en el fondo. El promedio de la señal de EEG es de 50µV, el valor máximo es de 100µV.
- Es una señal aleatoria y no periódica en estado estacionario, es decir, sus propiedades estadísticas varían con el tiempo.

Por su bajo costo, ser mínimamente invasivo y no perturbar el ambiente, se utiliza más el EEG. De esta forma, en los últimos años, aprovechando la información suministrada por el EEG, se han tratado de identificar emociones humanas a través del análisis de las señales producto de la actividad cerebral. Esto ha permitido que la detección de emociones se esté convirtiendo en algo importante para la interacción humano-computador, ya que se busca que las aplicaciones obtengan los parámetros fisiológicos, procesen la señal e inmediatamente ejecuten cierto comando, evitando así depender de una entrada física suministrada por los periféricos tradicionales. Se establece de esta forma un sistema de comunicación que permite al usuario transmitir su intención al mundo exterior a través del pensamiento sin depender de los canales de salidas normales usadas en las interfaces hombre- máquina que se basan en el uso de

los nervios y de músculos Wolpaw, Birbaumer, McFarland, Pfurtscheller, & Vaughan, 2002). Este procedimiento se puede visualizar en la Figura 17 (Szafir, 2010).

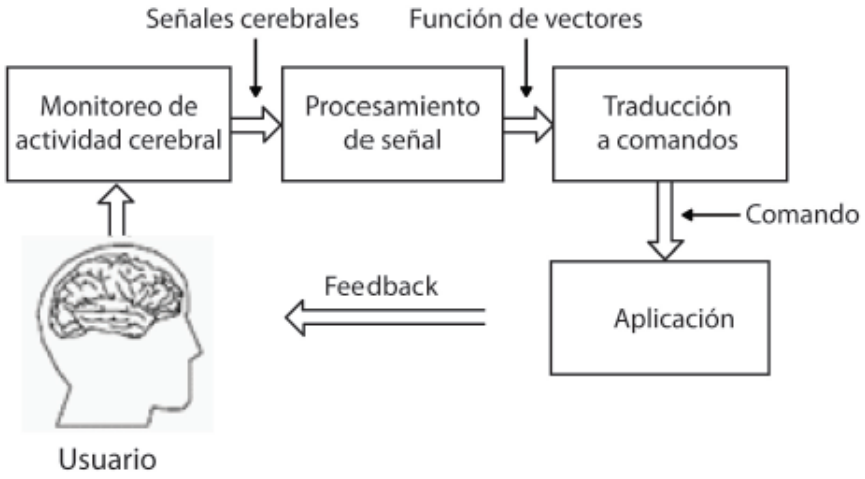


Figura 17. Modelo funcional de emociones a través del EEG.
Fuente: (García, 2009)

2.2.2.3 Características de las señales neuronales

Las características básicas presentes en las señales del EEG se detectan al separarla en diversas bandas de frecuencia (Learned & Willsky, 1995). Las ondas cerebrales están conformadas por diferentes rangos de frecuencias, como se vislumbra en la Figura 18 (Murugappan, Nagarajan, & Yaacob, 2010).

Se observa que existen 5 bandas:

- Ondas Delta, frecuencias entre 0,5 y 3,5 Hz.
- Ondas Theta, se encuentran entre 3 a 7 Hz. Generalmente muy presentes en recién nacidos y en adultos con discapacitados.
- Ondas Alpha, se encuentran en un rango de frecuencia de 8 a 13 Hz. Generalmente están presentes cuando el cuerpo está en reposo, con los ojos cerrados y sin recibir estímulos externos.
- Ondas Beta, están entre 14 a 30 Hz, se generan cuando el sujeto es expuesto a un estímulo externo. No tienen un periodo tan extenso como las alpha.
- Gamma, poseen una frecuencia mayor a los 30 Hz.

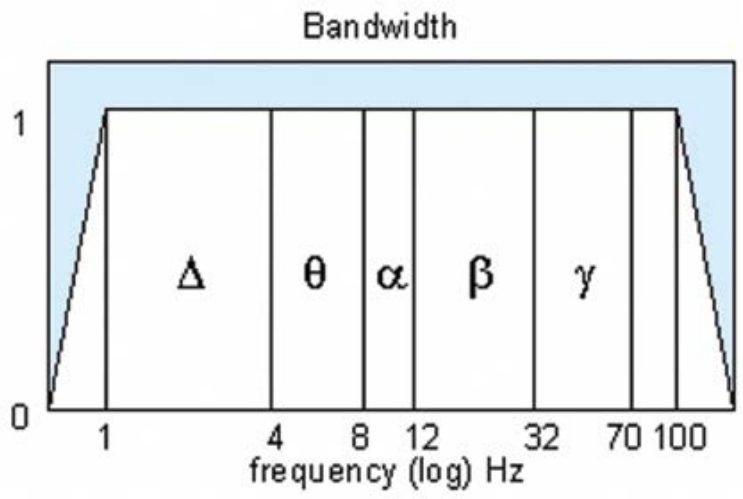


Figura 18. Bandas de frecuencia del EEG.

Fuente: (Murugappan, 2010)

2.3 Casco neuronal EPOC EMOTIV

El sistema de casco sensorial EPOC EMOTIV es considerado por sus desarrolladores como “una nueva y revolucionaria interfaz de personal para la interacción persona-ordenador”.

El sistema se compone de un headseat EPOC que registra las mediciones del EEG y varios programas que procesan y analizan los datos. El usuario dispone de 2 opciones en headseats EPOC y EEG, variando principalmente los kits de desarrollo y su costo.

Los diferentes kits de desarrollo están enfocados según el tipo de usuario como se ve en la siguiente tabla:

Tabla 2. Tabla SDK

SDK Edition	Costo	Licencias de desarrollo	Software incluido
Lite	gratis	Personal	Control Panel SDK Lite EmoComposer EmoKey Games demos.
Developer	500	Personal	Control Panel EmoComposer EmoKey Basci API
Research	750	Personal	Control Panel EmoComposer EmoKey TestBench Raw EEG data API
Enterprise	2500	Empresas	Control Panel EmoComposer EmoKey Basci API
Enterprise Plus	7500	Empresas	Control Panel EmoComposer EmoKey TestBench Raw EEG data API
Education	2500	Institutos educacionales	Control Panel EmoComposer EmoKey TestBench Raw EEG data API

El headset es inalámbrico y utiliza un dongle USB patentado para comunicarse usando la banda de 2.4GHz y viene integrado a este una batería de litio recargable con una duración promedio de 12 horas, tiene 14 sensores de EEG (en las siguientes figuras observamos la disposición en el headset y el cráneo del usuario) estando también dotados de una almohadilla humedecida en una solución salina para favorecer la conducción, y tiene un ancho de banda efectivo de 0,16-43Hz.

Figura 19. Emotiv EPOC Headset.
Fuente: (Emotiv, 2013)

Además de los electrodos, el casco Emotiv Epoc (Figura 19) contiene un giróscopo, compuesto por dos acelerómetros que facilitan información sobre los movimientos que el usuario realiza con su cabeza.

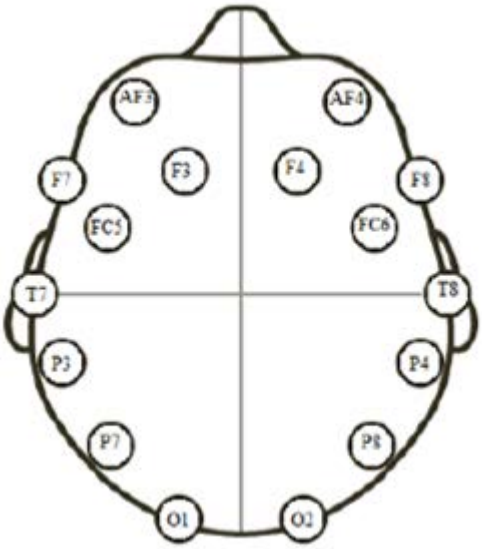


Figura 20. Ubicación de los 14 sensores del Headset.
Fuente: (Szafir, 2010)

2.4 Micrófonos

2.4.1 Introducción

El micrófono es un transductor electroacústico. Su función es la de traducir las vibraciones debidas a la presión acústica ejercida sobre su cápsula por las ondas sonoras en energía eléctrica, lo que permite por ejemplo grabar sonidos de cualquier lugar o elemento.

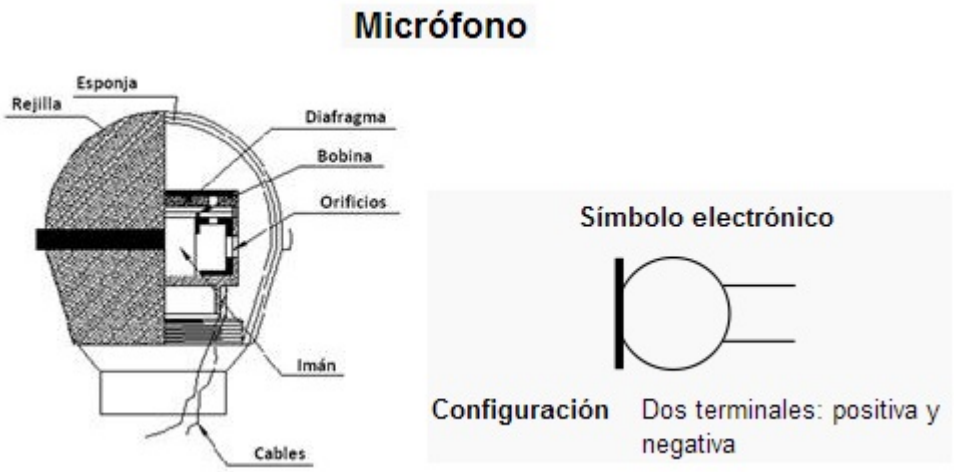


Figura 21. Partes de un micrófono y su símbolo.

Fuente: (CyberChimps, 2012)

Para entender el funcionamiento de un micrófono hay que conocer las partes que lo componen y aunque existen infinidad de modelos de micrófonos algunos sencillos y algunos de alto nivel, todos comparten las mismas partes, así que conociendo las de uno se conocerán las de todos aunque algunos varíen apenas.

Diafragma: Se conoce como tal, la parte más delicada de un micrófono, aunque también se le puede conocer por algunos como “pastilla”. El diafragma del micrófono es una membrana que recibe las vibraciones de nuestra voz y está unido al sistema que transforma estas ondas en electricidad.

Dispositivo transductor: Es una cápsula microfónica se encarga de convertir los sonidos en electricidad o sea audio y puede estar construida de diferentes maneras y, dependiendo del tipo de transductor que la misma utilice, así pueden definirse los micrófonos o sea, dinámicos, de condensador, de carbón, piezoeléctricos, etc.

Rejilla: Es la parte destinada a proteger el diafragma evitando golpes de sonido y los golpes que pudieran devenir de la caída.

Carcasa: Se conoce con este nombre, el recipiente destinado a colocar todos los componentes del micrófono, suele ser mayormente de metal ligero que permite al mismo tiempo fácil manipulación proteger el dispositivo transductor del micrófono.

Conector de salida: Es la zona de conexión que a través del conector lleva la señal a la consola.

Todos son parte importante en el funcionamiento del micrófono y aunque como hemos dicho hay una gran variedad de micrófonos todos comparten estas partes para ser funcionales aunque por los requerimientos de cada uno en cada clase de micrófono se adapten precisamente a esas necesidades. Suelen ser de materiales que sean fáciles de manipular para mantener la movilidad del micrófono y también resistentes de modo que pese a las caídas o inconvenientes el mismo se mantenga en su estado óptimo (CyberChimps 2012).

2.4.2 Características generales de los micrófonos

En función de las partes de los micrófonos expuestas anteriormente, podemos conocer la calidad y desempeño de un micrófono. También usamos dichas características para clasificarlos. Veamos las principales:

Directividad: Los micrófonos no captan el sonido de igual manera por todos sus lados. La directividad es la característica que nos indica desde qué dirección recoge mejor el sonido. Es importantísimo conocer los patrones de directividad de nuestros micrófonos para colocarlos correctamente en las grabaciones.

Respuesta en frecuencia o fidelidad: El oído y la voz humana se encuentran en el rango de frecuencias de 20 Hz a 20kHz. La respuesta en frecuencia de un micrófono o su fidelidad nos indica qué rango del espectro audible es capaz de recoger. Por ejemplo, la mayor parte de los micrófonos están preparados para recibir frecuencias entre 80 Hz y 18 Khz. Para grabar instrumentos necesitaremos equipos algo más fidedignos que se aproximen al rango audible humano.

Sensibilidad: Este dato nos permite saber qué tan fuerte tiene que ser la señal de audio para que sea captada por el micrófono. Un micrófono muy sensible funcionará con unos 50 decibelios (50 dB), mientras que un micrófono menos sensible necesitará un mayor nivel de audio para que el diafragma pueda captar las vibraciones (García 2014).

Ruido propio: El ruido propio de un micrófono es el que produce cuando no hay ninguna señal externa que excite el micrófono. Esta medida se realiza normalmente en una cámara anecoica y se especifica como una medida de presión sonora y por tanto en dB SPL, equivalente a una fuente sonora que hubiese generado la misma tensión de salida que el ruido producido por el micrófono. El nivel indicado en dB SPL se especifica con la ponderación A incluida, de forma que se adapta a la curva de nuestro oído ajustando las frecuencias más graves y más agudas.

Se puede considerar como excelente un nivel de ruido de 20 dBA SPL, como valor bueno sobre unos 30 dBA SPL, y como malo 40 dBA SPL.

A la hora de comparar varios micrófonos es importante tener en cuenta este valor de ruido propio. Cuanto menos ruido tengamos mejor. Hay que acordase de que después, en la práctica, no usaremos un micrófono solo, sino que usaremos varios y los niveles de ruido se irán sumando.

Relación señal/ruido (SNR): La relación señal ruido (SNR) representa realmente la diferencia entre el nivel SPL y el ruido propio del micrófono. Cuanto mayor sea la

SPL y menor el ruido mejor será la relación señal ruido, y por contra si el nivel de SPL es menor y el ruido propio aumenta, la relación será menor y por tanto peor.

La SNR nos indica qué porcentaje de la señal SPL está por encima del ruido de fondo. Si tenemos una SPL de 100 dB y un ruido propio en el micrófono de 30 dB, la relación señal/ruido será de 70 dB.

Para una seña de 100 dB una relación señal/ruido de 80 dB es muy buena y 70 dB es buena (López 2003).

2.4.3 Tipos de micrófonos

2.4.3.1 Según su construcción

2.4.3.1.1 Micrófonos dinámicos o de bobina móvil

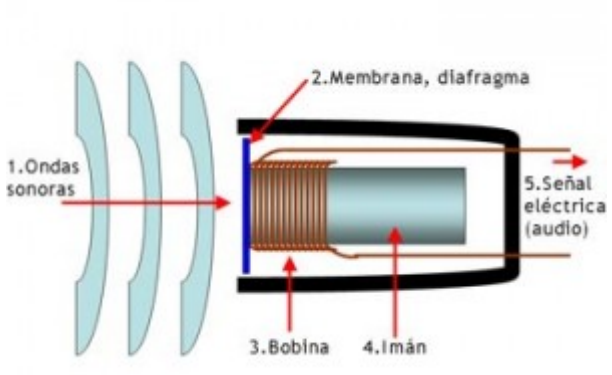


Figura 22. Esquema funcionamiento bobina móvil.

Fuente: (Uriate, 2012)

Este es el micrófono más utilizado en sonorizaciones y eventos musicales, tales como conciertos y teatros. El funcionamiento es el mismo que los generadores de corriente alterna. Las ondas acústicas, hacen vibrar una membrana solidaria a una bobina de cobre, esta bobina esta introducida dentro de un campo magnético creado por un imán. El repetido movimiento de la bobina dentro de este campo magnético produce energía eléctrica y esta energía eléctrica es la señal eléctrica que vamos a utilizar. Igual a un altavoz, pero a la inversa.

Características Típicas:

- Admite un alto nivel de presión sonora. Esto hace que sea perfecto para captar sonidos como, bombos, trompetas etc.
- Baja sensibilidad, no capta con precisión señales acústicas muy bajas.
- Tiene una captación pobre para las altas frecuencias.
- Micrófonos muy robustos.

2.4.3.1.2 Micrófonos de condensador

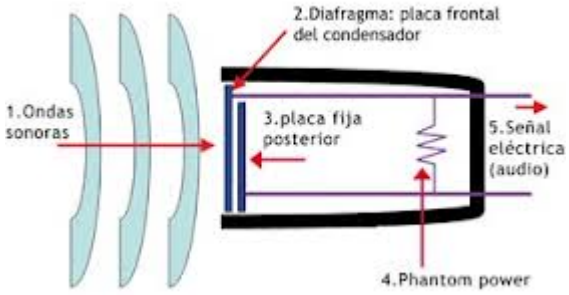


Figura 23. Esquema funcionamiento micrófono condensador.

Fuente: (Uriate, 2012)

Este micrófono es más usado en estudios de grabación, debido a su gran sensibilidad. El funcionamiento de este micrófono, está basado en el principio del funcionamiento del condensador. Si en un condensador, una de las placas tiene movimiento respecto a la otra, la distancia entre ellas varia, y por lo tanto también variara la capacidad de carga del mismo. El movimiento de la placa libre provoca que el condensador demande o rechace carga (electrones), este movimiento de electrones es el que producirá la señal eléctrica que necesitamos.

Como es lógico, para usar este micrófono necesitamos alimentarlo eléctricamente, para cargar el condensador y alimentar un pequeño previo, que necesita por ser muy baja, la señal genera este condensador, muchas veces incorporan filtros y atenuadores (Uriate 2012).

Características Típicas:

- Respuesta plana para todo el rango de frecuencias, alta fidelidad.
- Muy sensible, en ocasiones puede llegar a saturar.
- Necesitan alimentación, a pilas o mediante la mesa de sonido, +48V.
- Son sensibles a la humedad y más frágiles.

2.4.3.2 Características según su captación

Todos los micrófonos independientemente de su construcción, pueden tener formas de captación iguales.

Directividad

Figura 24. Diagrama polar de un micrófono.

Fuente: (Uriate, 2012)

Es una de las principales características de los micrófonos y define el tipo de captación de estos.

Tenemos que tener en cuenta, que la propagación del sonido es diferente según la frecuencia que se está propagando. Por ello la captación de sonido será muy diferente. A rasgos generales, siempre serán más direccionales las altas frecuencias que las bajas. Así, cuando se define el diagrama de captación de un micrófono, esta se dará para distintas bandas de frecuencias, con más precisión para agudos y más omnidireccional para graves.

El tipo de captación de cada micrófono se mostrara en un diagrama polar, que nos indica la dirección 0º como la dirección en la que está dirigido el micrófono. La máxima captación en los ejes será de 0 dB, y nos encontraremos indicados distintos ángulos respecto al eje 0º y en cada uno vendrá reflejado el nivel de atenuación que sufre el sonido que proviene de ese ángulo. Esto dará como resultado un dibujo, una curva, que nos define el tipo de directividad del micrófono.

Según el tipo de diagrama polar, encontraremos tres grandes grupos de captación, los más usados, omnidireccionales, unidireccionales y cardioides (ProAudio 2014).

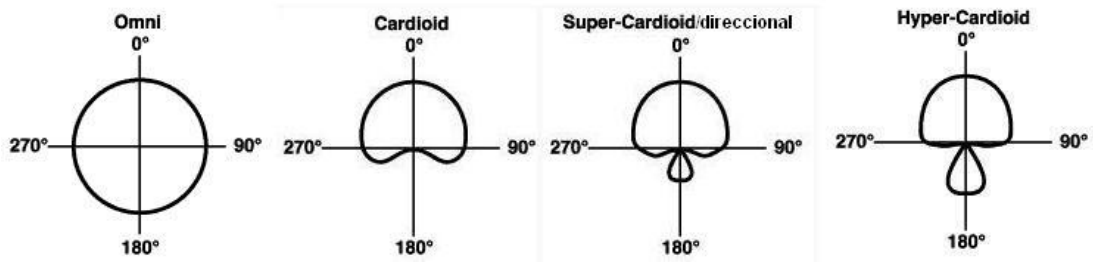


Figura 25. Tipos de diagramas polares.

Fuente: (Uriate, 2012)

2.4.3.2.1 Micrófonos omnidireccionales

Figura 26. Micrófono Omnidireccional.

Fuente: (Uriate, 2012)

Son los que captan el sonido en todas direcciones. No influye la posición del micro en la captación, son muy usados en teatros, platos de TV, también se usa mucho en estudios para grabación. Por contra, tienden a re-alimentarse, por eso no se usan mucho en conciertos.

2.4.3.2.2 Micrófonos unidireccionales

Figura 27. Micrófono Unidireccional.

Fuente: (Uriate, 2012)

Solo captan en una dirección. Los más conocidos sol los micrófonos de cañón, muy usados en cine para captar el sonido desde una cierta distancia y así no interferir

en la imagen. También es muy utilizado para captar sonidos ambiente (sonido de tráfico, animales, etc.), usados en TV y cine.

2.4.3.2.3 Micrófonos cardioides

Figura 28. Micrófono Cardioide.

Fuente: (Uriate, 2012)

El diagrama polar es una curva con forma de corazón, por eso su nombre. Es la directividad más utilizada porque no sufre una Micrófono Cardioide atenuación muy fuerte hasta los 90º y esto permite una cierta libertad de movimiento en la fuente. Un buen micrófono tampoco debería repercutir en variaciones de timbre, pues la repuesta en frecuencia se mantiene para toda el rango. Otra ventaja, es que en su parte trasera tiene su atenuación máxima, perfecto para ser usado como micrófono de mano, así evita captar las señales de la mano sobre el micrófono y evita la realimentación.

Dentro de los cardioides encontraremos otras directividades con pequeñas variaciones, como es la hipercardioide, un poco más unidireccional que la cardioide pero menos que la direccional.

Los micrófonos cardioides son micrófonos unidireccionales con un diagrama polar con forma de corazón (de ahí el nombre), lo que se traduce en una mayor sensibilidad hacia los sonidos que le llegan por su parte frontal y, por el contrario, un mínimo de sensibilidad a los que le llegan por su parte posterior, donde se va produciendo una atenuación gradual.

Esta forma de corazón se obtiene dejando el diafragma libre en su parte delantera y construyendo en su parte posterior laberintos acústicos.

La mejor respuesta en frecuencia, los micrófonos cardiodes la ofrecen a las frecuencias medias. Los graves se dispersan más, mientras que, ante los agudos, se vuelve más direccional.

Como el micro cardioide puede alcanzar los 160º de ángulo preferente, resultan ideales para la captación general de sonido desde un punto de vista frontal. Además, los micros cardioides admiten las fuentes espaciadas, a diferencia de los micros bidireccionales.

El inconveniente de los micros cardioides, es que por pequeña que sea su sensibilidad posterior, ésta puede producir retroalimentación si hay un altavoz situado en el escenario. Por el mismo motivo, tampoco es muy utilizado en televisión, aún puede captar parte de sonido no deseado como los movimientos de cámara o de la reverberación procedente de las paredes. En cambio, sí son muy utilizados cuando pueden estar cerca de la fuente, por ejemplo, como micrófono de mano para cantantes, etc.

Figura 29. Captación del sonido frontal del micrófono cardioide.

