

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

Díaz Andrés, Castillo Claudio, Ing. Sáenz Fabián, Ing. Romero Carlos.
Departamento de Eléctrica y Electrónica en Telecomunicaciones – Automatización y Control
Universidad de la Fuerzas Armadas ESPE
Quito - Ecuador

Resumen.- El presente artículo describe el diseño e implementación de un sistema embebido para personas con discapacidad auditiva leve mediante el uso de un casco sensorial EPOC EMOTIV para el control de un arreglo de micrófonos, mejorando la calidad auditiva y comprensión al estar presente a varias fuentes de sonido o personas. El principal objetivo es determinar un dispositivo que mejore la calidad de vida de personas con niveles bajos de sordera haciendo uso de tecnologías de última generación.

Palabras Clave.- BCI (Brain Computer Interface), EPOC Emotiv, Raspberry, Control Difuso.

I. INTRODUCCIÓN

La discapacidad auditiva representa una alteración sensorial muy común en la población en general de lo que podemos imaginar, esto involucra que las personas con este tipo de déficit tienen problemas de aprendizaje hasta el punto de no aprender el lenguaje dependiendo de factores como el grado de afección, la edad a la que aparece y la rapidez en que se toman medidas correctoras [1].

En el mercado se puede encontrar diferentes dispositivos que pueden adquirir para solventar los problemas de audición, sin embargo la mayoría de estos tienen costos elevados debido a que en nuestro país el estudio e investigación de dispositivos es muy bajo o prácticamente nada.

Por lo cual empezó un primer estudio sobre un dispositivo que ayudará a las personas con discapacidad auditiva leve a mejorar la calidad de

audición al estar presente a varias fuentes de sonido, con lo cual podemos solventar el problema de los dispositivos actuales, los cuales no pueden hacer una identificación y discriminación de varias fuentes de sonido [2]. Estos simplemente amplifican toda señal de audio lo cual es ensordecedor para las personas con discapacidad auditiva.

El sistema plantea un dispositivo que controle un arreglo de micrófonos que puedan discriminar varias fuentes de sonido, con el uso de un casco sensorial a través de sensores neuronales. Toda esta información será procesada por una tarjeta controladora para la activación de los diferentes canales de audio.

Existen varios dispositivos en el mercado para tratar los diferentes tipos de sordera con diferentes costos, por lo cual se buscó que sea un dispositivo no invasivo y de bajo costo para personas de escasos recursos.

II. SISTEMA BCI

El sistema BCI consiste en un conjunto de dispositivos electrónicos, se establece de esta forma un sistema de comunicación que permite al usuario transmitir su intención al mundo exterior a través del pensamiento o gesticulaciones sin depender de los canales habituales usadas en las interfaces hombre – máquina [3].

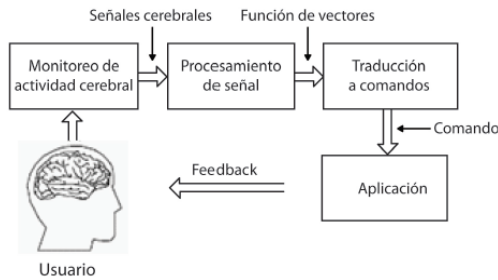


Fig 1. Sistema BCI.

El sistema completo BCI contempla los bloques que se pueden apreciar en la figura 1, el monitoreo de la actividad sensorial lo realiza el casco EPOC Emotiv hacia una tarjeta controladora que hará el procesamiento digital de señales y la traducción de las mismas en comandos de control, los cuales están conectados a un multiplexor análogo 4 a 1 para que se pueda habilitar el canal entre uno de los micrófonos del arreglo y los auriculares del usuario.

III. CASCO SENSORIAL EPOC EEG

Las señales neuronales tienen características no lineales y variantes en el tiempo, por esta razón se han inventado diferentes tipos de técnicas para tener una representación del funcionamiento del cerebro humano.

De todas las técnicas de imágenes cerebrales que existen, el electroencefalograma (EEG) es la más utilizada debido a su facilidad de manejo y un menor costo comparado con los demás. Éste es un procedimiento que consiste en medir las señales del cerebro con el fin de estudiar el sistema nervioso [4]. Se mide la actividad eléctrica de un grupo de células neuronales de la corteza cerebral o del cuero cabelludo y cuentan con las siguientes características:

- Señales débiles y con fuerte ruido de fondo.
- Señal EEG está entre los 50uV y 100uV.
- Señal aleatoria y no periódica estacionario.

Para fines prácticos y de investigación se usará el casco sensorial EPOC EMOTIV EEG el cual nos

presenta la información de 14 sensores neuronales que se encuentran distribuidos de forma estratégica sobre el cuero cabelludo [5].



Fig 2. EPOC Emotiv.

Con esta distribución de sensores se pueden determinar emociones, pensamientos y gestos que el usuario puede hacer.

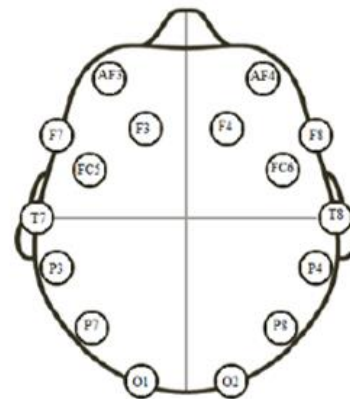


Fig 3. Distribución de sensores EPOC.

Las principales características del EPOC Emotiv son las siguientes:

- Muestreo Secuencial – Single ADC.
- Tasa de muestro 128Hz.
- Ancho de banda de 0.2 – 45 Hz.
- Filtros Notch a 50Hz y 60Hz.
- Filtro digital sinc de 5to orden.
- Conexión inalámbrica 2.4Gz
- Batería de litio
- 12 horas de vida útil de batería

Este dispositivo se presenta como la mejor opción que existe en el mercado en relación precio – funcionalidad para realizar proyectos del tipo BCI.