Fuente: (GmbH, 2014)

Un micrófono cardioide tiene la máxima sensibilidad en su parte frontal y la mínima en la trasera. Esto le ofrece un total aislamiento contra el sonido de ambiente no deseado y hace que sea mucho más resistente a la realimentación que los micrófonos omnidireccionales. Todo ello hace que los micros cardioides resulten particularmente adecuados para escenarios con mucho ruido (GmbH 2014).

2.5 Dispositivo controlador

2.5.1 Introducción

Figura 30. Tarjeta Raspberry Pi, modelo B.

Fuente: (Andrade, 2012)

El proyecto Raspberry Pi se inició en 2006, cuando Eben Upton y algunos compañeros de trabajo de la Universidad de Cambridge decidieron solucionar un problema muy básico: la mala (o falta de) educación que demostraban los aspirantes a ingeniero informático. Upton estaba a cargo de conseguir nuevos y buenos estudiantes para la universidad, pero se dio cuenta de que la mayoría de ellos tenían poco o ningún conocimiento de programación. Una parte del problema, pensó Upton, podría ser que ninguno de ellos poseía un PC realmente apropiado para programar y probar cosas nuevas, de forma que empezó con el diseño del micro-ordenador que ahora es conocido como Modelo A.

Para 2008 los procesadores se convirtieron en componentes suficientemente baratos y rápidos como para incluirlos en el aparato que tenía en mente. El Modelo A fue diseñado con unas características básicas pero a la vez muy completas, con salida de video y audio, un procesador capaz de realizar tareas interesantes como la reproducción de video de alta definición, un tamaño pequeño y un buen precio. Se

estableció que el Modelo A se vendería por unos 25 dólares, pero la gente empezó a pedir conexión a internet, y por lo tanto la fundación Raspberry Pi decidió fabricar el Modelo B, con un puerto Ethernet y un precio de unos 35 dólares. Ese segundo dispositivo es precisamente el que tenemos en nuestras manos y del cual te vamos a hablar con mayor detalle.

2.5.2 Hardware

El Raspberry Pi Model B es un dispositivo de un tamaño diminuto (mide casi lo mismo que una tarjeta de crédito), pero en sus ínfimas dimensiones de 85,6 x 53,98 x 17 mm atesora grandes posibilidades, como la posibilidad de mostrar video 1080p o conectarse a redes y a internet y administrar dispositivos de domótica.

De todas maneras, antes de mencionar sus habilidades es esencial hacer una lista de las especificaciones a continuación.

Tabla 3. Especificaciones técnicas de la tarjeta Raspberry Pi Modelo B.

Raspberry Pi Model B	
SoC	Broadcom BCM2835
CPU	ARM 1176JZFS a 700 MHz
GPU	Videocore 4
RAM	256 MB
Video	HDMI y RCA
Resolución	1080p
Audio	HDMI y 3.5 mm
USB	2 x USB 2.0
Redes	Ethernet 10/100
Electricidad	micro USB

El Raspberry Pi Modelo B cuenta con conectores más que suficientes para permitir cierta flexibilidad al usuario, y es que si una pantalla HDMI no está disponible, siempre se puede usar la salida de video RCA. Además, su alimentación es tan sencilla como conectarle el adaptador micro-USB de un teléfono.

Además de los puertos USB que pueden ser usados para conectar ratones, teclados o discos duros externos, el dispositivo incluye conectores de expansión que pueden ser usados para la comunicación con otros dispositivos.

2.5.3 Software

Si bien la fundación Raspberry Pi se ha hecho cargo principalmente de proporcionar el hardware del Modelo B, también ha ayudado para que la comunidad cree distintos sistemas operativos (todos basados en Linux) que satisfagan distintas necesidades.

Figura 31. Sistema operativo para la tarjeta Raspberry Pi.

Fuente: (Andrade, 2012)

Ya que el sistema operativo se carga desde una simple tarjeta SD, tener varias distribuciones de Linux listas para ser cambiadas no entraña complicación alguna. De igual manera, es tan sencillo crear una distribución ARM para el Raspberry Pi que cada cierto tiempo se ven nuevas versiones de Linux en los foros del proyecto.

Ya que el Modelo B cuenta con dos puertos USB es sencillo conectarle un ratón y un teclado y usarlo como un ordenador cualquiera, aunque sea mucho más lento ordenadores con un precio más elevado. El problema es que si bien se puede usar una interfaz gráfica en el Pi, su limitada memoria y pequeño procesador hace que las cosas funcionen con bastante lentitud. Por eso debe quedar claro que los ordenadores de la fundación Raspberry Pi no fueron creados para remplazar a tu ordenador principal, sino como herramientas de aprendizaje y juego.

2.5.4 Sistemas operativos

En el momento de escribir este análisis existen tres distribuciones de Linux promocionadas por la fundación Raspberry Pi: Raspbian "wheezy" (basada en Debian), Arch Linux ARM y QtonPi. La primera ha sido clasificada como "para principiantes", y es que se trata de una distribución preconfigurada con administrador de ventanas como LXDE y con algunos navegadores de internet como Midori. La segunda, Arch Linux, tiene como meta proporcionar grandes niveles de control al usuario. Por último, QtonPi es una plataforma embebida para el uso de aplicaciones Qt.

La distribución viene con algunas aplicaciones preinstaladas, entre las que se encuentran los navegadores de internet Midori, Dillo y NetSurf y herramientas de programación como IDLE para Python, Scratch y Squeak.

La distribución Raspbian cuenta además con algunos juegos desarrollados en Python, como clones de Reversi, Sokoban y Snake. La experiencia de juegos es aceptable, pero se puede sentir la lentitud del ordenador cuando interpreta las teclas seleccionadas.

Además de programación en Python, es posible hacer scripts de Linux en bash con vi, y hasta hemos leído de gente que ha instalado completos servidores web y hace scripts en PHP, si bien nosotros todavía no hemos tenido tiempo de intentarlo.

Un proyecto que sí pusimos en práctica tiene que ver con el uso del Model B como bot de nuestro chat interno de Engadget, y debemos admitir que funcionó hasta mejor que con el ordenador que habíamos usado hasta ese momento. La configuración de aplicaciones disponibles en los repositorios de Debian funciona tan bien como en cualquier otra instalación de la distribución: tan sólo hay que buscar en apt-get para instalar todo tipo de software en el pequeño ordenador, o por su defecto compilar la fuente directamente con make (Andrade 2012).

2.6 Protocolos de transmisión

2.6.1 El estándar Bluetooth IEEE 802.15.1.

Figura 32. Logotipo de Bluetooth.

Fuente: (Wikipedia, 2014)

La tecnología Bluetooth.

Bluetooth empieza a concebirse en Ericsson Mobile Communications AB (Suecia) en 1994 como el efecto colateral de un proyecto sobre enlaces de comunicadores múltiples conectados a la red celular mediante teléfonos; cuatro años más tarde, aparece el grupo de interés en la tecnología Bluetooth SIG (Special Interest Group) en el que aparecían Ericsson, Toshiba, IBM e Intel como empresas promotoras de la tecnología; más tarde se sumaron otros promotores como 3Com, Lucent, Microsoft y Motorola generándose el consorcio Bluetooth; actualmente el Bluetooth SIG cuenta con más de 2000 empresas.

Bluetooth es una especificación industrial para Redes Inalámbricas de Área Personal (WPAN) que posibilita la transmisión de voz y datos entre diferentes dispositivos mediante un enlace por radiofrecuencia en la banda ISM de los 2,4 GHz. Los principales objetivos que se pretenden conseguir con esta norma son:

Facilitar las comunicaciones entre equipos móviles.

Eliminar los cables y conectores entre éstos.

Ofrecer la posibilidad de crear pequeñas redes inalámbricas y facilitar la sincronización de datos entre equipos personales.

Los dispositivos que con mayor frecuencia utilizan esta tecnología pertenecen a sectores de las telecomunicaciones y la informática personal, como PDA, teléfonos móviles, computadoras portátiles, ordenadores personales, impresoras o cámaras digitales (Wikipedia® 2014a).

2.6.1.1 Usos y aplicaciones

Se denomina Bluetooth al protocolo de comunicaciones diseñado especialmente para dispositivos de bajo consumo, que requieren corto alcance de emisión y basados en transceptores de bajo costo.

Tabla 4. Clasificación por clase de la potencia de transmisión.

Clase	Potencia máxima permitida (mW)	Potencia máxima permitida (dBm)	Alcance **(aproximado)**
Clase 1	100 mW	20 dBm	~30 metros
Clase 2	2.5 mW	4 dBm	~10-5 metros
Clase 3	1 mW	0 dBm	~1 metro

Los dispositivos que incorporan este protocolo pueden comunicarse entre ellos cuando se encuentran dentro de su alcance. Las comunicaciones se realizan por radiofrecuencia de forma que los dispositivos no tienen que estar alineados y pueden incluso estar en habitaciones separadas si la potencia de transmisión es suficiente. Estos dispositivos se clasifican como "Clase 1", "Clase 2" o "Clase 3" en referencia a su potencia de transmisión, siendo totalmente compatibles los dispositivos de una caja de ordenador.

En la mayoría de los casos, la cobertura efectiva de un dispositivo de clase 2 se extiende cuando se conecta a un transceptor de clase 1. Esto es así gracias a la mayor sensibilidad y potencia de transmisión del dispositivo de clase 1, es decir, la mayor potencia de transmisión del dispositivo de clase 1 permite que la señal llegue con energía suficiente hasta el de clase 2. Por otra parte la mayor sensibilidad del dispositivo de clase 1 permite recibir la señal del otro pese a ser más débil.

Los dispositivos con Bluetooth también pueden clasificarse según su ancho de banda:

Tabla 5. Clasificación de los dispositivos USB según el ancho de banda.

Versión	Ancho de banda
Versión 1.2	1 Mbit/s
Versión 2.0 + EDR	3 Mbit/s
Versión 3.0 + HS	24 Mbit/s
Versión 4.0	24 Mbit/s

2.6.1.2 Aplicaciones

- Conexión sin cables vía OBEX.
- Transferencia de fichas de contactos, citas y recordatorios entre dispositivos vía OBEX.
- Reemplazo de la tradicional comunicación por cable entre equipos GPS y equipamiento médico.
- Controles remotos (tradicionalmente dominado por el infrarrojo).
- Enviar pequeñas publicidades desde anunciantes a dispositivos con Bluetooth. Un negocio podría enviar publicidad a teléfonos móviles cuyo Bluetooth (los que lo posean) estuviera activado al pasar cerca.
- Las consolas Sony PlayStation 3, Microsoft Xbox360 y Wii incorporan Bluetooth, lo que les permite utilizar mandos inalámbricos, aunque los mandos originales de la Wii funcionan mezclando la tecnología de infrarrojos y Bluetooth.
- Enlace inalámbrico entre sistemas de audio y los altavoces (o altoparlantes) correspondientes.

2.6.2 Universal serial bus

El Universal Serial Bus (USB) (bus universal en serie BUS) es un estándar industrial desarrollado a mediados de los años 1990 que define los cables, conectores y protocolos usados en un bus para conectar, comunicar y proveer de alimentación eléctrica entre ordenadores y periféricos y dispositivos electrónicos.2 La iniciativa del desarrollo partió de Intel que creó el USB Implementers Forum3 junto con IBM, Northern Telecom, Compaq, Microsoft, Digital Equipment Corporation y NEC en 1996 se lanzó la primera especificación (USB 1.0), la cual no fue popular, hasta 1998 con (USB 1.1).4 Actualmente agrupa a más de 685 compañías.

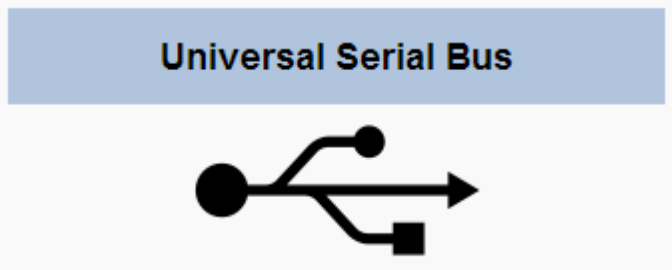


Figura 33. Símbolo del dispositivo USB.

Fuente: (Wikipedia, 2014)

USB fue diseñado para estandarizar la conexión de periféricos, como mouse, teclados, memorias USB, joysticks, escáneres, cámaras digitales, teléfonos móviles, reproductores multimedia, impresoras, dispositivos multifuncionales, sistemas de adquisición de datos, módems, tarjetas de red, tarjetas de sonido, tarjetas sintonizadoras de televisión y grabadora de DVD externa, discos duros externos y disquetera externas. Su éxito ha sido total, habiendo desplazado a conectores como el puerto serie, puerto paralelo, puerto de juegos, Apple Desktop Bus o PS/2 a mercados-nicho o a la consideración de dispositivos obsoletos a eliminar de los modernos ordenadores, pues muchos de ellos pueden sustituirse por dispositivos USB que implementen esos conectores (Wikipedia® 2014b).

2.6.2.1 Características del puerto USB

- La versión USB 1.0 Aparece en el mercado, junto con el lanzamiento del microprocesador Intel® Pentium II en 1997.
- Cada puerto, permite conectar hasta 127 dispositivos externos, pero solo se recomiendan como máximo 8, porque se satura la línea del puerto y se ralentiza el sistema al tener que administrarse todos simultáneamente.
- Cuenta con tecnología "Plug&Play" la cuál permite conectar, desconectar y reconocer dispositivos sin necesidad de reiniciar ó apagar la computadora.
- Las versiones USB 1.X y USB 2.0 transmiten en un medio unidireccional los datos, esto es solamente se envía ó recibe datos en un sentido a la vez, mientras

que la versión USB 3 cuenta con un medio Duplex que permite enviar y recibir datos de manera simultánea.

- A pesar de que el puerto USB 3, está actualmente integrado ya en algunas placas de nueva generación, aún no hay dispositivos comerciales/populares para esta tecnología (InformaticaModerna.com 2014).

2.6.2.2 Terminales del puerto USB

Los puertos USB 1.0, 1.1 y USB 2.0 tienen 4 contactos, mientras que el puerto USB 3.0 cuenta con 9 (2 por los cuáles es capaz de enviar, 2 por los cuáles recibir de manera simultánea); en las siguientes figuras se muestran las líneas eléctricas y su descripción básica:

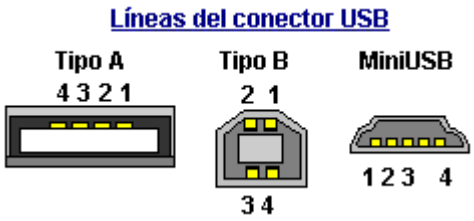


Figura 34. Líneas eléctricas del conector USB 1.0 y USB 2.0.

Fuente: (Informatica-Moderna, 2014)

1.- Vbus (+ 5 Volts, alimentación)

2.- D- (- datos)

3.- D+ (+ datos)

4.- GND (tierra)

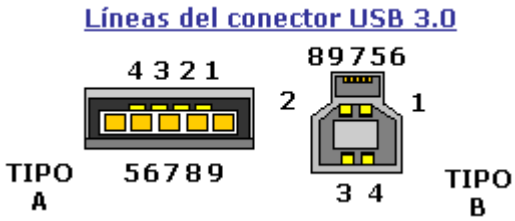


Figura 35. Líneas eléctricas del conector USB 3.0.

Fuente: (Informatica-Moderna, 2014)

1.- Vbus (+ 5 volts, alimentación)

2.- D- (- datos)

3.- D+ (+ datos)

4.- GND (tierra)

5.- StdA_SSRX- (Recibe datos)

6.- StdA_SSRX+ (Recibe datos)

7.- GND_DRAIN (tierra-drenado)

8.- StdA_SSTX- (Envía datos)

9.- StdA_SSTX+ (Envía datos)

2.6.2.3 Tipos de puertos USB

El puerto USB en general cuenta con 3 tipos, denominados A, B y mini, incluida la versión USB 3.0 (esta última cuenta con sus respectivos conectores agregados):

USB tipo A

Figura 36. Puerto USB integrado en la tarjeta principal ("Motherboard").

Fuente: (Informatica-Moderna, 2014)

USB tipo B

Figura 37. Variante del puerto USB integrado en dispositivos grandes.

Fuente: (Informatica-Moderna, 2014)

USB mini

Figura 38. Variante del puerto USB integrado en dispositivos pequeños.

Fuente: (Informatica-Moderna, 2014)

2.6.2.4 Velocidad de transmisión del puerto USB

Hay 2 formas de medir la velocidad de transmisión de datos del puerto USB:

- En MegaBytes / segundo (MB/s).
- En Megabits por segundo (Mbps).

Un error típico, es creer que lo anterior es lo mismo, debido a que los fabricantes manejan en sus descripciones de producto la segunda cantidad, pero no es así. Existe una equivalencia para realizar la trasformación de velocidades con una simple "regla de tres":

8 Mbps (Megabits por segundo) = 1 MB/s (MegaByte/segundo)

Ejemplo: si el fabricante de una memoria USB, señala que su producto tiene una velocidad de transmisión de hasta 480 Mbps, entonces:

Velocidad en MB/s = (480 Mbps X 1 MB/s) / 8 Mbps

Velocidad en MB/s = (480 MB/s) / 8

Velocidad en MB/s = 60 MB/s

Tabla 6. Velocidad de transmisión de los puertos USB (Teóricos).

Versión de puerto	Velocidad máxima en Megabits por segundo	Velocidad máxima en (MegaBytes/segundo)
USB 1.0 (Low Speed)	1.5 Mbps	187.5 KB/s
USB 1.1 (Full Speed)	12 Mbps	1.5 MB/s
USB 2.0 (Hi-Speed)	480 Mbps	60 MB/s
USB 3.0 (Super Speed)	3200 Mbps / 3.2 Gbps	400 MB/s

CAPITULO III

DESARROLLO DE INTERFACE DE SOFTWARE Y HARDWARE.

3.1 Adquisición de datos

El proceso de la adquisición de datos del casco sensorial Emotiv Epoc, el cual es un sistema BCI (Brain Computer Interface) con características de señales EEG (Electroencefalogramas) compuesto por sus 14 electrodos, mediante la utilización de una tarjeta Raspberry Pi, modelo B la misma que por medio del módulo de bluetooth permite la adquisición de los datos EEG del sistema BCI, la tarjeta cuenta con el sistema operativo Python basado en lenguaje de programación Linux.

3.1.1 Diseño

De todas las técnicas de imágenes cerebrales que existen, la Electroencefalografía (EEG) es la más utilizada debido a su facilidad de manejo y los menores costos comparados con las demás. Éste es un procedimiento que consiste en medir las señales del cerebro con el fin de estudiar el sistema nervioso (Rangayyan, 2002). Se mide la actividad eléctrica de un grupo de células neuronales de la corteza cerebral o del cuero cabelludo. Contiene información física, fisiológica y patológica, por lo que se analiza y se procesa para diagnóstico médico de varias enfermedades cerebrales, y también es utilizado en investigaciones científicas de procesos cognitivos (Zhang, Yin, & Wang, 2011). Cuenta con las siguientes características:

- Son señales débiles y con fuerte ruido en el fondo. El promedio de la señal de EEG es de 50µV, el valor máximo es de 100µV.
- Es una señal aleatoria y no periódica en estado estacionario, es decir, sus propiedades estadísticas varían con el tiempo.

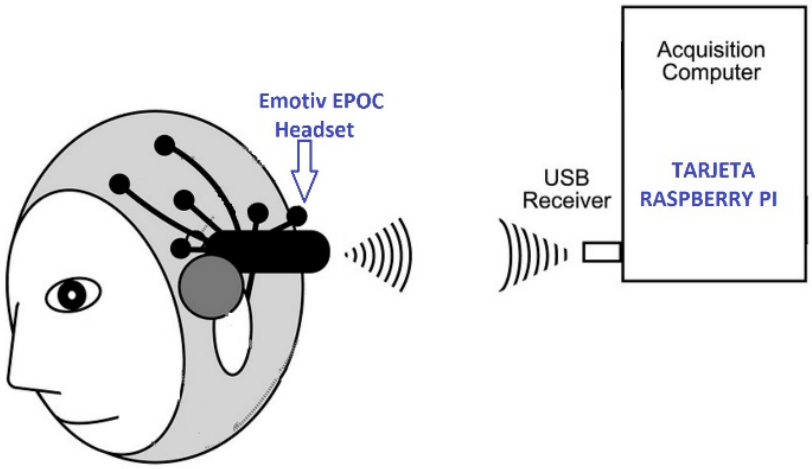


Figura 39. Modelo BCI Epoc EMOTIV y tarjeta Raspberry PI.

3.1.2 Mecanismos de comunicación

El Emotiv EEG se comunica a través de un protocolo inalámbrico patentado para un dongle USB conectado a la computadora host. El dongle USB identifica como un dispositivo HID USB, emitiendo informes de 32 bytes a una velocidad de 128 Hz cuando el auricular está encendido y dentro del alcance. Los datos siempre son escritos por el dongle y solo son leídos por el mismo.

Cada informe contiene la siguiente información:

- Contador de paquetes
- Nivel de la batería
- Contacto Calidad
- Contacto lecturas de los sensores
- Gyro lecturas de los sensores

3.1.3 Criptografía

Para asegurar que los datos en bruto sólo sean leídos por los que han pagado la licencia, cada dongle USB encripta los datos inalámbricos entrantes a través de una clave AES compuesta por el número de serie del dongle antes de emitirla como un

informe de HID. Se supone que los datos procedentes inalámbricamente hacia el dongle no están encriptados y toda la encriptación sucede en el dongle.

Se podría suponer que tendrían dongles seriales únicos, usados en el primer año o fase de desarrollo, esto no es necesariamente el caso ahora ya que podrían usarse los headsets con cualquier dongle .Sin embargo, los headsets posteriores tienen ahora seriales únicos para cada dongle USB.

3.1.4 Estrategia clave

Para crear una clave de 128 bits para descifrar los datos entrantes desde el dongle usb, primero tenemos que solicitar un informe característica del dispositivo que contiene si el dispositivo es un auricular de los consumidores o de investigación. Este hecho cambia la composición de la llave.

Los números de serie se buscan a través de la función de informe para el punto final HID. Los números de serie son de 16 cadenas de bytes del formato:

SNXXXXXXXXXXYYYY

Donde Xs y Ys son generalmente números. Los 4 últimos caracteres del número de serie son las que se utilizan para crear la clave. Es interesante notar que a veces los seriales tienen fechas incrustadas en ellos.

Para el headset de investigación, la clave se compone de los siguientes valores:

[15] 0x00 [14] 0x54 [13] 0x10 [12] 0x42 [15] 0x00 [14] 0x48 [13] 0x00 [12] 0x50

Para el headset del consumidor, la clave se compone de los siguientes valores:

[15] 0x00 [14] 0x48 [13] 0x00 [12] 0x54 [15] 0x10 [14] 0x42 [13] 0x00 [12] 0x50

Donde los números entre paréntesis son los índices de la cadena de serie recuperado del USB feature report descriptor. Así, por ejemplo, si un número de serie para un auricular consumidor es:

SN20120526998912

Los personajes que nos interesan son las últimas 4:
8 [0x38] 9 [0x39] 1 [0x31] 2 [0x32]

3.1.5 Análisis de paquetes

Paquetes de 32 bytes son recibidos desde el dispositivo USB a 128Hz. Actualizar tarifas dentro de ese paquete son:

- Los datos del sensor - 128Hz
- Datos Gyro - 128Hz
- Batería - 1 Hz
- Quality Sensor - 1 Hz-16 Hz (Dependiendo del sensor)

3.1.6 Distribución de paquetes

Una visión general del diseño de paquetes de 256 bits:

Tabla 7. Distribución de paquetes de datos.

Bit índices	Usado para
0:7	Contador / Batería
8:21	F3 datos
22:35	FC5 datos
36:49	AF3 datos
50:63	F7 datos
64:77	T7 datos
78:91	P7 datos
92:105	O1 datos
107:120	Calidad de la conexión
121:133	?
134:147	O2 datos
148:161	P8 Data
162:175	T8 de datos
176:189	F8 datos
190:203	AF4 datos
204:217	FC6 datos
218:231	F4 datos
233:239	Gyro X
240:247	Gyro Y
248:255	?

3.1.7 Contador y batería

El primer byte de cada paquete puede denotar una de dos cosas: el recuento de paquetes, o el nivel de energía de la batería.

Recuento de paquetes hace que los 7 bits más bajos del primer byte. Si el bit más alto es un 1, entonces se retransmite el nivel de la batería. Esto sucede una vez por segundo.

Recuento de paquetes va desde 0 hasta 127, entonces transmite un paquete de energía de la batería, y luego nuevamente 0. Esto se puede utilizar para detectar paquetes perdidos. El paquete de energía de la batería siempre tendrá el mayor conjunto de bits a 1. Recuento de la batería se lee a través de esta tabla:

Tabla 8. Contador y batería.

Valor	Nivel de batería (%)
>= 248	~100
247	99.93
246	97.02
245	93.40
244	89.45
243	85.23
242	81.89
241	76.77
240	71.54
239	66.59
238	61.92
237	55.37
236	45.93
235	32.34
234	20.43
233	12.37
232	5.08
231	3.63
230	2.80
229	2.05
228	1.42
227	0.88
226	0.42
225	0
< 225	~0

3.1.8 Lectura de los sensores

Las lecturas de los contactos están disponibles como 14 valores de bits, con cada sensor que envía a 128Hz. Los valores se intercalan en todo el paquete.

3.1.9 Calidad de los sensores

La calidad del sensor consiste de 14 bits, y se refiere a la calidad de contacto del sensor como una amplitud de la señal de calibración. El contexto sensor es un campo de cambios basándose en el valor del contador de paquetes en el primer byte. Por ejemplo, un valor de contador de 1 significa que el paquete está mostrando la calidad para FC5 sensor, mientras que un valor del contador de 2 significa que el paquete está mostrando la calidad de sensor AF3, y así sucesivamente.

La siguiente lista muestra el orden en que los sensores se enumeran en, en relación con el contador, empezando con contador = 0.

Tabla 9. Lectura de contactos y calidad de las señales.

Índice del Contador	Contacto
0	F3
1	FC5
2	AF3
3	F7
4	T7
5	P7
6	O1
7	O2
8	P8
9	T8
10	F8
11	AF4
12	FC6
13	F4
14	F8
15	AF4
16-63	Indefinido
64	F3
65	FC5
66	AF3
67	F7
68	T7
69	P7
70	O1
71	O2
72	P8
73	T8
74	F8
75	AF4
76	FC6
77	F4
78	F8
79	AF4
80	FC6
..	77-80 patrón se repite hasta que el contador golpea 127

Para obtener una lectura útil, dividir cada lectura por 540. Un valor de 0,8 a 1,0 significa un "buen" contacto.

3.1.10 Giroscopio

Las lecturas del giroscopio están disponibles para 2 ejes (cabeza giró a la izquierda/derecha y adelante/atrás). Estos son valores de 8 bits que se actualizan a una velocidad de 128 Hz, con 7 bits de resolución a cada lado del punto medio para la vuelta.

3.1.11 Adquisición de datos del sistema BCI

Para el desarrollo de la adquisición de datos usamos el lenguaje de programación Python ya que se puede desarrollar en varios sistemas operativos y es de código abierto para los usuarios.

Una característica principal de Python es la librería OS, la cual le permite interactuar con diferentes sistemas operativos Windows, Mac o Linux.

Para empezar la adquisición de datos el software debe identificar al dongle USB, a través de la librería Libusb recopilamos los datos vendor_id y product_id, con estos valores determinamos si el dongle pertenece a la versión comercial o la de investigación.

El siguiente paso es tomar la cadena de datos que proporciona el dongle y guardarlo con un arreglo, Python permite esto a través de la librería NumPy que es una extensión para el lenguaje de programación, añadiendo soporte para grandes arreglos y matrices multidimensionales, junto con una amplia biblioteca de funciones matemáticas de alto nivel para operar en estas matrices.

El proceso de criptografía para obtener los valores antes mencionados lo hacemos con la librería Cryto, un kit de herramientas de criptografía que tiene por objeto proporcionar una base fiable y estable para escribir programas en Python que requieren funciones criptográficas.

Al final se muestra en una ventana Terminal de Linux todos los datos que son transmitidos desde el headset EPOC EGG hasta su respectivo dongle.

En esta primera fase de investigación empezamos a investigar el serial del EPOC EGG y así determinamos los seriales que nos permitirían acceder a los datos del headset, con todo este análisis desarrollamos el código para la adquisición de datos y obteniendo resultados satisfactorios.

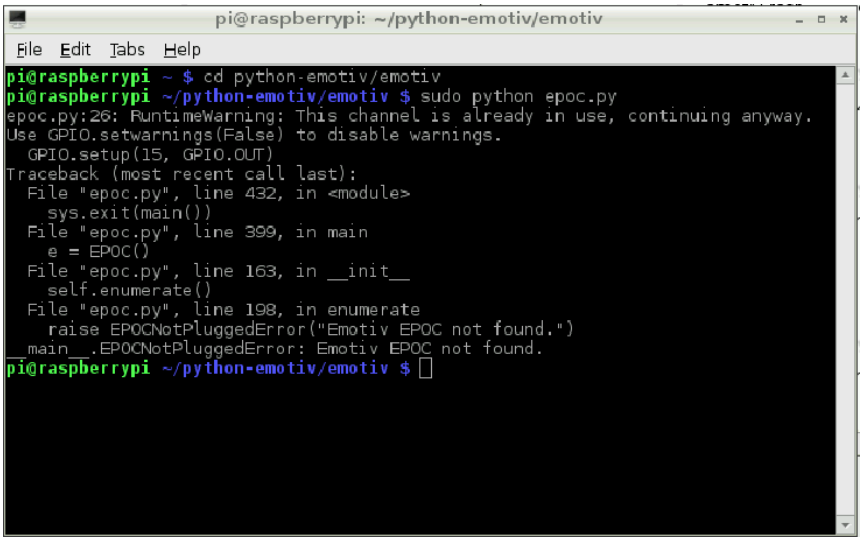


Figura 40. Adquisición de datos terminal.

Como podemos observar en esta captura de terminal, el programa busca las características del dispositivo USB que está conectado, al no encontrar el dongle EPOC EGG se produce un error y el programa no pasa de este punto.

Debemos asegurarnos que nuestro dispositivo dongle EPOC esté conectado a unas de las terminales USB 2.0 de la tarjeta de procesamiento Raspberry PI.

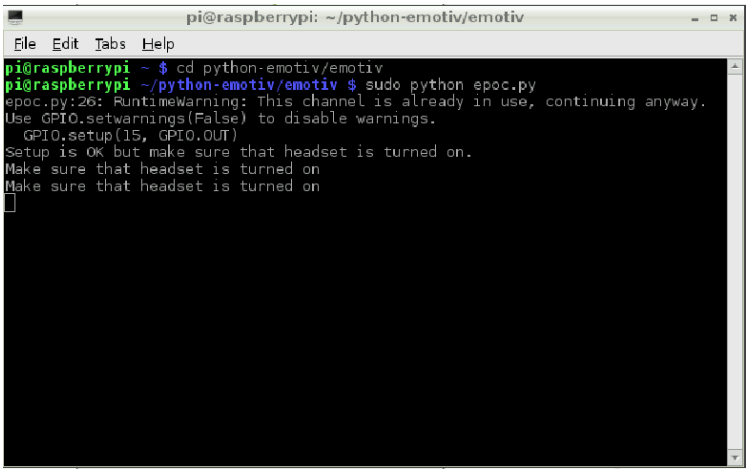


Figura 41. Adquisición de datos terminal.

Antes que el dongle nos envíe la datos de los sensores, este verifica que este encendido y el serial del headset para que empiecen a llegar de forma inalámbrica.

Se buscó desarrollar un programa que se de fácil manejo para cualquier tipo de usuario ya que el fin del mismo es llegar a cualquier tipo de consumidor.

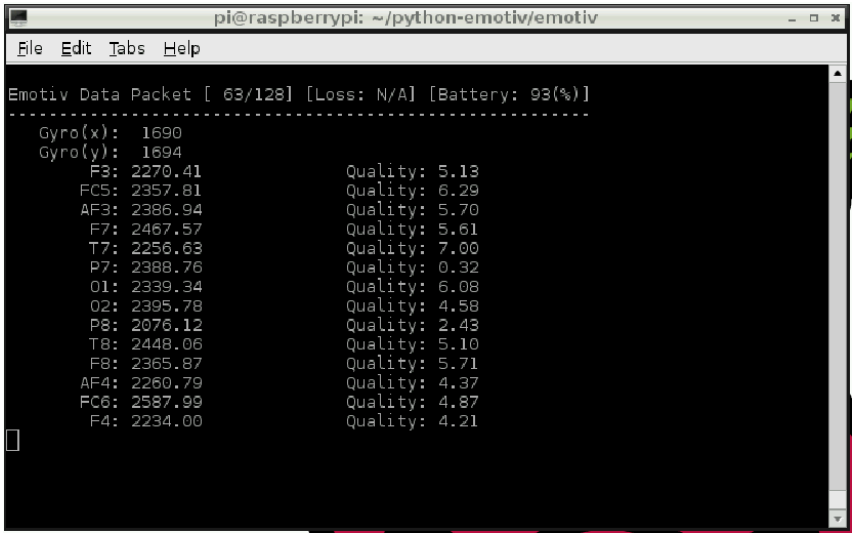


Figura 42. Resultados de la adquisición de datos terminal.

Lo siguiente es mostrar al usuario todos los datos que proporciona el headset EPOC EEG al usuario, como se puede ver en la figura 9, podemos apreciar todos los datos relevantes antes mencionados.

3.2 Desarrollo del procesamiento digital de señales

El proceso de tratamiento de señales es una parte medular en el desarrollo de un sistema BCI que ya debemos considerar diversos factores que determinan que nuestro sistema sea el óptimo para la aplicación que deseamos llevar a cabo.

Las señales neuronales que nos entrega el casco sensorial EPOC Emoiv tienen características que se debe tomar en cuenta antes de empezar el análisis de las mismas.

En el siguiente cuadro se muestran las principales características de las señales EGG EPOC.

Tabla 10. Características de las señales EEG.

	Headset EGG
Número de Canales	14(plus CMS/DRL referenciales)
Nombres de los Canales	AF3, F7, F3, FC5, T7, P7, O1, O2, P8, T8, FC6, F4, F8, AF4
Método de Muestreo	Muestreo secuencial. Single ADC
Tasa de Muestreo	128 SPS (2048 Hz internal)
Resolución	14 bits 1 LSB = 0.51µV (16 bit ADC, 2 bits instrumental noise foor discarded)
Ancho de Banda	0.2 - 45Hz, filtros digitales notch a 50Hz y 60 Hz
Filtraje	Filtro digital Sinc de 5to orden
Rango dinámico	8400 uV(pp)
Modo de acoplamiento	Acoplamiento AC
Conectividad	Inalámbrica en la banda de 2.4 GHz
Batería	Litio
Tiempo útil de batería	12 horas
Medida de Impedancia	Sistema patentado para medir la calidad de los contactos en tiempo real.

Con las características que no proporciona el fabricante del equipo, podemos darnos cuenta que tipo de señales vamos a procesar.

3.2.1 Filtraje de señales.

Para analizar y entender las señales que nos proporcionarían los sensores de un electro encefalograma, primero deben pasar por una fase de filtrado. Esta nos permite eliminar el ruido que se introduce de forma natural a nuestras mediciones.

Un proceso que involucre un mejor filtraje significa que las señales EEG tienen menos ruido por lo cual resulta en un mejor análisis, para ello se deber determinar qué tipo de filtro aplicaríamos. El filtro adecuado para señales EEG son los filtros pasa banda ya que nos permite analizar en un ancho de banda adecuado, pero un filtro dependiendo del tipo y el orden representa un elevado coste computacional.

Por ello los diseñadores del EPOC Emotiv han considerado realizar el filtraje en la parte de pre procesamiento. Los filtros que tiene el dispositivo EPOC son los siguientes:

- Filtro pasa bajo con frecuencia de corte 45Hz
- Filtro pasa alto con frecuencia de corte 0.2Hz
- Filtro Notch a 50Hz y 60Hz.

Estos filtros se encuentran integrados de manera física a la tarjeta de adquisición de datos del casco sensorial, después de esto son enviados a través de una conexión inalámbrica al usuario.

3.2.1.1 Análisis de filtros para señales EEG.

Para determinar que un filtro es adecuado para las señales que deseamos procesar existen muchas herramientas a nuestro alcance. Matlab es una herramienta que contiene muchas aplicaciones para el diseño de filtros.

El paquete de diseño de filtros fdatool nos permite realizar y analizar tanto en el dominio del tiempo y la frecuencia los diferentes tipos de filtros, los cuales usaremos en el tratamiento de las señales EEG.

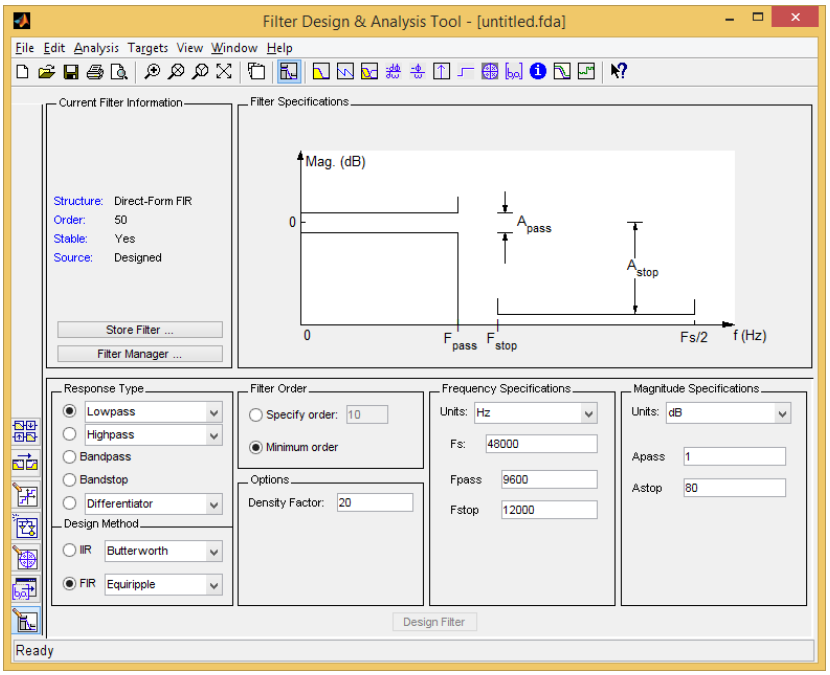


Figura 43. Paquete FDAtool Matlab.

Como podemos ver en la figura 43 se nos despliega una ventana en la que podemos observar y manipular las diferentes opciones de la aplicación de Matlab para el diseño de filtros. En esta parte iremos ingresando los valores de nuestro filtro para determinar el orden del mismo y veremos además su respuesta en frecuencia.

La banda de frecuencia que analizaremos corresponde a la banda theta (4Hz - 8Hz), muchos estudios han demostrado que se logra apreciar señales significativas al realizar diferentes gestos faciales. Para el primer diseño ingresamos los siguientes valores:

- Frecuencia de muestreo: 120Hz
- Frecuencia de corte inferior: 4Hz
- Frecuencia de Corte Superior: 8Hz

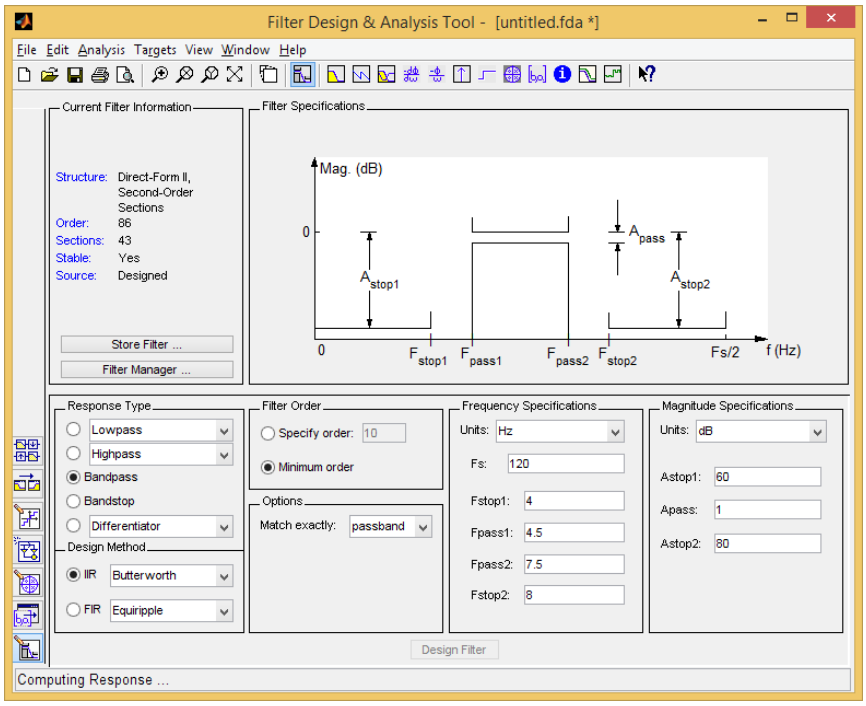


Figura 44. Ingreso de datos en el filtro.

Como se puede observar en la figura anterior escogimos in filtro pasa banda IIR Butterworth y nos dio como resultado que el mínimo orden que necesitamos es de 86, además de su respuesta en frecuencia.

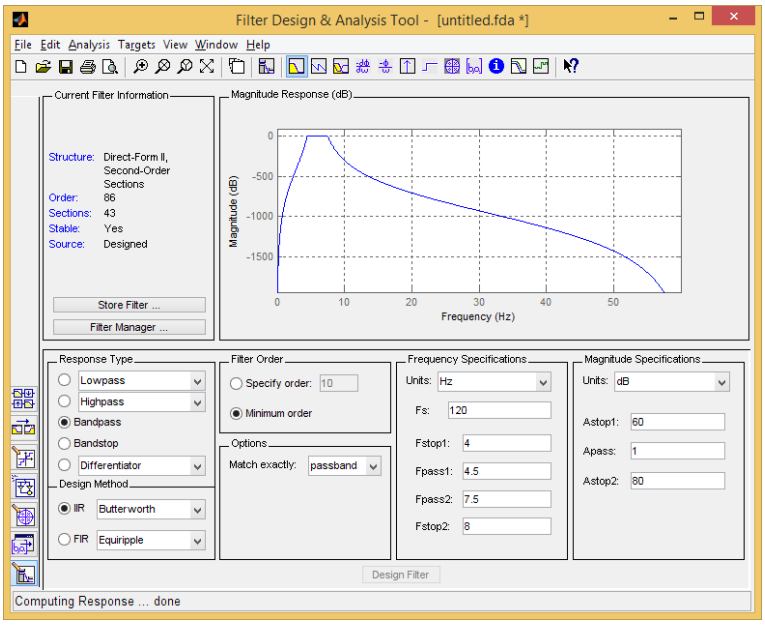


Figura 45. Respuesta en Frecuencia filtro Butterworth orden 86.

Con este resultado en frecuencia del filtro Butterworth sacamos como conclusión que no podemos utilizarlo, se puede observar claramente que deja pasar frecuencias

entre 0 y 58Hz, además que la implementación de un filtro de orden 86 en sistemas embebidos que tienen un hardware limitado representa un elevado costo computacional.

Ahora realizaremos el análisis para un filtro Chebyshev - tipo 2 en el mismo rango de frecuencias y así determinar si cumple con las condiciones de diseño planteadas.

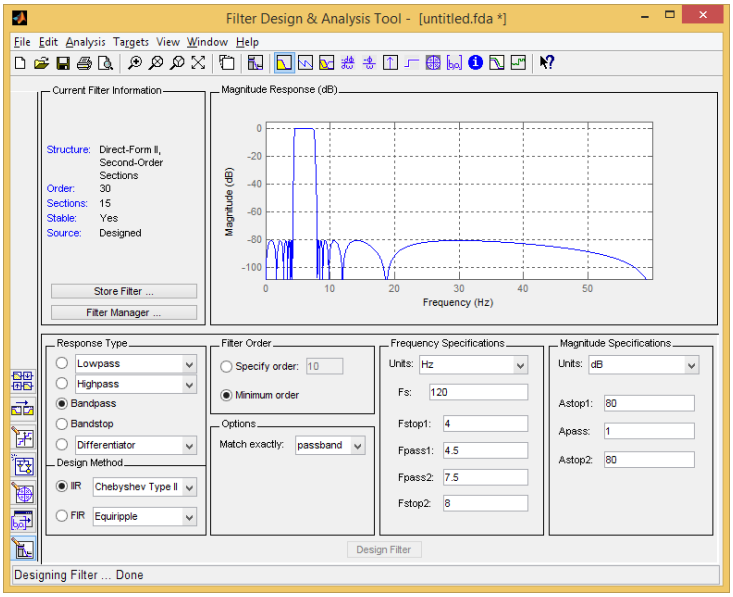


Figura 46. Filtro Chebyshev.

Como se puede observar en la figura 46 podemos apreciar que la respuesta en frecuencia mejora en comparación con el anterior filtro, también se determinó que el orden debe ser 30 para cumplir con los parámetros de diseño, esto representa un costo computacional mucho menor para la tarjeta Raspberry.

En esta última parte veremos cómo es la respuesta del filtro a los datos sensoriales del sistema, para ello guardaremos en un archivo de Excel los valores de los sensores por una determinada cantidad de tiempo, determinamos que el tiempo promedio para cualquier tipo de gesto está entre 1 a 2 segundos.

Necesitamos importar los datos de los sensores a Matlab y exportar el filtro desde la aplicación FDAtool para comprobar su comportamiento, en la siguiente figura podemos observar el procedimiento.

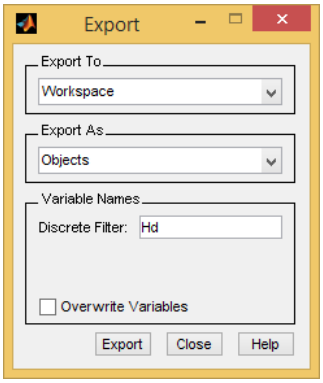


Figura 47. Exportar Filtro.

Una vez grabado el filtro dentro de la variable procedemos a correr el programa con los datos reales. En la siguiente figura podemos observar los resultados obtenidos.