Además de contar con una gama amplia de SDKs de pago según sean los requerimientos planteados.

También cuenta con un giroscopio, el cual puede detectar de manera precisa el movimiento de la cabeza del usuario.

IV. TARJETA DE PROCESAMIENTO

En nuestro proyecto tenemos definidos dos tipos de tarjetas controladoras.

La tarjeta Raspberry Pi Model B es un dispositivo de tamaño diminuto 85.6 x 53.98 x 17 mm, que tiene un buen desempeño gracias a sus características como se puede apreciar en la siguiente tabla:

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
Alimentación	micro USB

Tabla 1. Características de Raspberry Pi B.

Su principal sistema operativo es el Raspbian que es una distribución de Linux, esto permite si programación en diferentes lenguajes como el Python, C, C++, Java, etc.



Fig 4. Raspberry Pi Model B.

También admite la integración de tarjetas de expansión para el desarrollo de proyectos de control y domótica, pero en este caso mencionaremos la tarjeta de audio que es de vital importancia en el tratamiento de la señal de voz [6].

La tarjeta Wolfson Audio Card se presenta como la solución para el tratamiento de señales de audio, en la siguiente figura se aprecia la tarjeta.



Fig 5. Wolfson Audio Card.

Esta tarjeta es compatible con la tarjeta con la Raspberry Pi modelo B ya que simplemente se monta sobre esta y amplía los puertos de audio como se puede observar en la figura 5. Las principales características son las siguientes:

- Conexión 3.5 mm tipo jack (4-pole) auriculares y micrófono integrado.
- Conexión 3.5 mm tipo jack entrada de audio.

- Micrófono integrado en la placa de tipo MEMS
- Conexión 3.5 mm tipo jack entrada de audio digital sin amplificar.
- Salida audio amplificada la cual requiere de una alimentación externa.
- Amplificador tipo D

Permite el tratamiento de señales de audio con diferentes calidades de audio, tasas de muestreo y formatos de audio convirtiéndola en una solución versátil para el tratamiento de señales de audio [7].



Fig 6. Raspberry con tarjeta de audio Wolfson.

En la figura 6 podemos apreciar la integración de las dos tarjetas para la aplicación BCI.

V. ADQUISICIÓN DE DATOS

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 [8].

Cada informe contiene la siguiente información:

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

Los paquetes de 32 bytes son recibidos desde el Epoc hacia el dongle USB a 128Hz. Estos tienen

una frecuencia a lo que se van actualizando con las siguientes características:

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

Una visión general del diseño de paquetes de 256 bits:

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	?

Tabla 2. Distribución de paquetes.

Una de las funciones del programa es reconocer el dongle para que se puedan apreciar los valores que nos entregará el casco sensorial por lo cual pasará por un proceso de descryptación previo antes de ser leídos del paquete de datos.

VI. ANÁLISIS DE SEÑALES NEURONALES

Para analizar y entender las señales que nos proporciona los sensores de un electroencefalograma, primero deben pasar por una fase de filtrado [9]. Esta nos permite eliminar el ruido que se presenta de forma natural a nuestras mediciones.

El determinar los filtros adecuados para el las señales es caso para muchos estudios e investigaciones ya que permite apreciar de forma más clara las características en diferentes patrones cerebrales.

Las principales características presentes en unos electroencefalogramas son las siguientes:

- Ondas Delta entre 0.5 y 3 Hz.
- Ondas Theta entre 3.5 a 7 Hz
- Ondas Alpha entre 8 a 13 Hz
- Ondas Beta ente 14 a 30 Hz

Cada una presenta diferentes características o comportamientos cerebrales.

Para fines investigativos vamos a tomar un grupo de datos que serán exportados a un archivo Excel los cuales serán analizados con Matlab.

El paquete de diseño de filtros Fdatools nos permite diseñar y analizar en el dominio del tiempo y la frecuencia diferentes tipos de filtros, los cuales serán usados en el tratamiento de señales EEG.

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

- Frecuencia de muestreo: 128 Hz
- Frecuencia de corte inferior: 4 Hz
- Frecuencia de corte superior: 8 Hz

Estos datos son ingresados en la herramienta Fdatools para el diseño teniendo como respuesta un

sensor Chebyshev tipo 2 de orden 30.

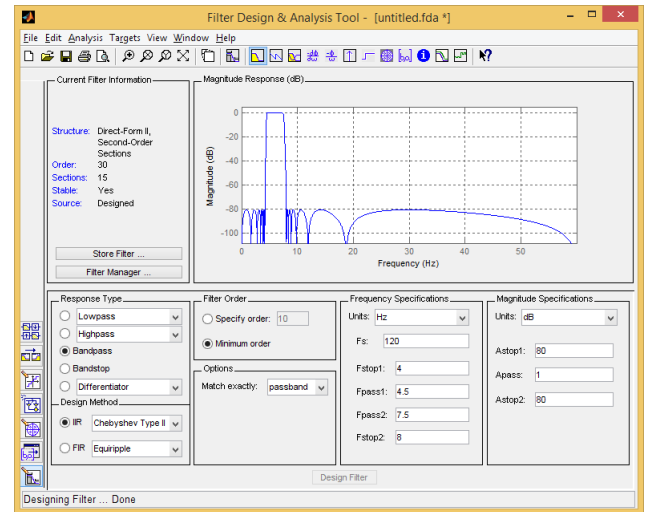


Fig 7. Filtro Chebyshev tipo 2.

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.