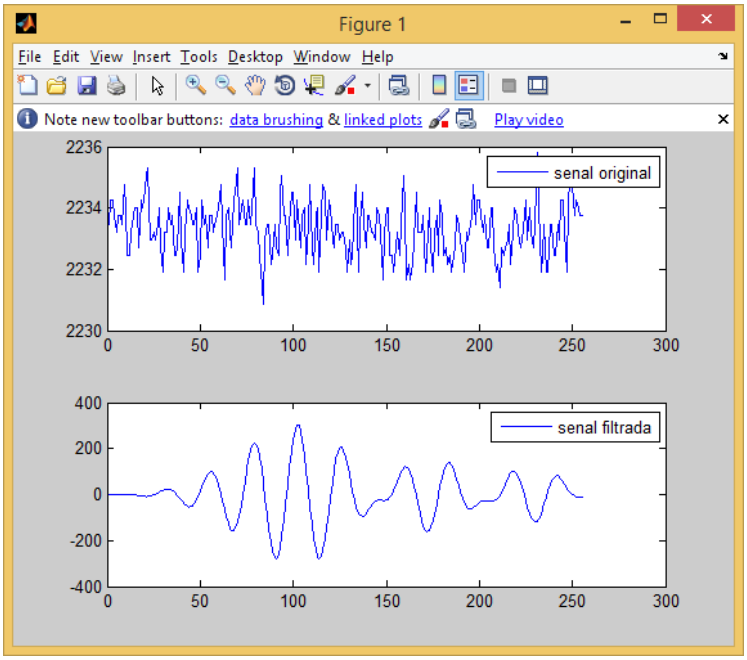


Figura 48. Señal EGG original y filtrada.

En la figura anterior podemos observar una muestra de señal EEG, la cual se obtuvo al añadir un script a nuestro programa principal que tenía por objetivo guardar la información con una resolución de 128 muestras.

En la señal original podemos observar el comportamiento de uno de los sensores lo cual resulta con muchas variaciones por eso se hace imprescindible el uso de filtros

para su análisis, en la parte inferior se observaremos la señal filtrada con un Chevishev Tipo 2 lo cual resulta mucho más suave y con menos perturbaciones.

Para comprobar que el filtro funciona de forma óptima, debemos realizar el análisis en el dominio de la frecuencia como se puede observar en la siguiente figura.

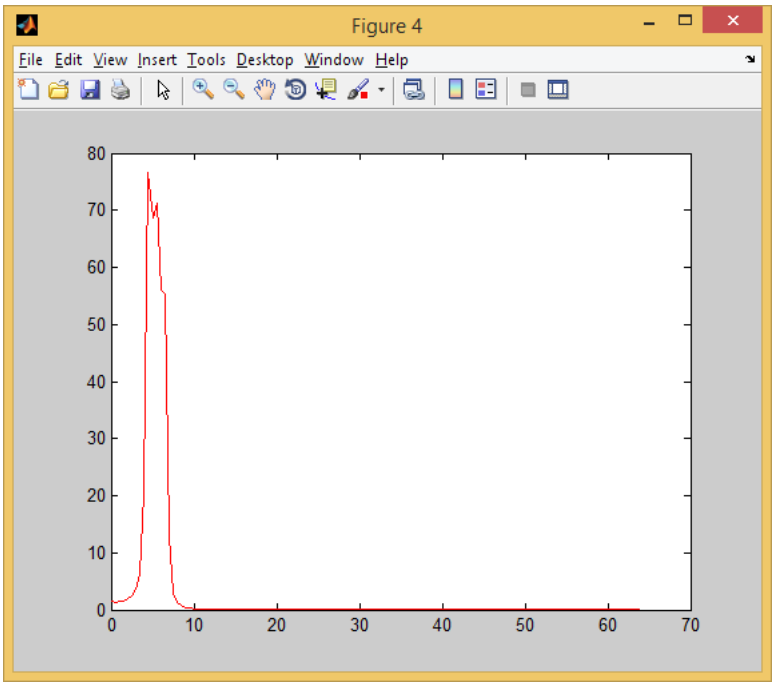


Figura 49. Transforma de Fourier señal filtrada.

Se puede comprobar que la información filtrada corresponde a una señal tipo EEG, la cual paso por un proceso de filtraje en el rango de frecuencias 4Hz a 8Hz (Banda Theta) y además se puede observar que en ese instante de tiempo la señal presenta una alta potencia en la banda de frecuencias Theta.

3.3 Diseño de arreglo de micrófonos

Para un correcto funcionamiento del sistema de captura de señales de audio vamos a especificar los parámetros en descripción del arreglo de micrófonos, entre las cuales destacan el número de micrófonos, tipo de micrófonos, numero de fuentes de audio, ruido, disposición de los micrófonos y tipo de ambiente.

3.3.1 La fuente de sonido

La fuente de sonido puede provenir de varias fuentes como la voz humana, instrumentos musicales, ruido ambiental y es de vital importancia identificar qué tipo de señal deseamos amplificar.

Ya que el objetivo propuesto es diseñar un arreglo de micrófonos para amplificar la voz humana, se determinó que otra fuente de audio son señales no deseadas por el usuario, ya que estas pueden presentarse como señales deseadas y no deseadas y las mismas también podemos clasificarlas como directas o indirectas.

Para el desarrollo especificaremos que las señales que lleguen a cada micrófono sean deseadas y directas, para simular el efecto beamforming que se presenta naturalmente en un ser humano al estar en varias fuentes de señales de audio.

La acústica de una habitación o espacio es comúnmente tan importante como la fuente de sonido misma. La acústica de un espacio es una función del tamaño y la forma del mismo, los materiales que cubren las superficies interiores, e incluso la presencia de la congregación. La naturaleza acústica de un área puede tener un efecto negativo o positivo sobre el sonido producido por voces, instrumentos y bocinas antes de ser recogida o escuchada por los oyentes: puede absorber o disminuir algunos sonidos mientras refuerza otros (Vear 2010).

Para cualquier tipo de diseño de arreglo de micrófonos debemos realizar pruebas en un ambiente cerrado, esto significa que esté libre de ruido ambiental y otras fuentes de ruido.

También se consideró que el número apropiados de fuente de señales de voz debe ser igual o menor al número de micrófonos del arreglo propuesto, si existen mayores fuentes de audio puede generar en señales no deseadas para el usuario.

3.3.2 Tipo de micrófono

Para el arreglo de micrófonos se empleó micrófonos electret o de condensador, debido que estos presentan la mejor respuesta la frecuencia general, hace que este micrófono la elección en muchas aplicaciones de grabación.

En la figura 50 podemos observar la estructura interna del micrófono electret o de condensador, en las cuales destacan el tipo de condensador para convertir las señales audibles a señales eléctricas.

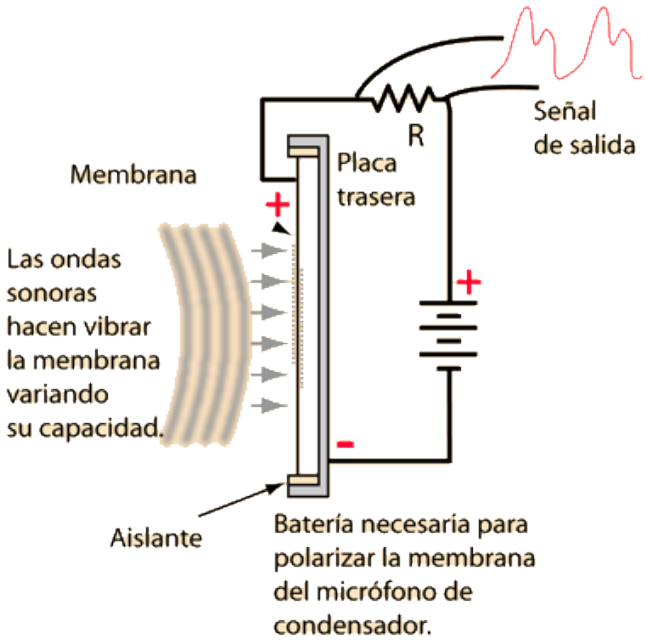


Figura 50. Estructura de micrófono electret.

Fuente: (Olmo, 2008)

El funcionamiento del micrófono electret es sencillo ya que la presión del sonido cambia el espaciamiento entre una delgada membrana metálica y una placa posterior estacionaria, un cambio en el espaciamiento de las placas originará un cambio en la carga del capacitor y forzará una corriente a través de la resistencia. Esta corriente es una imagen de la presión del sonido.

Para lo cual adquirimos micrófonos de PC de la marca Genius, estos productos tienen una buena calidad de captura de voz y su costo es reducido en comparación con los de tipo profesional.

Figura 51. Micrófono Electret Genius.
(Genius-Manual, 2003)

En la anterior figura podemos apreciar el micrófono empleado, de lo cual destaca es su diseño ergonómico para localizarlo en diferentes posiciones.

3.3.3 Arreglo de micrófonos

Mediante el arreglo de micrófonos un receptor puede discriminar entre diferentes señales incidentes, dependiendo de cuál sea su localización espacial de las mismas. Este arreglo es la manera más sencilla de mejorar una señal. Si deseamos un punto específico dentro del arreglo se aumenta la captación de la señal de audio mientras que se atenúan las señales procedentes de otras fuentes que no se encuentren dentro de ese punto.

El objetivo del arreglo de micrófonos en nuestro sistema es tener a la salida del procesador una señal de audio de un punto determinado por el usuario atenuando o cancelando por completo otras fuentes de sonido.

3.3.4 Diseño

Basado en lo especificado de los ítems anteriores, para el diseño del arreglo de micrófonos que formara parte del casco será un arreglo de 3 micrófonos electret omnidireccionales mostrados de la siguiente manera:

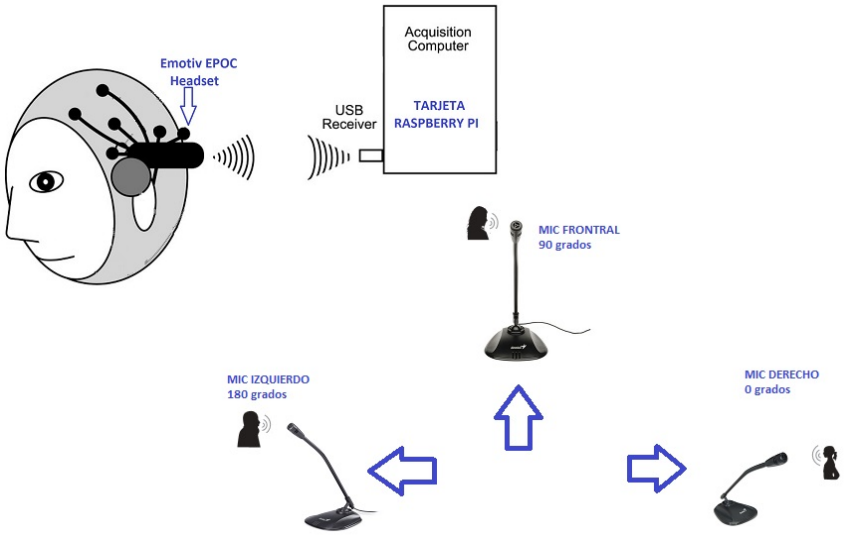


Figura 52. Propuesta del diseño del sistema embebido.

En la anterior figura podemos observar la disposición de los micrófonos con respecto al usuario, en el desarrollo del sistema determinamos que el número adecuado sería de tres micrófonos dispuestos al frente, derecha e izquierda.

Con este arreglo se logra sectorizar la parte frontal del sujeto, haciendo que se optimice los lugares de mayor interés cuando se encuentra con varias fuentes de sonido, estas están ubicados a 0°, 90° y 180°.

Como modelo de estudio e implementación del arreglo de micrófonos se obtuvo resultados lo cual podemos se realizará un análisis del hardware que se encuentra en el siguiente capítulo.

3.4 Diseño del controlador difuso del sistema.

3.4.1 Lógica difusa

La denominada lógica difusa permite a los sistemas tratar con información que no es exacta; es decir, dicha información contiene un alto grado de imprecisión, contrario a la lógica tradicional que trabaja con información defendida y precisa.

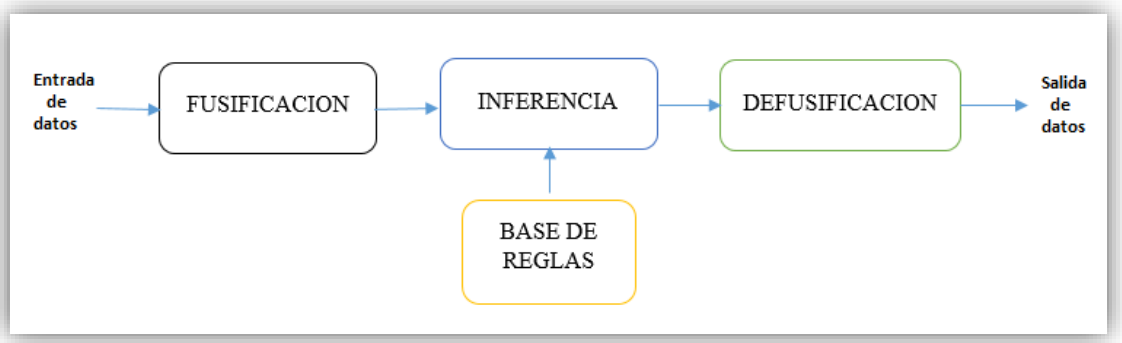


Figura 53. Sistema basado en técnicas de lógica difusa.

En un controlador difuso se ejecuta tres pasos de procesamiento:

- Fusificación
- Inferencia
- Defusificación

El diseño de un controlador difuso contiene la selección de variables de entrada/salida, el establecimiento de funciones de pertenecía y la disposición de la base de reglas.

3.4.1.1 Fusificación

La fusificación tiene como objetivo convertir valores reales en valores difusos. En la fusificación se asignan grados de pertenencia a cada una de las variables de entrada con relación a los conjuntos difusos previamente definidos utilizando las funciones de pertenencia asociados a los conjuntos difusos.

3.4.1.2 Inferencia

La inferencia relaciona los conjuntos difusos de entrada y salida para representar las reglas que definirán el sistema. En la inferencia se utilizan la información de la base de conocimiento para generar reglas mediante el uso de condiciones, por ejemplo: si caso 1 y caso2, entonces acción 1.

3.4.1.3 Defusificación

La defusificación realiza el proceso de adecuar los valores difusos generados en la inferencia en los valores que posteriormente se utilizaran en el proceso de control. En la defusificación se utilizan métodos matemáticos simples como el método de centroide, método de promedio ponderado y método de membresía de medio del máximo.

3.4.2 Pasos para diseñar un controlador difuso

Se debe tener en cuenta los siguientes pasos.

3.4.2.1 Selección de las variables de entrada y salida

Durante las pruebas previas de funcionamiento del sistema emotiv epoc headset mediante la observación del comportamiento de cada uno de los 14 sensores que posee este equipo, se escogieron 4 de ellos los mismos que entregan mayor información en cuanto a los gestos necesitados para el control del arreglo de micrófonos.

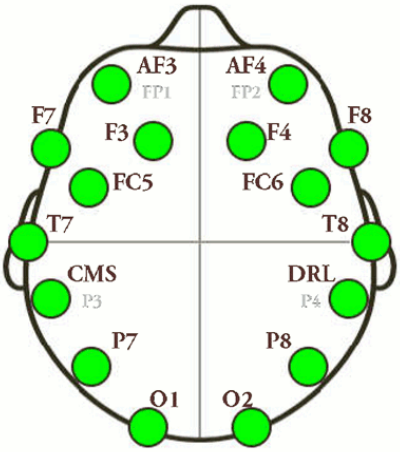


Figura 54. Posición de los sensores del emotiv epoc headset.

Tabla 11. Entradas del controlador.

N° de entrada	Descripción	Variable
Entrada 1	Posición 3 del sensor	F7
Entrada 2	Posición 4 del sensor	T7
Entrada 3	Posición 5 del sensor	P7
Entrada 4	Posición 9 del sensor	T8

3.4.2.2 Rango de operación de las variables de entrada y salida

Se hace referencia al límite de las entradas.

Tabla 12. Límites de las variables.

Variables de entrada	Mínimo	Máximo
F7	2340	3500
P7	2110	3500
T7	2320	3500
T8	2600	3500

3.4.2.3 Definición de grados de pertenencia

El proceso de fusificación permite que las entrada del sistema tengan un grado de pertenecía definida para cada variable.

Las variables de la primera correlación, definidas por las dos expresiones lingüísticas:

- T7 mínimo (T7NB)
- T7 máximo (T7NA)
- P7 mínimo (P7NB)
- P7 máximo (P7NA)

Las variables de la segunda correlación, definidas por las dos expresiones lingüísticas:

- F7 mínimo (F7NB)
- F7 máximo (F7NA)
- T8 mínimo (T8NB)
- T8 máximo (T8NA)

La señal de control de acuerdo a las expresiones faciales o gestos están definidas por las siguientes cuatro expresiones lingüísticas:

- Gesto a la derecha (GD)
- Gesto a la izquierda (GI)
- Gesto relajado (GF)
- Estado no interesa (NI)

3.4.2.4 Desarrollo de reglas

Para el desarrollo de la base de reglas las mismas que combinan de las premisas de entrada con las premisas de salida, como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 13. Conjunto de reglas.

	CORRELACION 2			
CORRELACION 1	F7NB	F7NA	T8NB	T8NA
T7NB	GF	NI	GF	NI
T7NA	NI	NI	NI	GD
P7NB	GF	NI	GF	NI
P7NA	NI	GI	NI	NI

3.4.3 Diseño del controlador

Para el diseño del controlador se utilizó la herramienta *Fuzzy Logic Toolbox* de MATLAB, accediendo con solo digitar la palabra fuzzy.

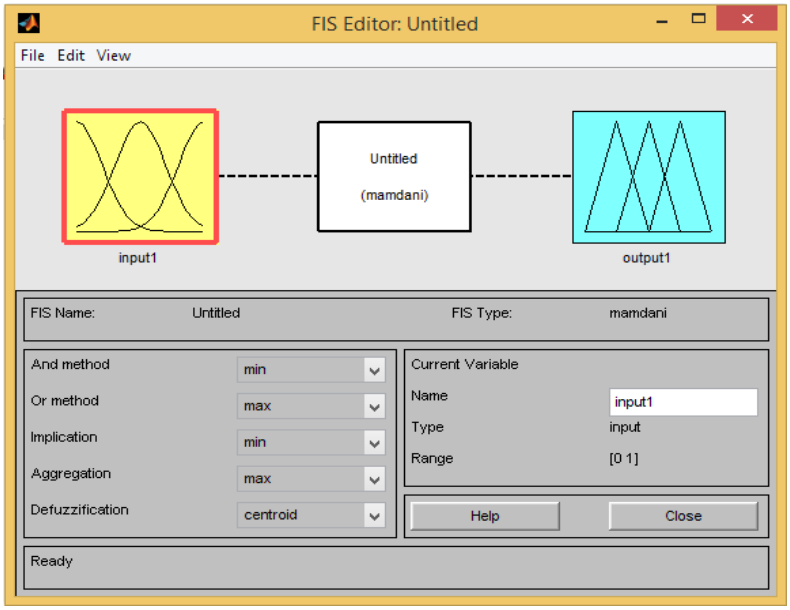


Figura 55. Menú principal del Fuzzy Toolbox, FIS Editor.

Ingreso y designación de las respectivas entradas en este caso las variables de los sensores F7, P7, T7, T8 y la salida del sistema difuso al cual llamaremos GESTO.

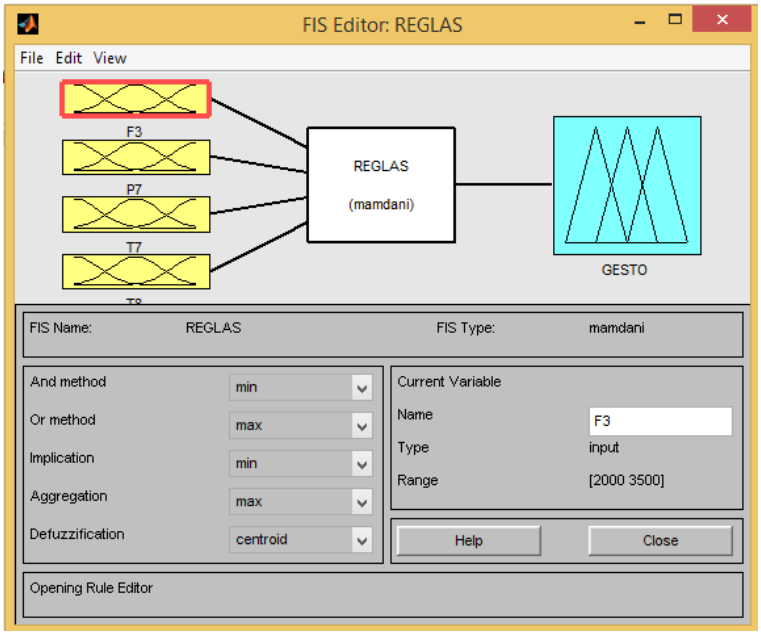


Figura 56. Ingreso de las entradas del sistema.

A continuación se ingresan los límites de cada variable como se puede observar en las siguientes figuras, la configuración de los sensores F3, P7, T7 y T8.

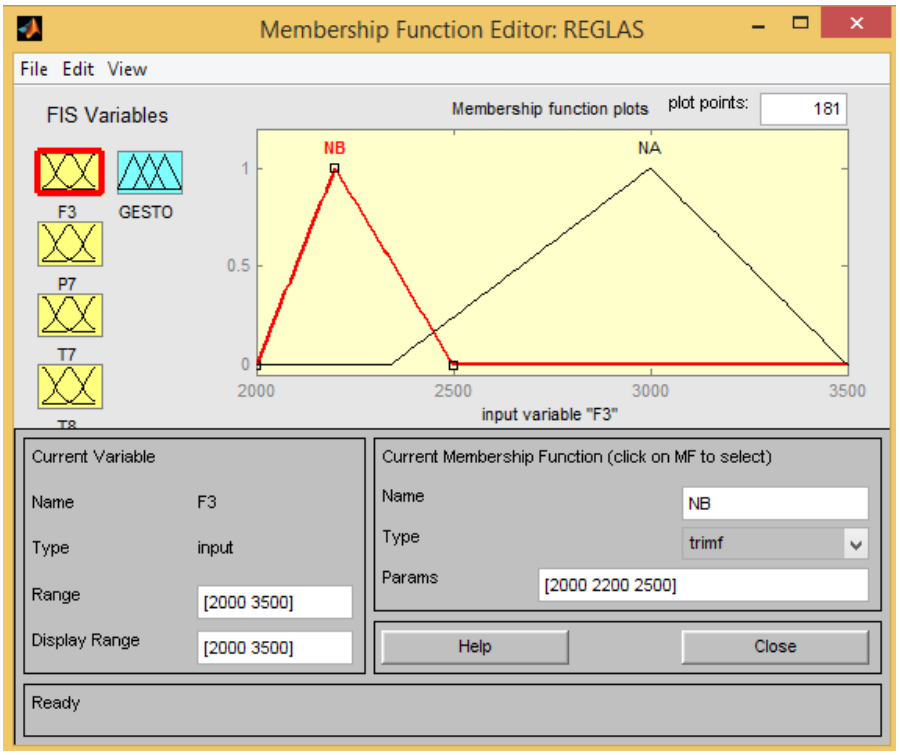


Figura 57. Membresías y límites de la entrada 1.

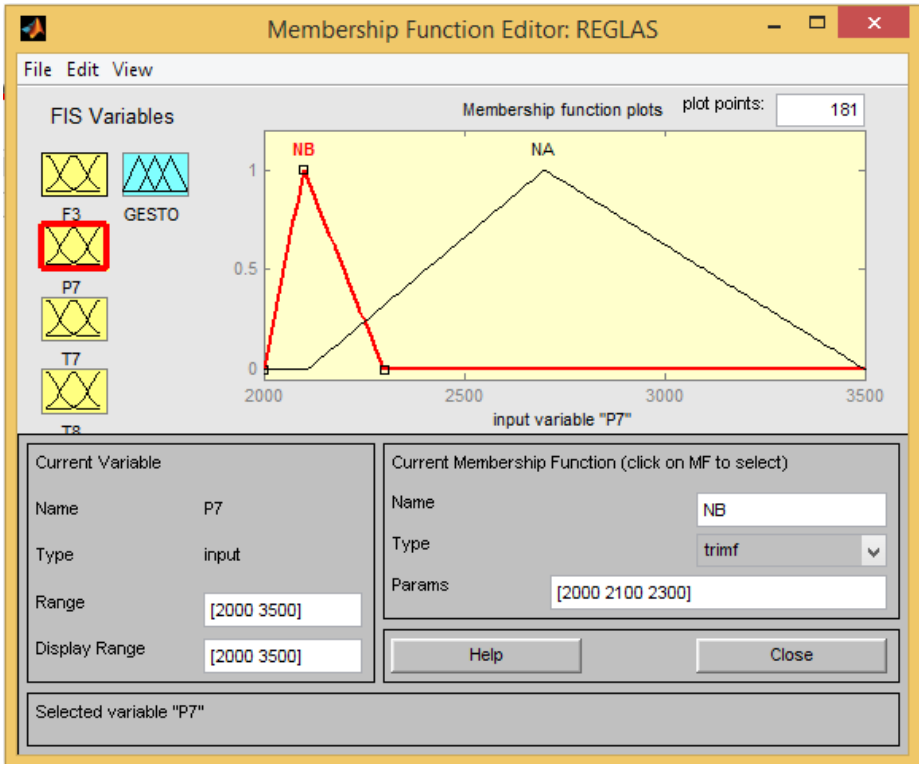


Figura 58. Membresías y límites de la entrada 2.

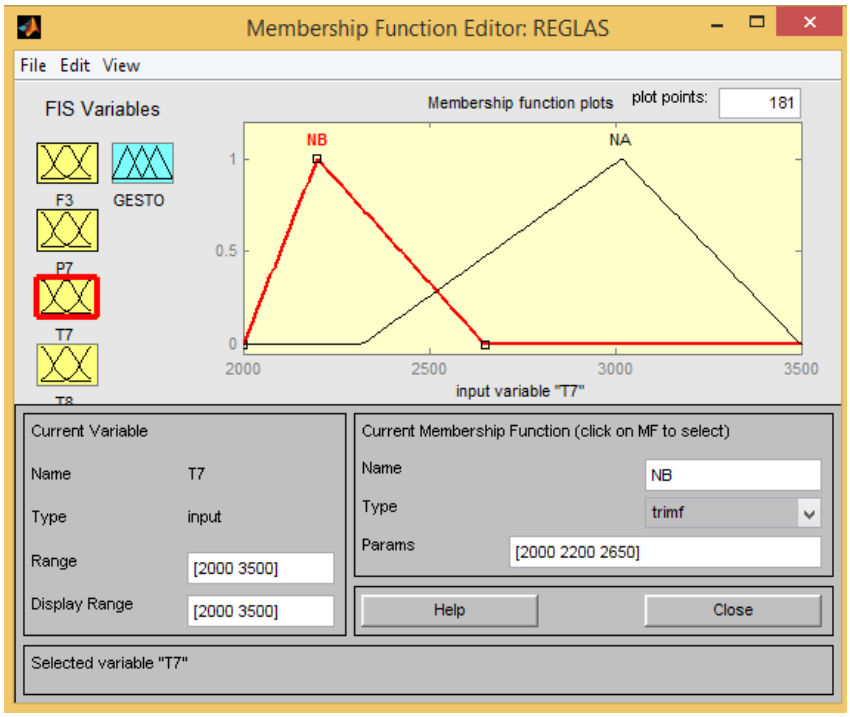


Figura 59. Membresías y límites de la entrada 3.

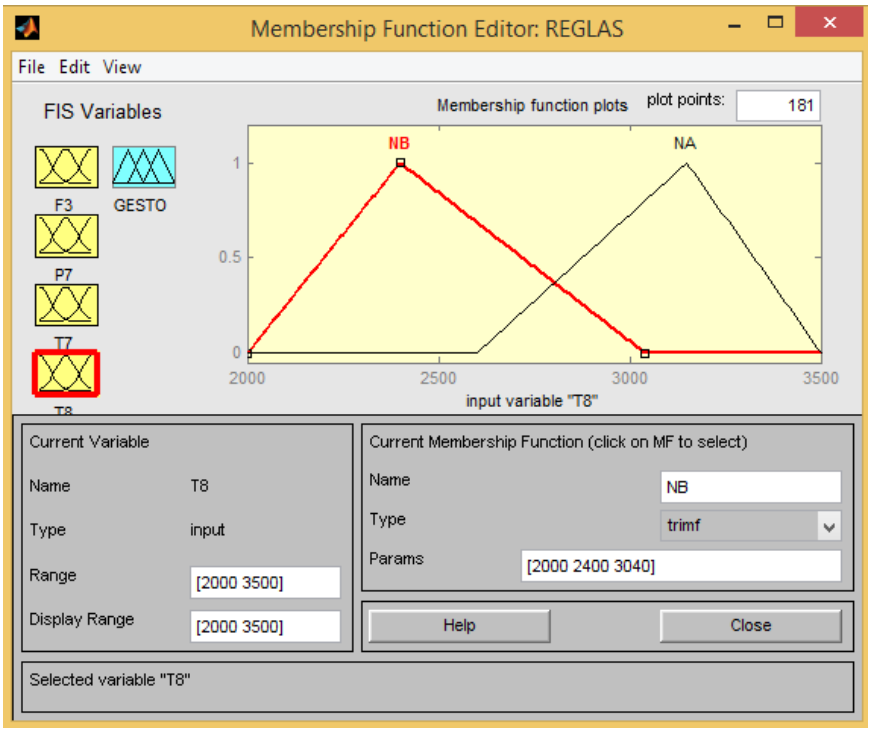


Figura 60. Membresías y límites de la entrada 4.

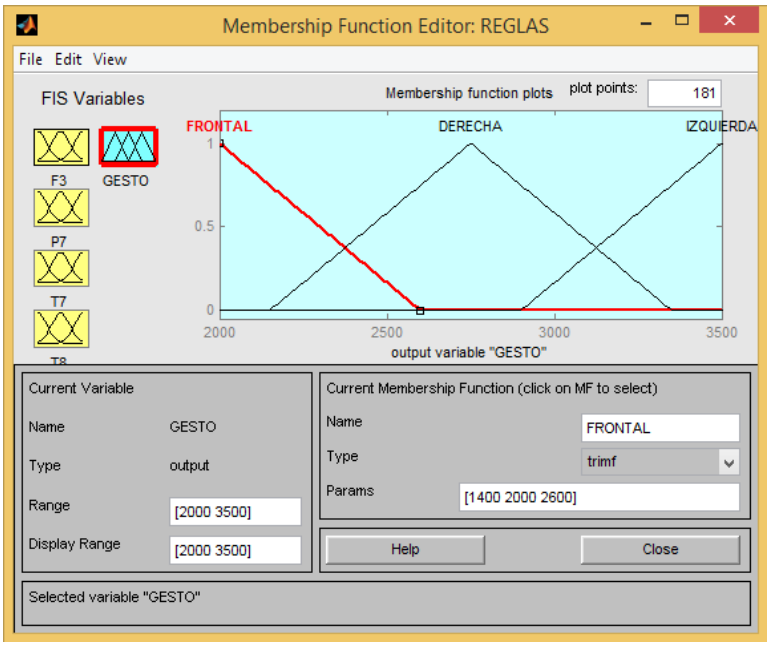


Figura 61. Salida del sistema difuso.

El conjunto de reglas es el aprendizaje del controlador respecto de lo que se debe hacer para controlar el proceso en este caso el reconocimiento de los gestos.

Es un conjunto de instrucciones del tipo IF condición y THEN consecuencia.

La condición del proceso que se evalúa y la consecuencia es la acción que tomará el controlador. Cada condición está formada por términos de variables lingüísticas con su respectivo valor lingüístico conectados mediante funciones lógicas AND u OR.

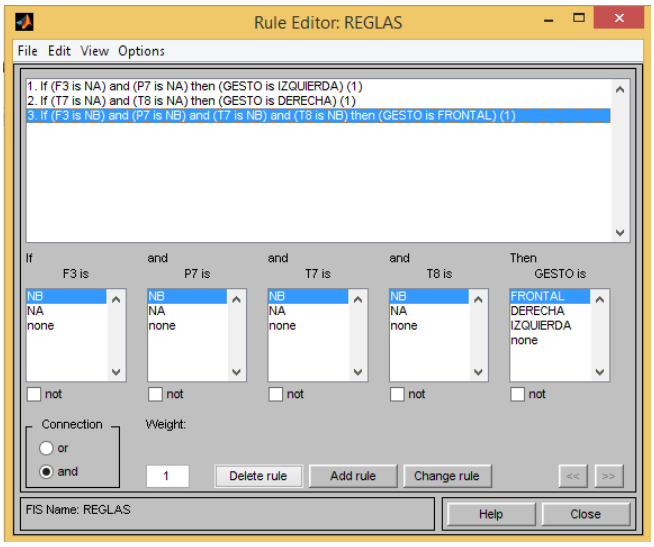


Figura 62. Conjunto de reglas del sistema difuso.

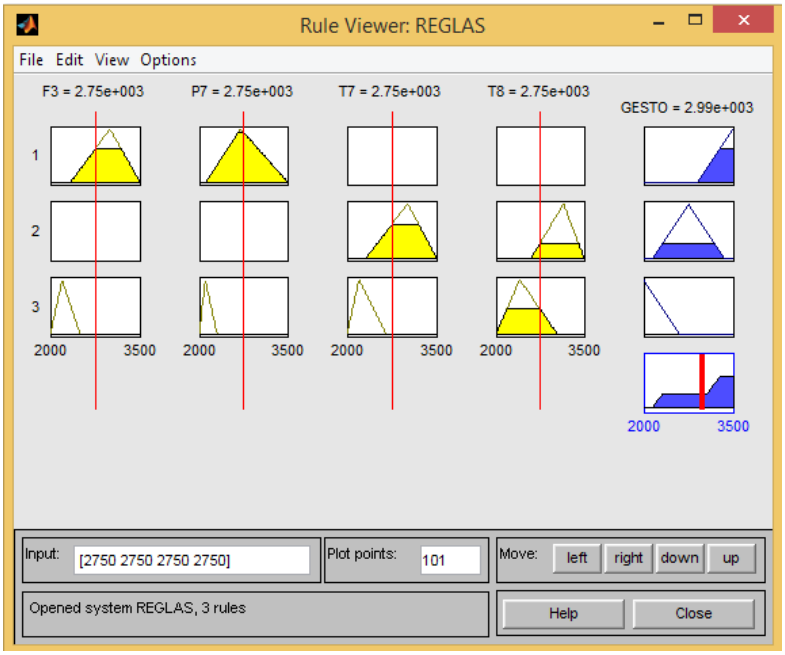


Figura 63. Vista y verificación de las reglas.

CAPITULO IV

IMPLEMENTACIÓN Y RESULTADOS

4.1 Implementación del sistema embebido

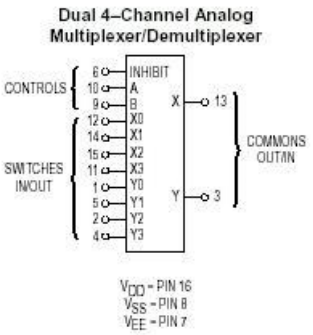
De manera general todo el sistema embebido para su puesta en funcionamiento se necesitaron de varios componentes como se indicó en el segundo capítulo como son:

- Emotiv EPOC headset kid.
- Raspberry PI modelo B.
- Wolfson audio card.

Finalmente para el arreglo de micrófonos se realizó el diseño e implementación del circuito multiplexor, detallado a continuación.

4.1.1 Circuito multiplexor para los micrófonos

Para poder comandar la activación y desactivación de los micrófonos por medio de las señales de control enviadas desde la tarjeta Raspberry PI se utilizó el circuito integrado 4052 el cual es un multiplexor análogo.



APPLICATIONS

- Analog multiplexing and demultiplexing
- Digital multiplexing and
- demultiplexing
- Signal gating

FUNCTION TABLE

INPUTS			CHANNEL ON
$\overline{E}$	S_1	S_0	
L	L	L	$nY_0 - nZ$
L	L	H	$nY_1 - nZ$
L	H	L	$nY_2 - nZ$
L	H	H	$nY_3 - nZ$
H	X	X	none

Notes

1. H = HIGH voltage level
   L = LOW voltage level
   X = don't care

Figura 64. Multiplexor 4052.

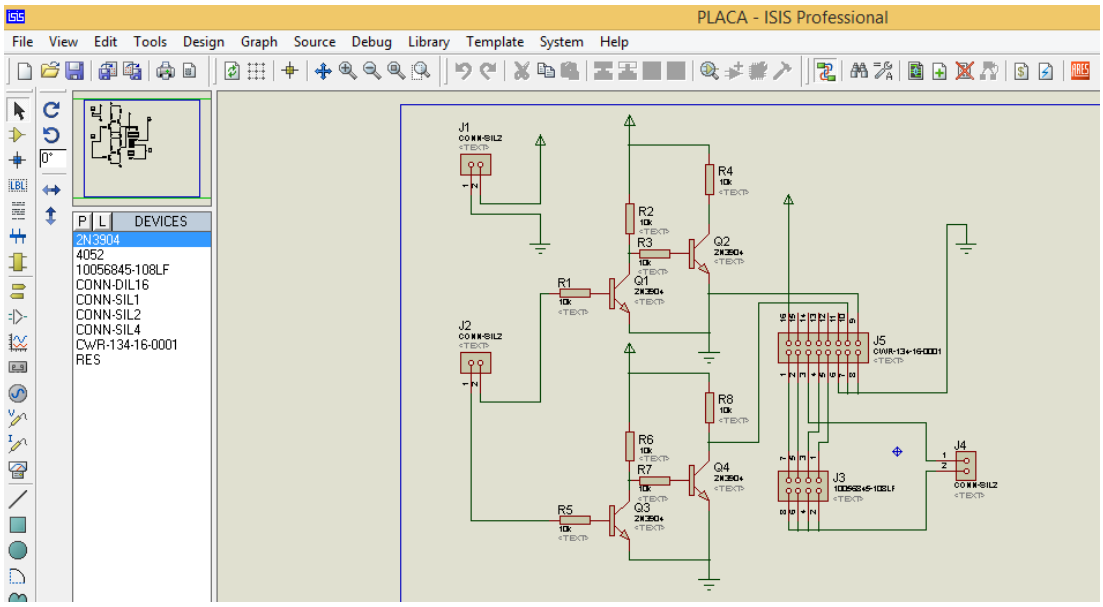


Figura 65. Diseño del circuito multiplexor de los micrófonos.

Adicional al utilizar solamente el circuito integrado multiplexor 4052, se realizó un acondicionamiento para las entradas de del CI debido a que los bits de control enviados por la tarjeta Raspberry PI, son de 0 a 3,3V pero para el funcionamiento de las compuertas del multiplexor se necesitan 0 a 5V, Como solución se utilizó la compuerta NOT (compuerta inversora) en tecnología RTL (Resistor Transistor Logic) es relativamente antigua y tiene una serie de limitaciones.

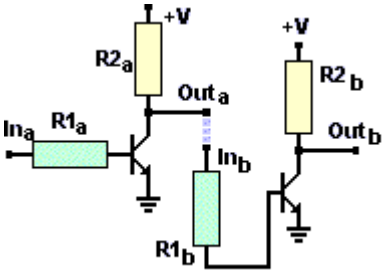


Figura 66. Compuerta NOT en cacada.

Fuente: (Unicrom, 2014)

La resistencia de entrada tiene un valor de 470 Ohmios (resistencia R1 en la base del transistor).

La resistencia de salida es de 640 Ohmios (resistencia R2 en el colector del transistor).

Interconexión entre circuitos con tecnología RTL (dos inversores en cascada), se asume que este tipo de compuertas se interconectan entre ellas, siendo natural que una salida de una compuerta RTL se conecte a una entrada de una compuerta RTL. Siendo este el caso, es normal que la corriente que ingresa por la base del transistor, pase por la resistencia de 640 y la de 470 Ohmios. Ver gráfico a la derecha.

Cuando en la entrada hay un "1" lógico (3.6 voltios en la tecnología RTL), la corriente de base será: (utilizando la ley de Ohm)

Ib = (+V-Vbe) / (R2a+R1b) =
Ib = (3.6 – 0.7) / (640 + 470) = 2.612 mA.

En este caso el primer transistor está en corte (no conduce) y la corriente que pasa por la resistencia de que está conectada a la entrada del segundo transistor, pasa por la resistencia conectada al colector del primer transistor (ver figura 69).

Donde:
V+ = "1" lógico = 3.6 V.
0.7 voltios = voltaje base emisor de un transistor en conducción.
R1 = 470 = resistencia conectada a la base
R2 = 640 = resistencia conectada al colector

Con esta corriente y una ganancia del transistor aproximada de 30, se logra su saturación sin problemas (Unicrom, 2014).

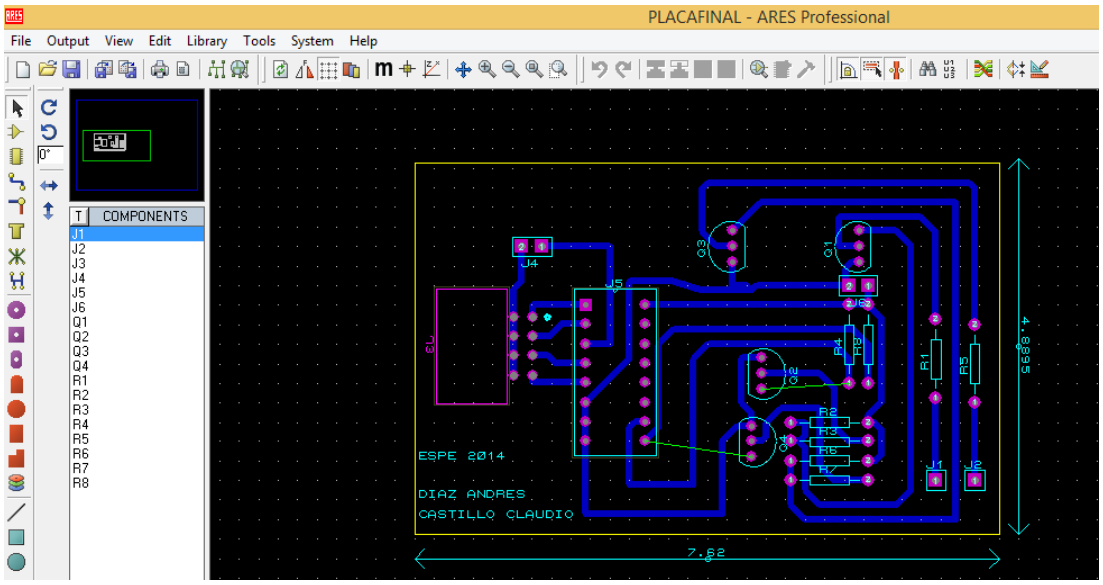


Figura 67. Diseño de la placa del circuito.

Finalmente como se puede observar en la figura 70, luego del diseño del circuito realizado en el software Proteus, con la misma herramienta y utilizando la opción del ARES PBC LAYOUT el cual es otra pantalla que nos permite realizar el enrutamiento o las pistas para la creación de la placa del circuito.

4.2 Pruebas de Software

En este subcapítulo analizaremos el rendimiento del software para la implementación del sistema completo, se hará un análisis del software en funcionamiento y también la optimización del mismo.

4.2.1 Librerías en Python

Para realizar este proyecto escogimos realizarlo en un lenguaje de programación libre, ya que contamos con una buena cantidad de librerías que nos facilita el tratamiento de señales y también el control de los micrófonos.

Las principales librerías que intervienen en nuestro proyecto son para el control de las salidas GPIO de la tarjeta controladora, acceso a los puertos USB y criptografía.

- Pyusb

- Pycripto
- Numpy
- Scipy
- Matplotlib

Pyusb es una librería desarrollada para el acceso de los puertos Usb desde Python, con esta no permite reconocer que el dongle esté conectado para evitar cualquier tipo de mal funcionamiento y garantizar la transmisión de datos del casco Epoc Emotiv hacia el receptor.

Pycripto es la librería que nos permite desencriptar la información en tiempo real, cuenta con una gama amplia de funciones para encriptar y desencriptar (este no sería posible sin la llave).

Numpy nos permitió mejorar el tiempo de procesamiento, ya que tiene como función principal la manipulación de arreglos grandes sin sacrificar el tiempo de respuesta.

Scipy contiene funciones que permiten la optimización, algebra lineal, integración, interpolación, FFT, procesamiento de imágenes y funciones especiales. Utilizamos ciertas funciones para el procesamiento de señales, pruebas y finalmente la implementación.

Matplotlib tiene una gama de funciones parecidas o iguales a las de lenguaje Matlab para la representación gráfica de funciones, datos, señales filtradas, etc.

4.2.2 Desempeño del Software

En esta parte mencionaremos los aspectos más relevantes del software, en capítulos previos se analizó el proceso de adquisición y presentación en pantalla de los datos que son enviados desde el dongle.

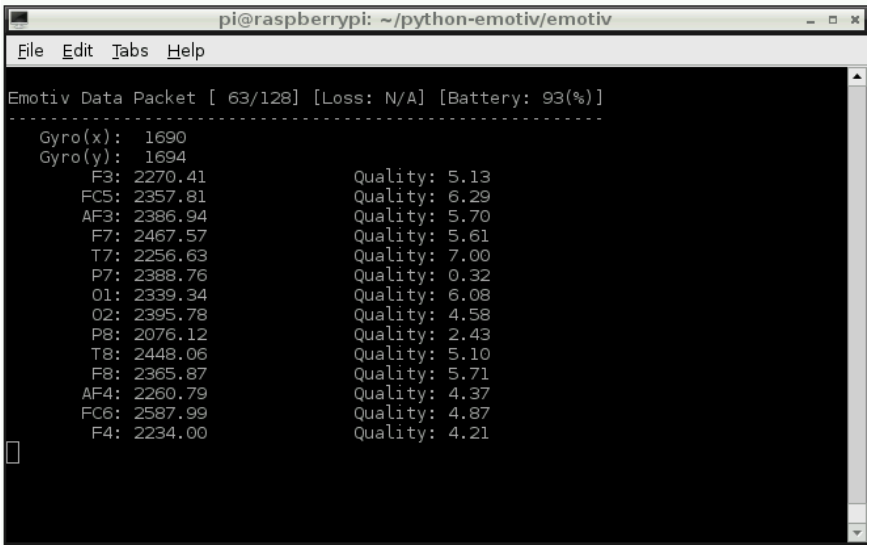


Figura 68. Adquisición de datos.

Como podemos observar en esta figura, el programa está corriendo en el terminal del sistema operativo Raspbian donde se puede observar la lectura del paquete de datos en la esquina superior derecha y a un costado la información proveniente del nivel de carga de la batería para evitar errores o posibles desconexiones.

También se decidió mostrar la información que nos brinda el acelerómetro en sus dos ejes, en este proyecto no es necesario pero resulta de mucha utilidad para futuros proyectos.

El valor de cada sensor está enlistados y ordenados para poder apreciar sus valores en tiempo real así como sus respectivas calidades, podemos garantizar que los sensores están entregando valores reales a nuestro sistema.

El tiempo de respuesta del programa en este punto brindó muy buenos resultados, se muestran el valor de sensores y sus calidades en tiempo real.

4.2.2.1 Desempeño del Controlador

El desempeño del controlador es una de las partes medulares del proyecto ya que buscamos que se lo haga en tiempo real y haga un uso óptimo de las variables de entrada para que a la salida tengamos el resultado esperado.

El control difuso representa una carga muy baja en nivel de procesamiento, ya que con una rutina logramos que el programa identifique los valores para realizar la acción de habilitar el canal para el micrófono.

```
#print nor1
if maxi[3]>=2340 and maxi[5]>=2110:    #maxi[5]>=2600 and maxi[9]>=2500:
   print('gesto izquierda')
   GPIO.output(14, GPIO.LOW)
   GPIO.output(15, GPIO.HIGH)

else:
    if maxi[9]>=2600: # and maxi[4]>=2320:#and maxi[9]>=calidad 3.22 and maxi[8]>=2192 and maxi[12]>=2563:
       print('gesto derecha')
       GPIO.output(14, GPIO.HIGH)
       GPIO.output(15, GPIO.LOW)

    else:
        #if maxi[3]>=2600 and maxi[9]>=2500: #and maxi[10]>=2492 and maxi[5]>=calidad 5:
        print('Relajado')
        GPIO.output(14, GPIO.HIGH)
        GPIO.output(15, GPIO.HIGH)
```

Figura 69. Controlador de puertos de salida.

Después de haber probado diferentes tipos de procesamiento de señales, dimos que el control adecuado debía ser como el que podemos apreciar en la figura 72. Comparamos el tiempo de respuesta del programa de adquisición de datos con el controlador de puertos, el tiempo de respuesta siguió manteniéndose para que sea control en tiempo real.

4.2.3 Automatización con script

En esta parte analizaremos la modificación de un script del sistema Raspbian para optimizar el tiempo que inicia el programa, evitar que el usuario tenga que correr el programa con una línea de código, configuración de puertos GPIO y que sea un sistema embebido pug and play.

A continuación mostraremos el proceso realizado para la modificación del scrip.

4.2.3.1 Creación de Script

Existen varias formas de crear o modificar un script en la tarjeta Raspbian ya que está basado en Linux podemos realizarlo de la misma forma. En este caso se configuró los puertos de salida para el control de los micrófonos, el programa para habilitar un canal entre los auriculares con el micrófono y finalmente el programa de control a través de los sensores neuronales.

4.2.3.2 Modificación del archivo rc.local

La ubicación del archivo rc.local se encuentra dentro de la raíz del sistema, este archivo fue creado para que los usuarios lo modificaran cuando lo consideren pertinente. Primero se abre el terminal e ingresamos la línea de código:

- sudo nano etc/rc.local

Con esto tenemos acceso al archivo rc.local el cual solo puede ser modificado con los privilegios del usuario root.

```
#!/bin/sh -e
#
# rc.local
#
# This script is executed at the end of each multiuser runlevel.
# Make sure that the script will "exit 0" on success or any other
# value on error.
#
# In order to enable or disable this script just change the execution
# bits.
#
# By default this script does nothing.

# Print the IP address
_IP=$(hostname -I) || true
if [ "$_IP" ]; then
  printf "My IP address is %s\n" "$_IP"
fi

exit 0
```

Figura 70. Script rc.local.

En la anterior figura se observa el contenido del archivo antes de hacer cualquier cambio, después de las líneas comentadas podemos poner comandos, realizar configuraciones o correr programas automáticamente.

La configuración de los puertos GPIO disponibles en la tarjeta Wolfson audio card se lo realizó mediante un script porque los únicos puertos GPIO disponibles también corresponden al puerto serial. Para evitar una mala configuración o posibles errores se lo realizará con un script.

En el mismo script se puede arrancar varios subrutinas o programas que intervienen en el sistema correspondiente al canal de audio y el programa principal para el control de todo el sistema.

```
pi@raspberrypi: ~
File  Edit  Tabs  Help
  GNU nano 2.2.6              File: /etc/rc.local

_IP=$(hostname -I) || true
if [ "$_IP" ]; then
  printf "My IP address is %s\n" "$_IP"
fi
echo "14" > /sys/class/gpio/export
#chmod 777 -R /sys/class/gpio/gpio14
echo "out" > /sys/class/gpio/gpio14/direction
echo 1 > /sys/class/gpio/gpio14/active_low
echo 0 > /sys/class/gpio/gpio14/value


echo "15" > /sys/class/gpio/export
#chmod 777 -R /sys/class/gpio/gpio15
echo "out" > /sys/class/gpio/gpio15/direction
echo 1 > /sys/class/gpio/gpio15/active_low
echo 0 > /sys/class/gpio/gpio15/value

cd /home/pi/python-emotiv/emotiv
arecord -r 44100 -c 2 -f S16_LE|aplay -r 44100 -c 2 -f S16_LE  &

sudo python epoc1.py &

exit 0

^G Get Help  ^O WriteOut  ^R Read File ^Y Prev Page ^K Cut Text  ^C Cur Pos
^X Exit      ^J Justify   ^W Where Is  ^V Next Page ^U UnCut Text^T To Spell
```

Figura 71. Script modificado.

Como se puede observar en la anterior figura, el archivo rc.local ya fue modificado para que el programa corra de forma automática. Cabe recalcar que después de poner

la instrucción para iniciar un programa en python debe estar seguido del carácter ampersand y la línea de comando final.

Finalmente reiniciamos la tarjeta controladora para poder apreciar los cambios y que los programas corran de manera óptima.

4.3 Pruebas de Hardware

4.3.1 Funcionamiento de los sensores del sistema Emotiv EPOC.

Para comprobar el funcionamiento de la diadema Emotiv EPOC EEG con sus respectivos electrodos se seguirán ciertos pasos del manual de usuario:

Colocación de la solución salina en cada almohadilla que permite al electrodo poner en contacto con la piel, lo recomendable es colocar 2 o 3 gotas de la solución en cada almohadilla.

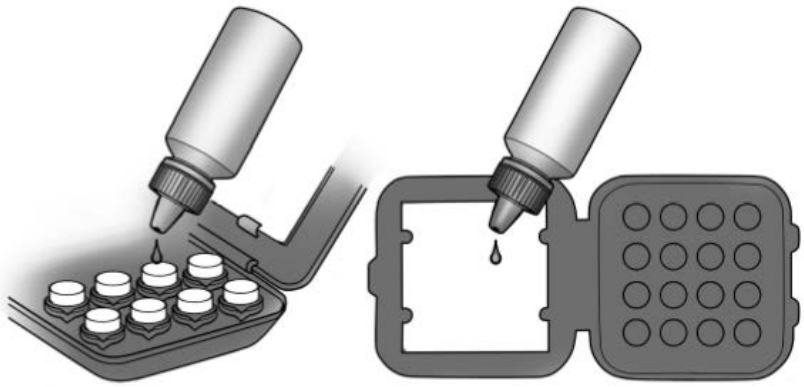


Figura 72. Colocación de solución salina en electrodos.

Fuente: (Emotiv, 2013)

Como segundo paso es colocar los electrodos en cada brazo de la diadema, colocándolos en cada ranura y girándolos hacia el lado derecho.

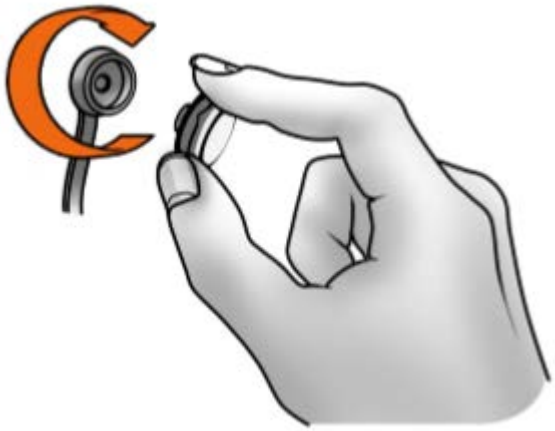


Figura 73. Ensamblaje del sensor en el brazo de la diadema.
Fuente: (Emotiv, 2013)

Como tercer paso se procede a conectar el USB dongle del equipo en la PC y encender la diadema para empezar a recibir la información.

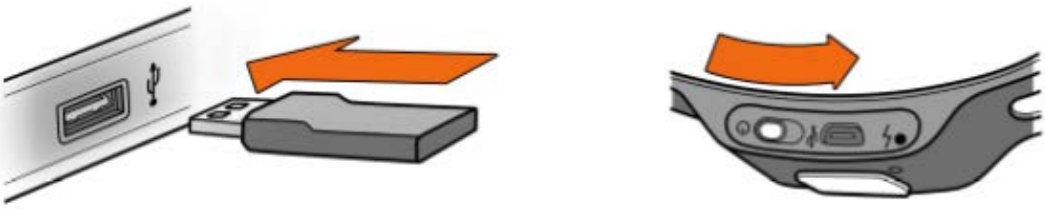


Figura 74. Conexión USB dongle y encendido de la diadema.
Fuente: (Emotiv, 2013)

Como cuarto paso verificar la posición de los brazos en la cabeza según se puede observar en las siguientes figuras 75, 76. Se recomienda mantener los sensores de referencia presionados por un tiempo de 30 segundos para poder empezar a visualizar el estado de los sensores en la PC.

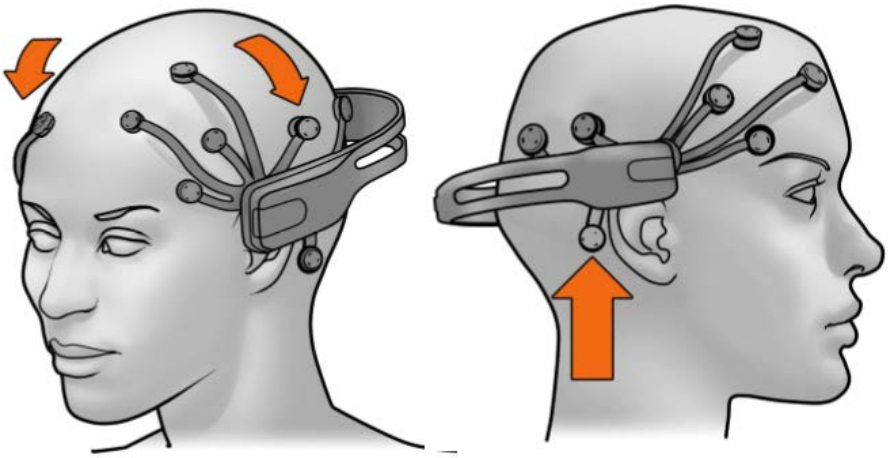


Figura 75. Posición de los sensores laterales.
Fuente: (Emotiv, 2013)

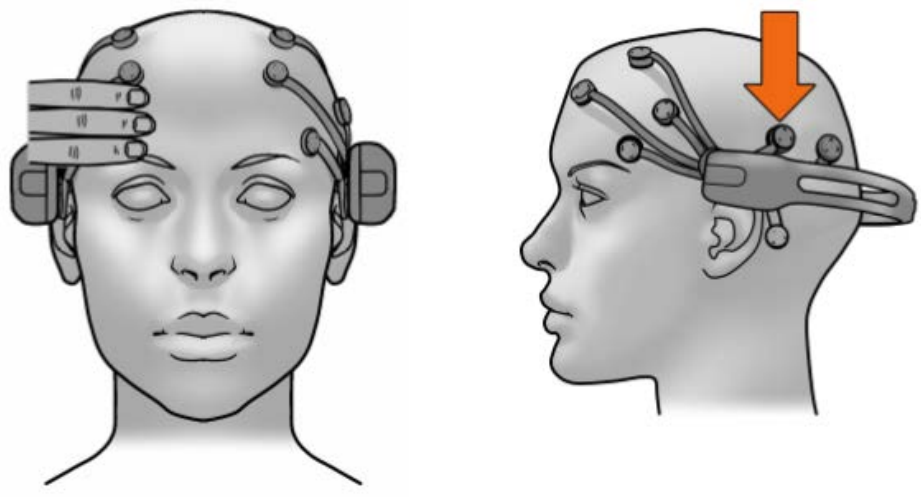


Figura 76. Posición de los sensores frontales y el sensor de referencia.
Fuente: (Emotiv, 2013)

Finalmente utilizamos la aplicación Emotiv SDK v2.0.0.20 la cual nos permitirá observar el estado de los sensores mediante un escala de colores, negro indica sin señal, rojo indica una señal muy pobre, anaranjado señal pobre, amarillo señal justa y verde indica un señal buena.

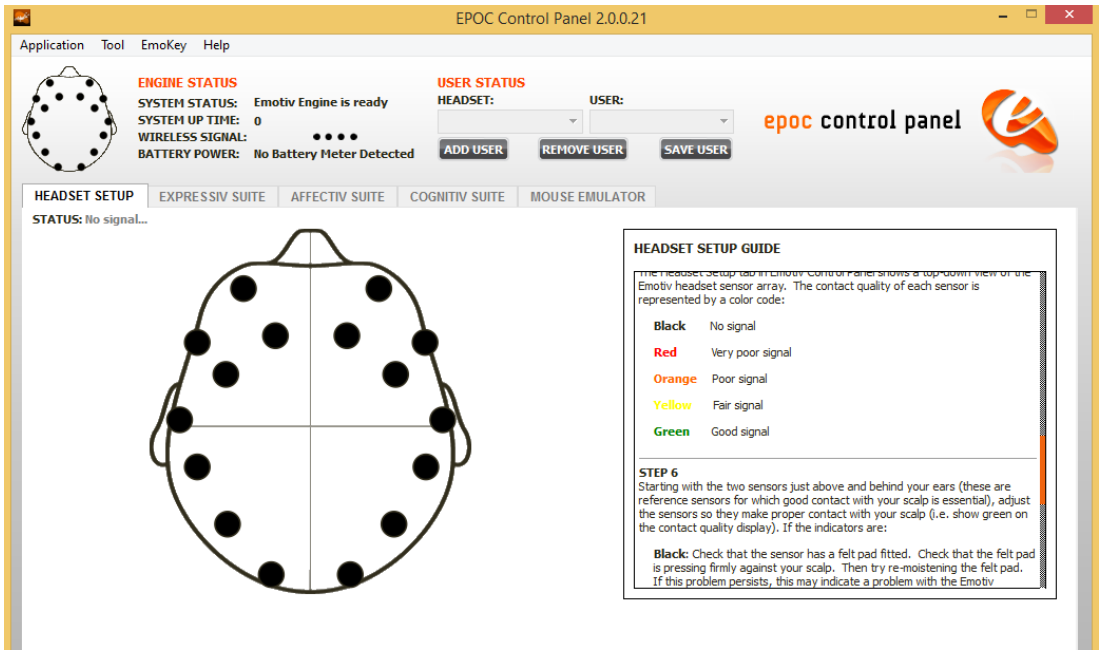


Figura 77. Panel de control Emotiv SDK.

Figura 78. Comprobación del funcionamiento de los sensores.

La utilización de la aplicación Emotiv SDK es netamente para observar el estado de los sensores, no se lo ha utilizado para ningún otro fin como control debido a que el funcionamiento con la tarjeta Raspberry PI y la programación también se tiene indicadores de la información sobre los estados de los sensores como se indicara más adelante.

4.3.2 Funcionamiento del circuito controlador de los micrófonos.

Por lo expuesto anteriormente en el ítem de implementación, el mismo que se indica la utilización del circuito integrado 4052 multiplexor análogo el cual permitirá dejar pasar o no la señal del micrófono deseado mediante la señal de control entregada por la tarjeta Raspberry PI a la entrada del multiplexor, para ello se realizaron simulaciones y pruebas reales del circuito.

Como se puede observar en la figura 79, se ingresó 4 archivos de audio para poder comprobar el funcionamiento del circuito integrado como se indica a continuación.

B	**A**	**X**	**Y**
0	0	X0	Y0
0	1	X1	Y1
1	0	X2	Y2
1	1	X3	Y3

Tabla 14. Tabla de verdad de CI 4052.

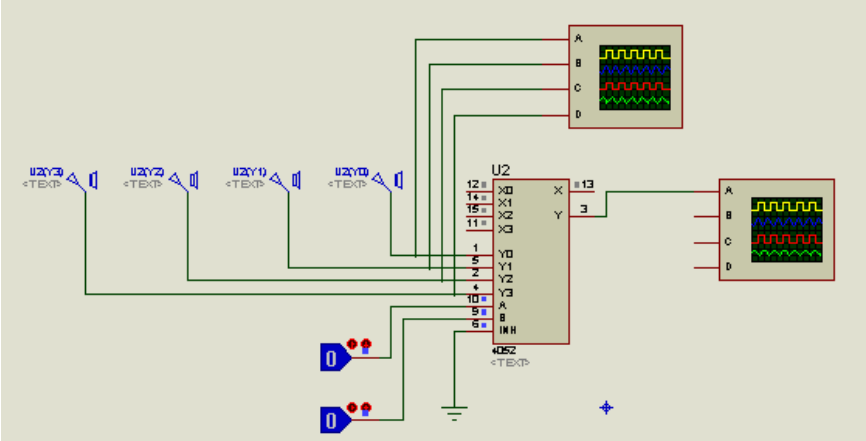


Figura 79. Simulación entradas A (0) y B (0).

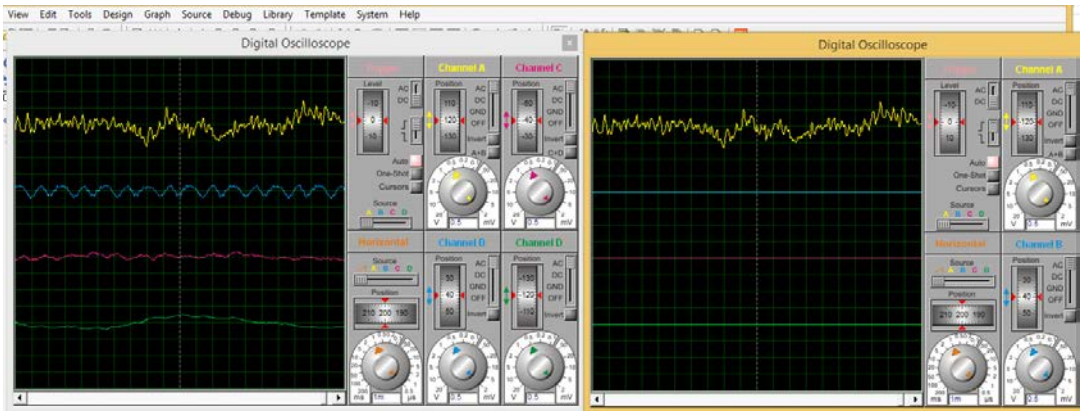


Figura 80. Visualización Y = Y0 con el uso del osciloscopio virtual.

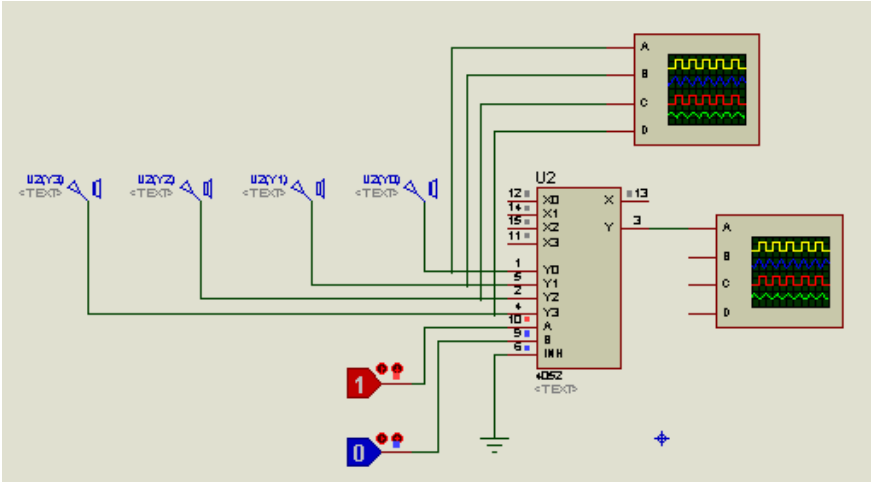


Figura 81. Simulación entrada A (1) B (0).

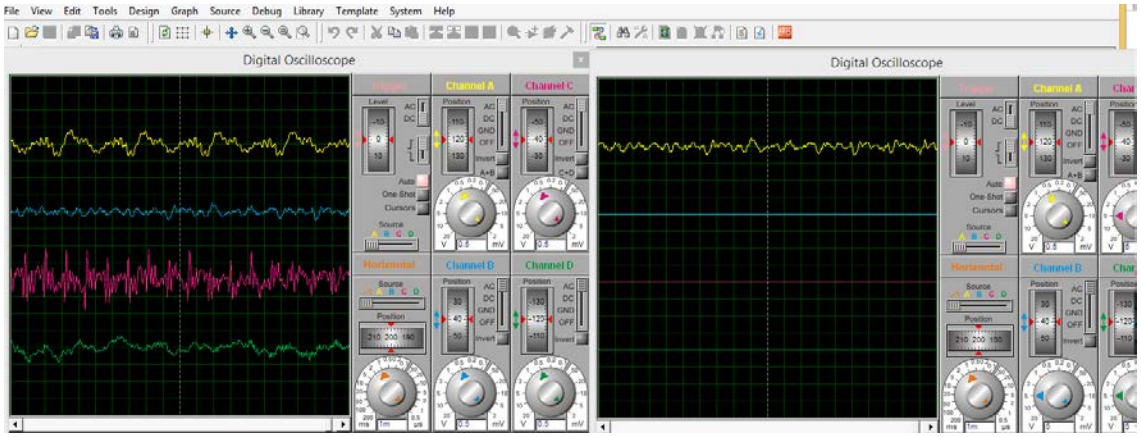


Figura 82. Visualización Y = Y1 con el uso del osciloscopio virtual.

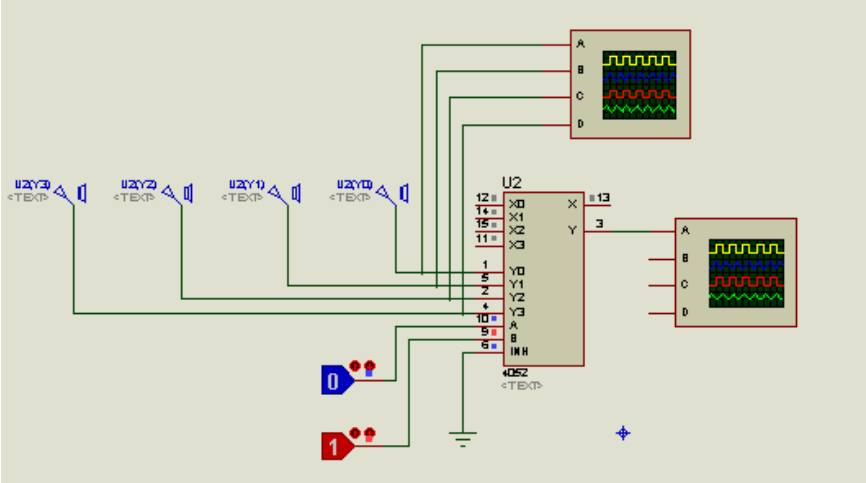


Figura 83. Simulación entrada A (0) B (1).

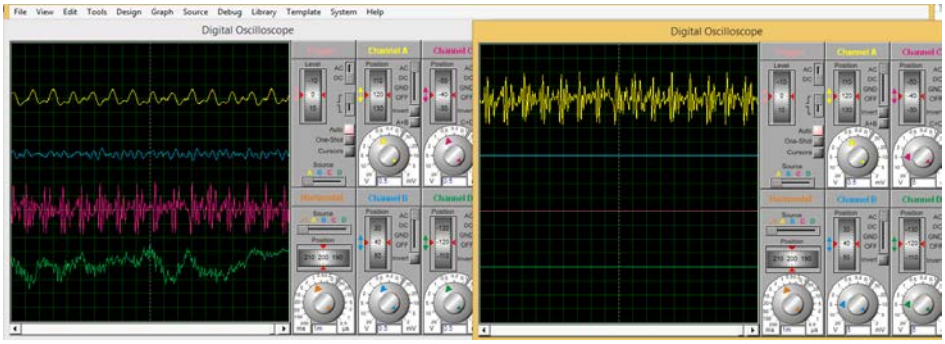


Figura 84. Visualización Y = Y2 con el uso del osciloscopio virtual.

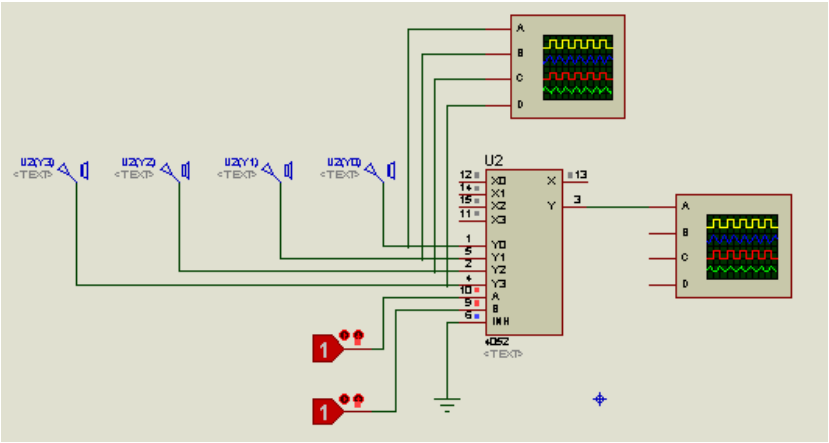


Figura 85. Simulación entrada A (1) B (1).

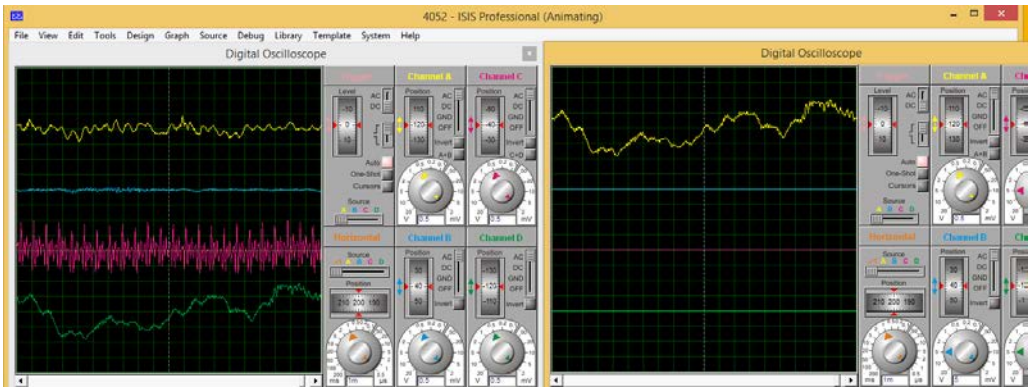


Figura 86. Visualización Y = Y3 con el uso del osciloscopio virtual.

Luego de las respectivas simulaciones se procederá a la comprobación física del circuito integrado como podemos observar en las figuras 87, 88; a continuación, colocando valores digitales de 3.3V en la entrada 1 y 0 V en la entrada 2, el multímetro en la salida nos permite observar el valor según el estado de la las entradas de control de las compuertas.

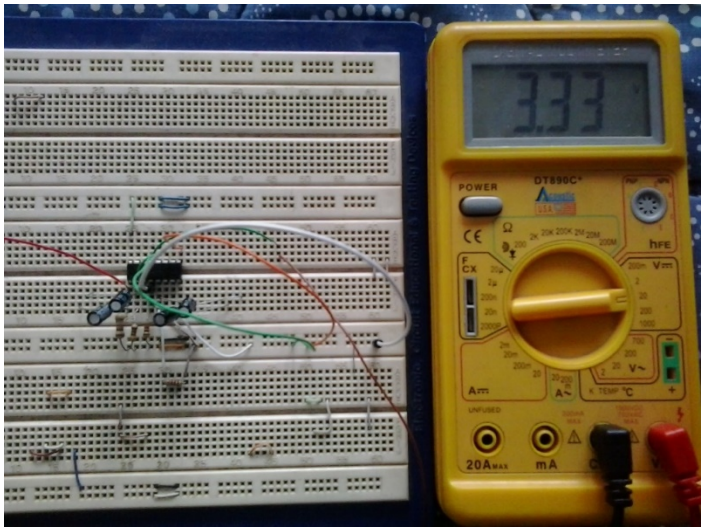


Figura 87. Comprobación Y=Y0 (3.33V).

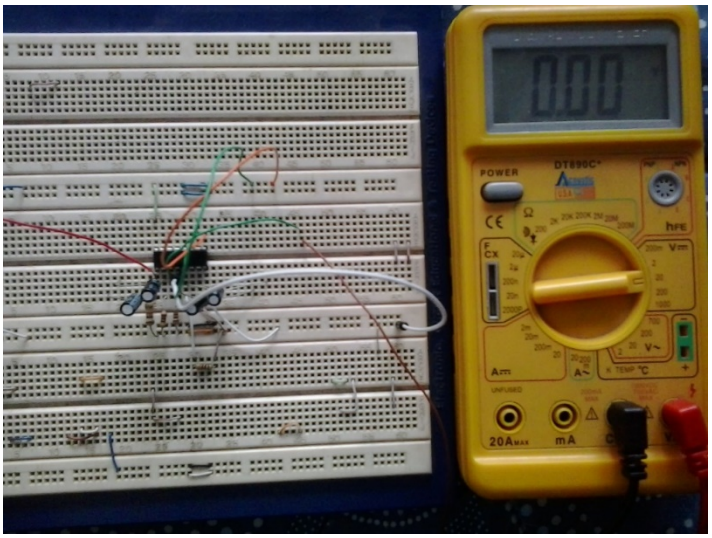


Figura 88. Comprobación Y=Y1 (0.0V).

Para la comprobación del circuito multiplexor se realizó como en el siguiente esquema de la figura 89, en el cual estaban conectados los tres micrófonos a la entrada de la placa y se procedió acoplar la salida del circuito con la entrada de micrófono del computador para proceder a grabar la señal de voz, como se puede notar la placa de control de los tres micrófonos tiene como finalidad ser un canal de paso de las señales dependiendo de cuál se desea dejar pasar es la idea básica del arreglo de micrófonos, se obtuvieron buenos resultados con las pruebas analógicas del circuito.

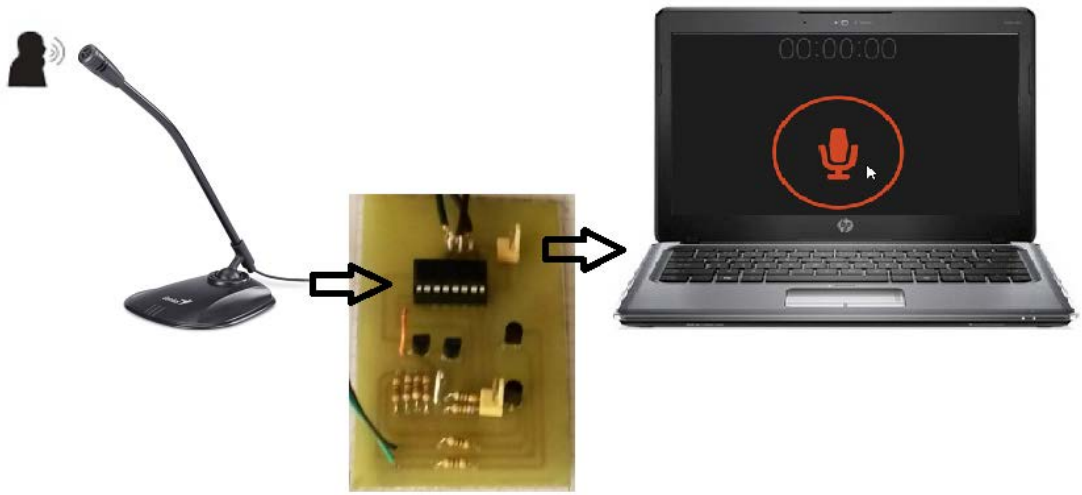


Figura 89. Placa del circuito multiplexor y comprobación con la PC.

4.4 Pruebas del Sistema completo y resultados

A continuación se muestra el sistema embebido completado, donde podemos observar en la figura 90, el controlador el cual consiste en un estuche donde se encuentra la tarjeta Raspberry PI y la placa del circuito multiplexor para las entradas de los tres micrófonos los cuales están identificados como izquierdo, derecho y frontal. La diadema Emitiv EPOC con sus respectivos 14 electrodos acoplados y en comunicación con el controlador mediante el USB dongle, fiablemente un par de altavoces para probar el funcionamiento, el uso del monitor no es imprescindible ya que el programa principal esta acondicionado mediante un script y con el fin de ejecutarlo sin necesidad de ingresar al modo grafico en el cual necesitaremos el monitor, pero por razones de observación de las respectivas pruebas del sistema lo vamos a utilizar para observar tanto el funcionamiento como resultados.

Figura 90. Sistema embebido completo.

Una vez conectado los equipos tanto el USB dongle como los altavoces a la tarjeta de audio de la Raspberry PI y con sus respectiva alimentación automáticamente el sistema empieza a funcionar puede que de un error por no encender la diadema Emotiv EPOC y no esté recibiendo los datos de la misma, o si está encendida puede que el usuario este muy alejado del controlador.

Figura 91. Comprobando el funcionamiento del micrófono frontal.

Para las respectivas pruebas de funcionamiento se procederá a indicar los respectivos gestos que se harán para que el controlador los interprete y envía la orden al circuito multiplexor el cual hará que deje pasar la señal de sonido por el micrófono que se haya elegido según el gesto.

Primera prueba, como se observa en la figura 92, se muestra el gesto relajado prácticamente no se debe hacer ningún movimiento ni gesto con el rostro.

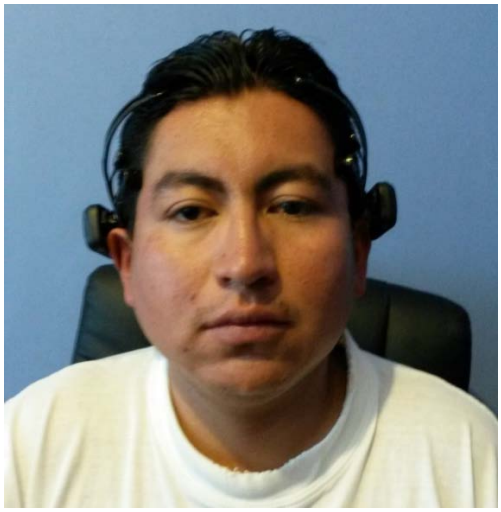


Figura 92. Gesto relajado.

Con el monitor podemos comprobar la interpretación de la información en la parte inferior la cual se ha identificado el gesto y enviara la orden para que se active el micrófono frontal.

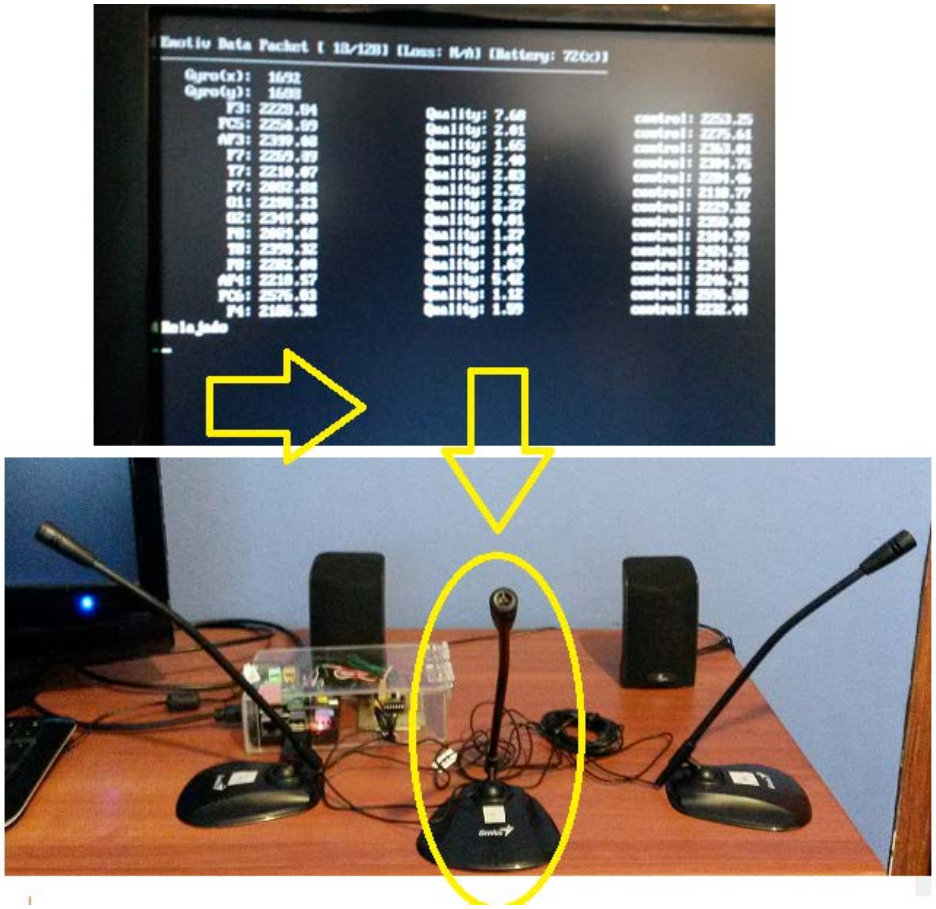


Figura 93. Interpretación del gesto y activación del micrófono frontal.

Segunda prueba, realizando el gesto con el rostro en este caso una mueca hacia la derecha como se observa en la figura 94.

Figura 94. Gesto a la derecha.

De la misma manera que en la anterior prueba, en el monitor se puede observar el gesto realizado, el controlador activa los bits requeridos al multiplexor activando en este caso el micrófono hacia la derecha.

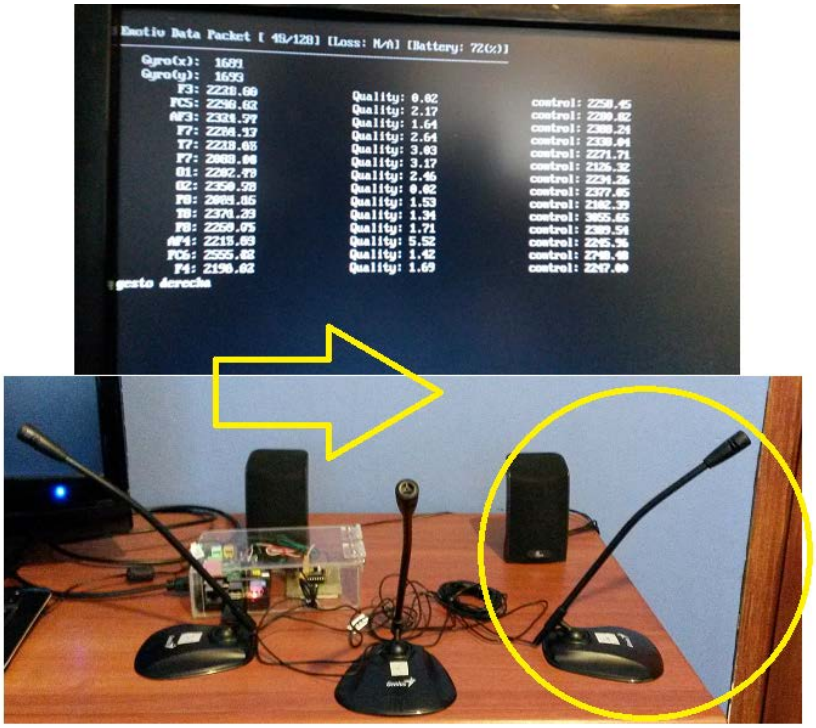


Figura 95. Interpretación del gesto y activación del micrófono derecho.

Tercera prueba, en la cual se constató el gesto realizado a la izquierda como se observa en la figura 96, la mueca realizada hacia el lado indicado con el rostro.

Figura 96. Gesto a la izquierda.

Una vez realizado el gesto requerido se puede observar en el monitor que el controlador lo ha reconocido, así mismo que en las pruebas anteriores se envía la orden al multiplexor para que sea activado el micrófono del lado izquierdo.

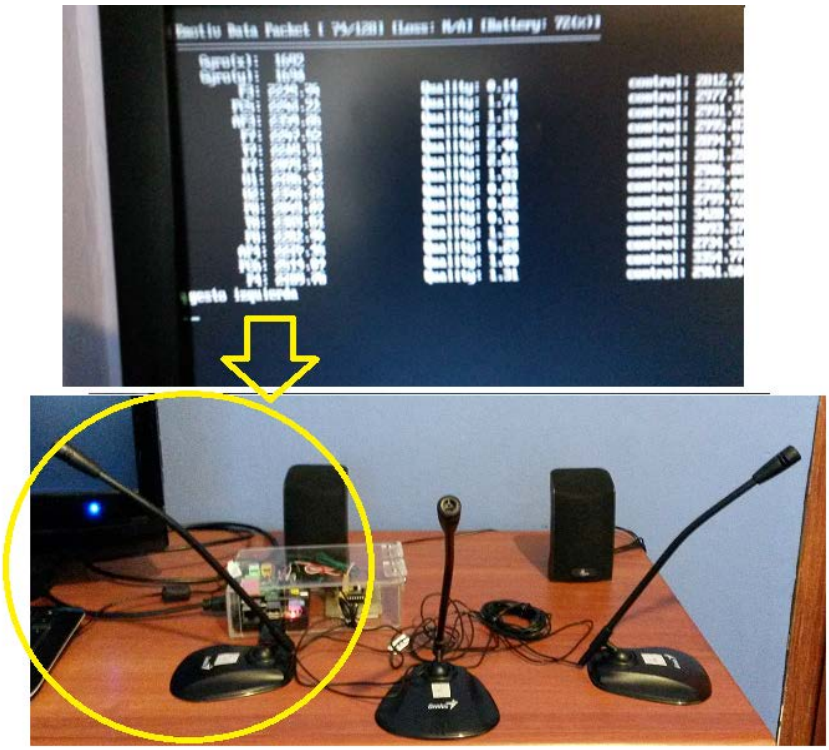


Figura 97. Interpretación del gesto y activación del micrófono izquierdo.

El reconocimiento de los gestos por la parte del controlador tiende a existir un retardo de 3 a 5 segundos debido al procesamiento de la tarjeta Raspberry PI, en realidad el acondicionamiento de las señales, el algoritmo del controlador y mantener el canal por donde ingresa la señal a la tarjeta de audio hacen que el procesamiento de todo el sistema en conjunto sea un poco lento, pero ante todo esto se obtuvo buenos resultados y cumpliendo con el objetivo principal del presente proyecto.

4.5 Condiciones para implementación en serie

En este capítulo analizaremos los procesos necesarios para poner la fabricación del dispositivo en serie, vamos a dividir tareas y delegar funciones para que un pequeño grupo de ingenieros puedan implementarlo en el menor tiempo posible.

4.5.1 Ensamblaje de circuitos.

En capítulos anteriores analizamos el circuito que hace de multiplexor para los micrófonos, ahora vamos asignar esta tarea al equipo de ensamblaje de circuitos. Los cuales se encargarán de quemar el enrutamiento en la baquelita y soldar los elementos.

Estos los pasos a seguir por el equipo de ensamblaje:

1. Cortar la baquelita con las medidas adecuadas para que encaje perfectamente con el circuito diseñado en simulador Ares. El tamaño de la baquelita es de 5x8 cm.

2. Imprimir el enrutamiento del circuito multiplexor en papel de transferencia con la aplicación Ares Profesional Layout. Inmediatamente colocamos el papel sobre el lado de cobre de la baquelita y ponemos sobre una superficie caliente entre 180° y 250° centígrados entre 20 a 30 minutos.

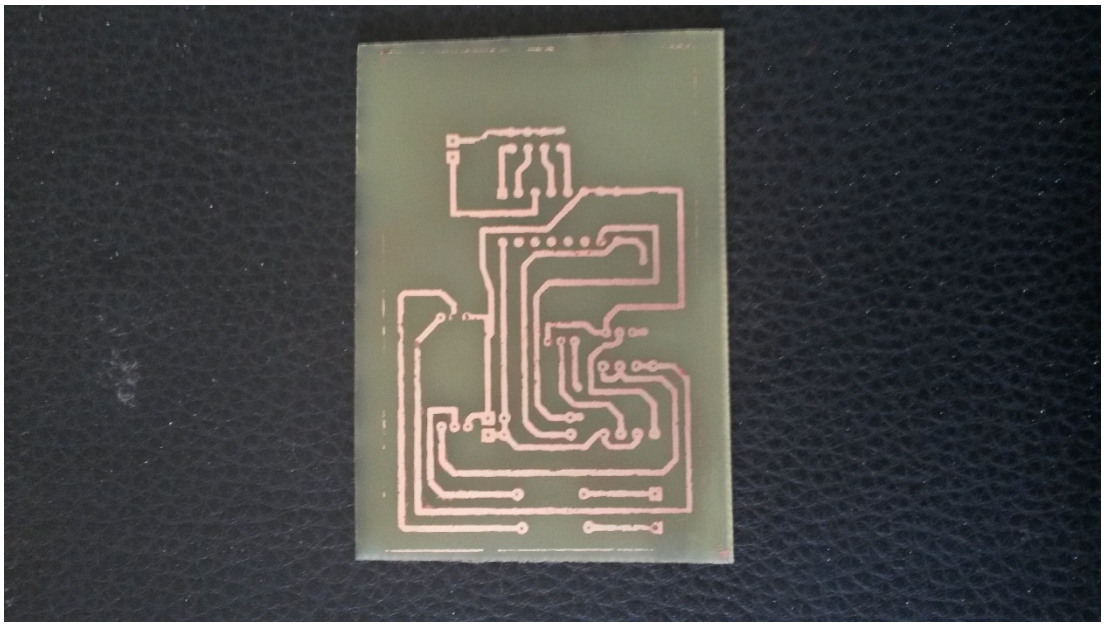


Figura 98. Circuito impreso.

Una vez haya pasado el tiempo para transferir el circuito a la baquelita, mezclamos el cloruro férrico con agua y finalmente el circuito luce como en la figura 101. En este punto el circuito está preparado para hacer las perforaciones.

Las soldaduras de los elementos deben ser brillantes y con puntos de suelda que no sean abultadas por el tamaño de las pistas.

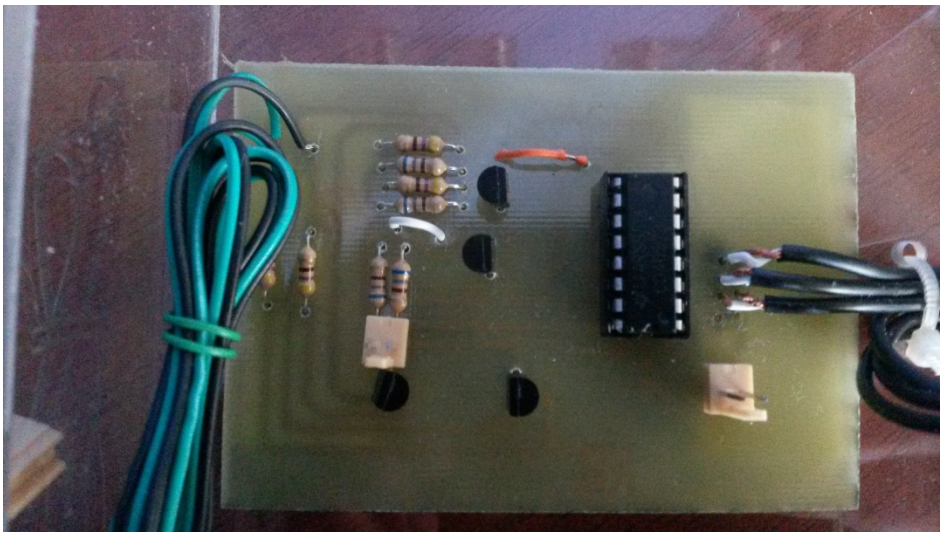


Figura 99. Circuito con elementos.

En la figura 102, se observa la baquelita con todos los elementos soldados y listos para ser integrada con la tarjeta controladora.

4.5.2 Caja del sistema

Para el diseño de la caja donde se ubicará todos los componentes del sistema se escogió hacerlo de un material traslucido y también que todos los puertos tengan acceso.

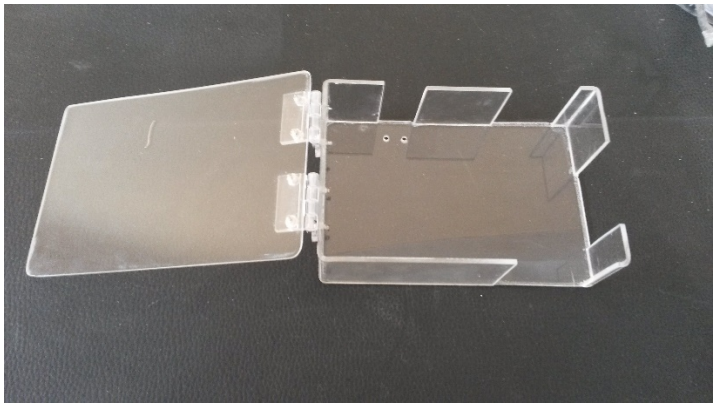


Figura 100. Caja del sistema.

En la figura 103 se muestra la caja para el proyecto, además tiene una tapa para proteger a todos los elementos.

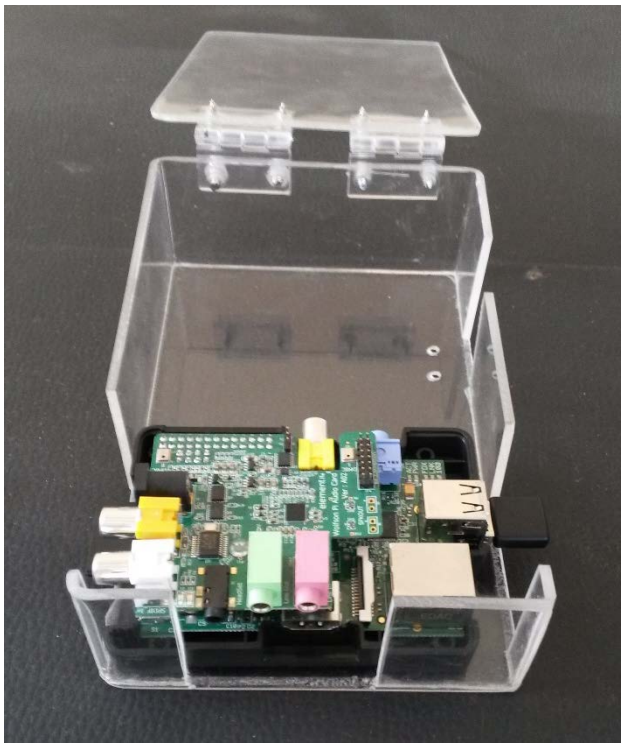


Figura 101. Caja con tarjeta controladora.

Finalmente tenemos que sujetar la tarjeta controladora y el circuito multiplexor a la caja para ser entregada a la siguiente línea de producción.

4.5.3 Instalación del programa y entrenamiento

Una de las tareas en este punto es instalar el sistema operativo Raspbian en la memoria del sistema, para ello tenemos dos posibilidades:

1. Instalar el sistema operativo Raspbian que se lo puede descargar gratuitamente en la página oficial y luego instalar los controladores de la tarjeta de sonido Wolfson Auido Card.

2. Instalar el sistema operativo Raspbian con los controladores de la tarjeta de audio Wolfson, estos instaladores se los puede descargar gratuitamente de la página oficial Element14.

Ya con el sistema operativo y los controladores solo nos queda instalar el programa controlador y empezar el entrenamiento de las señales neuronales con el usuario o el sujeto de pruebas.

Después de obtener los valores adecuados en el entrenamiento para el control de micrófonos, integramos todo el sistema y optimizamos el software.

CAPITULO V

ANÁLISIS ECONÓMICO

En el presente capitulo se analizaran los distintos aspectos económicos que conllevaron a la elaboración del proyecto y su ejecución, los mismos que se indican a continuación.

5.1 Análisis del costo de materiales y equipos

En la tabla 15 se describen el costo de los materiales y equipos que se necesitaron para la elaboración del proyecto o sistema embebido como tal.

Tabla 15. Costo de materiales

Cantidad	Detalle	Valor unitario	Valor total
1	Emotiv Epoc EEG	699	699
1	Tarjeta Raspberry PI modelo B	35,41	35,41
1	Tarjeta Wolfson audio	46,99	46,99
1	CI multiplexor análogo 4052	1	1
4	Transistor 2N3904	0,35	1,4
8	Resistencias 1/4W	0,0179	0,14
3	Conector POL 2P	0,31	0,97
1	Conector POL 4P	0,46	0,46
1	Zócalo 16 Pines	0,08	0,08
1	Baquelita 10x10 fibra verde	1,35	1,35
2	Fundas 20 gramos de cloruro	0,31	0,62
1	Lamina de transferencia	0,89	0,89
3	Micrófonos electret genius	7	21
		TOTAL	809,31

5.2 Análisis de costos adicionales

Los costos descritos en la tabla 16, los mismos que no fueron considerados inicialmente al inicio del proyecto.

Tabla 16. Costos adicionales

Descripción	Valor
Envío de equipos (Emotiv Epoc EEG, Tarjeta Raspberry PI y Tarjeta Wolfson audio)	120
Diseño y construcción (Base de acrílico para equipos)	15
Total	135

Finalmente detallado los costos de los materiales y costos adicionales, obtenemos un costo total de $944,31 dólares, un costo razonable cumpliendo con uno de los alcances del proyecto.

CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

- Se cumplió el objetivo de diseñar e implementar un sistema embebido BCI que permite controlar un arreglo de micrófonos a través de gestos los cuales son interpretados por un casco sensorial para mejorar la calidad de vida de personas con discapacidad auditiva.
- La tarjeta Raspberry Pi modelo B y el casco sensorial Emotiv EPOC EEG fueron optimizados para garantizar que el sistema BCI cumpla con la interpretación de gestos para las señales de control.
- El diseño de filtros para señales neuronales representa un estudio completo para optimizar y entender los patrones cerebrales de un ser humano presentes en un electroencefalograma.
- Mediante la realización de las pruebas de funcionamiento del sistema se logró identificar un retardo entre 3 a 5 segundos en cada intercambio de gestos debido al procesamiento de las señales, el algoritmo de control y la habilitación del canal de audio.
- La implementación del algoritmo de control basado en lógica difusa optimizó de gran manera las condiciones a evaluar con respecto a la información inexacta que envía los sensores neuronales para ser interpretados como gestos.

6.2 Recomendaciones

- En la utilización del script, se recomienda utilizar siempre el ampersand (&) después de una línea de comando para que no se produzca un bucle infinito.
- Para realizar proyectos de investigación se recomienda verificar la versión del equipo Emotiv EPOC ya que los SDK para la programación solo son compatibles con la versión Emotiv EPOC EEG.

- Para evitar errores con las salidas digitales GPIO de la tarjeta Wolfson audio card debemos hacer la configuración en el script **rc.local**, ya que estos pines por defecto son para transmisión serial.
- Para el buen funcionamiento de la interpretación de los gestos, se debe tener en cuenta la buena calidad de los sensores los mismos que pueden verificar con el computador y la aplicación SDK Eotiv control panel, o simplemente conectando un monitor en la tarjeta Rasberry y observarlas las cuales deben estar por encima del nivel 3 y si es el caso del control panel los sensores deben estar mínimo en color amarillo que refleja la buena calidad.
- Se recomienda al momento de la colocación de la diadema Emotiv EPOC mantener presionado los sensores de referencia durante 1 minuto para que el sistema empiece a reconocer las señales neuronales.
- El usuario una vez colocado la diadema Emotiv EPOC y encendido el USB dungle conectada al controlador no debe alejar no más de 50 centímetros sino el sistema presentara un error indicando se vuelva a encender la diadema.

6.3 Trabajos futuros

- Realizar un estudio de los filtros para el procesamiento de las señales neuronales utilizando el equipo Emotiv EPOC EEG.
- Realizar la implementación de un control difuso u otro tipo de controlador que traduzca los pensamientos del usuario con la finalidad de manipular cualquier mecanismo.
- Diseñar un Sistema de domótica para una persona que tenga discapacidad de movilidad usando sistemas BCI (Brain Computer Interface).
- Experimentar con el procesamiento de los sensores Emotiv EPOC EEG divididos por hemisferios derecho e izquierdo utilizando un procesador individual respectivamente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A. McCowan. 2001. “Robust Speech Recognition Using Microphone Arrays.” *Queensland University of Technology*: 36.

Andrade, Jose. 2012. “Raspberry Pi Model B.” 56 http://es.engadget.com/2012/08/11/raspberry-pi-model-b-analizado/.

Bergren, and M Charles. 2003. *ANATOMY OF A ROBOT*. eds. The McGraw-Hill and Companies.

Blog de WordPress.com. 2010. “Tecnologías de Ayuda Para Personas Con Discapacidad Auditiva.” *Blog de Nuevas Tecnologías*.

Bonifacio, Martín, and Alfredo Sanz. 2002. *Redes Neuronales Y Sistemas Difusos*. Segunda. ed. RA-MA.

“Caracteriísticas Emotive EPOC.” 2013. http://www.emotiv.com/epoc/features.php.

CyberChimps. 2012. “Partes Del Microfono.” http://microfonos.com.es/partes-del-microfono/.

EmotivSoftware, Development. 2012. “User Manual for Release 1.0.0.3.” 76. http://emotiv.com/developer/SDK/UserManual.pdf.

Enríquez, Rafael. 2009. “Guía de Usuario de Arduino.” *Guía de Usuario de Arduino*: 43. http://www.uco.es/aulasoftwarelibre/wp-content/uploads/2010/05/Arduino_user_manual_es.pdf.

F. Ramiro Cazar. 2001. “Breve Análisis de Las Dicapacidadades En El Ecuador.” *Conferencia Quito*: 1–6.

García, Santiago. 2014. “ESTUDIOS Y EQUIPOS DE AUDIO.” http://www.analfatecnicos.net/pregunta.php?id=34.

GmbH, Shure Europe. 2014. “MICRÓFONOS: PATRONES POLARES / DIRECCIONALIDAD.” http://www.shure.es/asistencia_descargas/contenido-educativo/microfonos/microphone_polar_patterns.

Gou, Josep carrera. 2013. “Ayudas Audiológicas.” *Manual básico de formación especializada sobre discapacidad auditiva*: 97–102.

InformaticaModerna.com. 2014. “EL PUERTO USB 1 / 2.0 Y 3.0.” 58 http://www.informaticamoderna.com/El_puerto_USB.htm#ver.

Ingle, Vinay K., and John G. Proakis. 2007. *Digital Signal Processing Using Matlab V.4*. third. ed. Company PWS Publishing.

López, Miguel Ángel García. 2003. “MICRÓFONOS Y ALTAVOCES.” http://www.lpi.tel.uva.es/~nacho/docencia/ing_ond_1/trabajos_02_03/micros_altavoces/.

Ministerio de Finanzas. *Agenda Nacional Para La Igualdad, En La Temática de Discapacidades, 2013-2017*.

Nakamura, María Adriana Corona, and María de los Ángeles Ancona Valdez. 2011. *Diseño de Algoritmos Y Su Codificación En Lenguaje C*. McGRAW-HIL. ed. INTERAMERICANA EDITORES.

OMS. 2012. “Sordera Y Defectos de Audición.” *WHO Media centre*: 4. http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs300/es/.

Pérez, D Martínez. 2008. “Técnicas de Procesado En Array Para Realzado de Voz En Situaciones Adversas.” 1–4.

ProAudio, Doctor. 2014. “Micrófonos. Patrones de Captación.” http://www.doctorproaudio.com/content.php?154-microfonos-patrones-de-captacion.

Szafir, Daniel J. 2009. “Non-Invasive BCI through EEG An Exploration of the Utilization of Electroencephalography to Create Thought-Based Brain-Computer Interfaces.” *Boston College Computer Science Department*: 2–25. http://www.bc.edu/content/dam/files/schools/cas_sites/cs/local/bach/2010/10DanSzafir.pdf.

Uriate, Jerry. 2012. “Tipos de Microfonos.” 53 http://aprendeapincharmusica.com/sonido_manuales/tipos-de-microfonos/.

Valderrama, E. & Ulloa, G. 2011. “Análisis Espectral de Parámetros Fisiológicos Para La Detección de Emociones.” *Revista S&T*: 27–49.

Wikipedia®. 2014a. “Bluetooth.” http://es.wikipedia.org/wiki/Bluetooth.

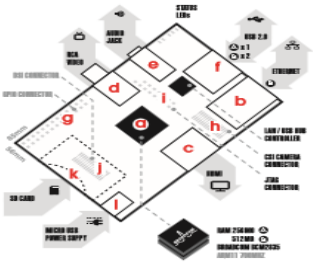
———. 2014b. “Universal Serial Bus.” http://es.wikipedia.org/wiki/Universal_Serial_Bus.

ANEXOS

Raspberry Pi

MODEL B

Product Name	**Raspberry Pi Model B**
Product Description	The Raspberry Pi is a small, powerful and lightweight ARM based computer which can do many of the things a desktop PC can do. The powerful graphics capabilities and HDMI video output make it ideal for multimedia applications such as media centres and narrowcasting solutions. The Raspberry Pi is based on a Broadcom BCM2835 chip. It does not feature a built-in hard disk or solid-state drive, instead relying on an SD card for booting and long-term storage.
RS Part Number	**756-8308**
Specifications	
Chip	Broadcom BCM2835 SoC (a)
Core architecture	ARM11
CPU	700 MHz Low Power ARM1176JZFS Applications Processor
GPU	Dual Core VideoCore IV® Multimedia Co-Processor Provides Open GL ES 2.0, hardware-accelerated OpenVG, and 1080p30 H.264 high-profile decode Capable of 1Gpixel/s, 1.5Gtexel/s or 24GFLOPs with texture filtering and DMA infrastructure
Memory	512MB SDRAM
Operating System	Boots from SD card, running a version of the Linux operating system
Dimensions	85.6 x 53.98 x 17mm
Power	Micro USB socket 5V, 1.2A (l)
Connectors:	
Ethernet	10/100 BaseT Ethernet socket (b)
Video Output	HDMI (rev 1.3 & 1.4) (c); Composite RCA (PAL and NTSC) (d)
Audio Output	3.5mm jack (e), HDMI
USB 2.0	Dual USB Connector (f)
GPIO Connector	26-pin 2.54 mm (100 mil) expansion header: 2x13 strip. Providing 8 GPIO pins plus access to I²C, SPI and UART as well as +3.3 V, +5 V and GND supply lines (g)
Camera Connector	15-pin MIPI Camera Serial Interface (CSI-2) (h)
JTAG	Not populated (i)
Display Connector	Display Serial Interface (DSI) 15 way flat flex cable connector with two data lanes and a clock lane (j)
Memory Card Slot	SDIO (k)



Accessories

▲ Camera Module
775-7731

▲ International power supply
765-3311

▲ 8GB SD card pre-programmed with NOOBS - **779-6770**

▲ Expansion board
772-2974

▲ WiFi dongle
760-3621

▲ 10400mAh Li-Ion battery pack
775-7517

▲ Raspberry Pi user guide
768-6686

RS

Figura 102. Características tarjeta Raspberry PI modelo B.

BLOCK DIAGRAM

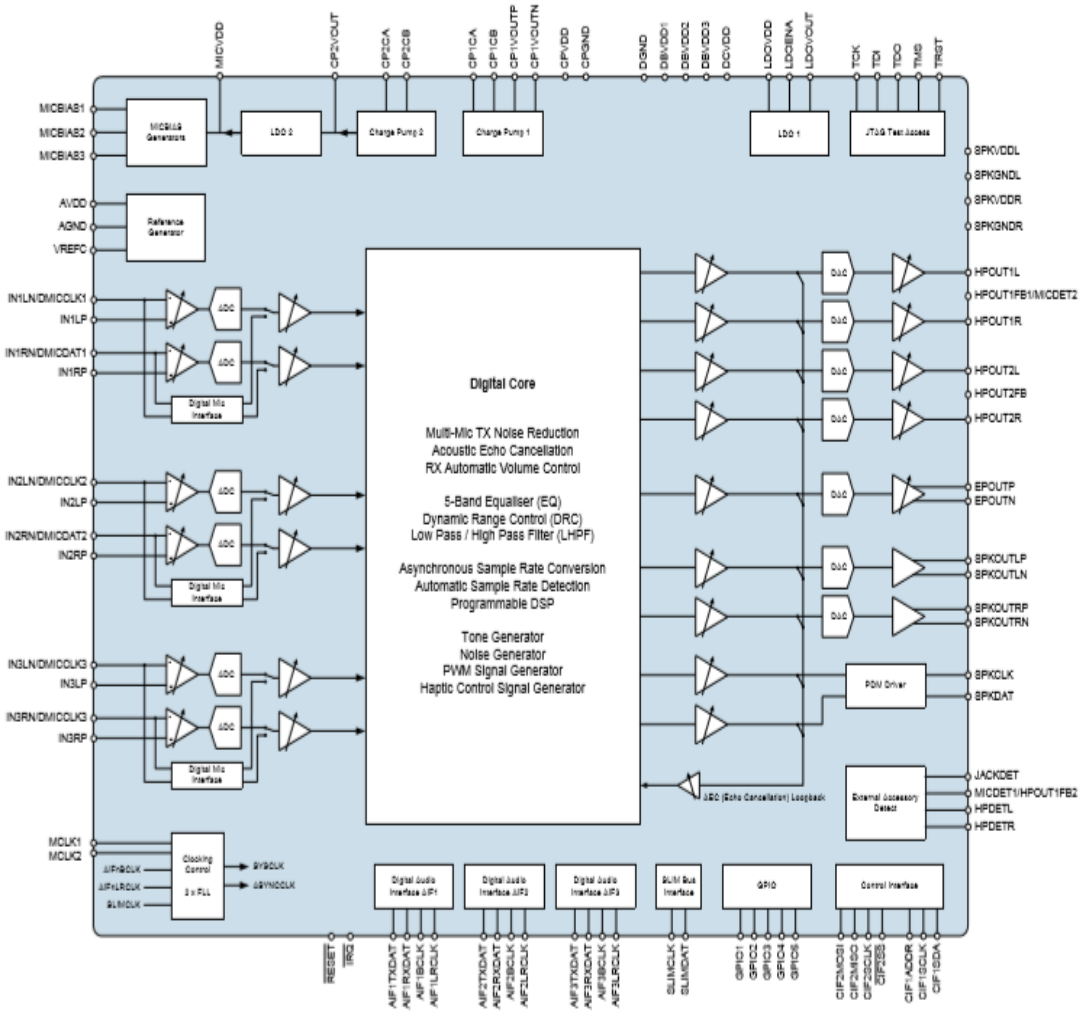


Figura 103. Diagrama de bloques Wolfson audio card.

Dual 4-channel analog multiplexer/demultiplexer

74HC/HCT4052

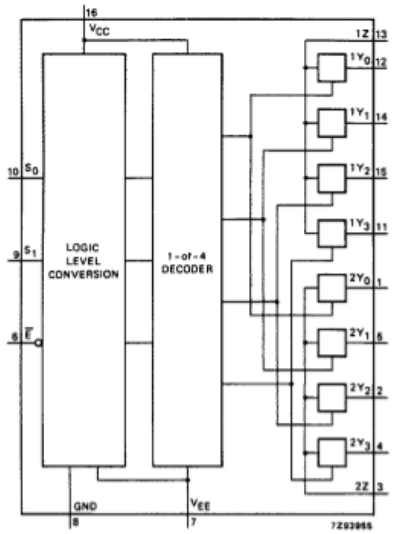


Fig.4 Functional diagram.

APPLICATIONS

- Analog multiplexing and demultiplexing
- Digital multiplexing and
- demultiplexing
- Signal gating

FUNCTION TABLE

INPUTS			CHANNEL ON
$\overline{E}$	S_1	S_0	
L	L	L	$nY_0 - nZ$
L	L	H	$nY_1 - nZ$
L	H	L	$nY_2 - nZ$
L	H	H	$nY_3 - nZ$
H	X	X	none

Notes

1. H = HIGH voltage level
   L = LOW voltage level
   X = don't care

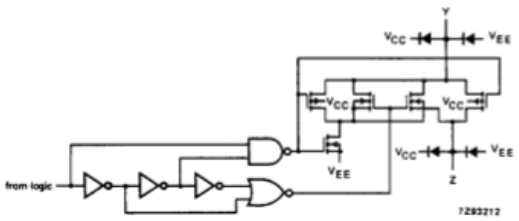


Fig.5 Schematic diagram (one switch).

Figura 104. Características del multiplexor analógico 74HC4052.

ACTA DE ENTREGA

El proyecto de titulación "SISTEMA EMBEBIDO DE UN AUDÍFONO INTELIGENTE PARA PERSONAS CON DISCAPACIDAD AUDITIVA A TRAVÉS SENSORES NEUROLÓGICOS." fue entregado al Departamento de Eléctrica y Electrónica en la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, desde:

Sangolquí: 19 DE ENERO DE 2015

ELABORADO POR:

Claudio Pozo Claudio Guillermo

1720143666

Díaz Briceño Andrés Fernando

1721942868

AUTORIDADES:

Ing. Luis Orozco MSc.

DIRECTOR DE LA CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

Ing. Paul Bernal MSc.

DIRECTOR DE LA CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES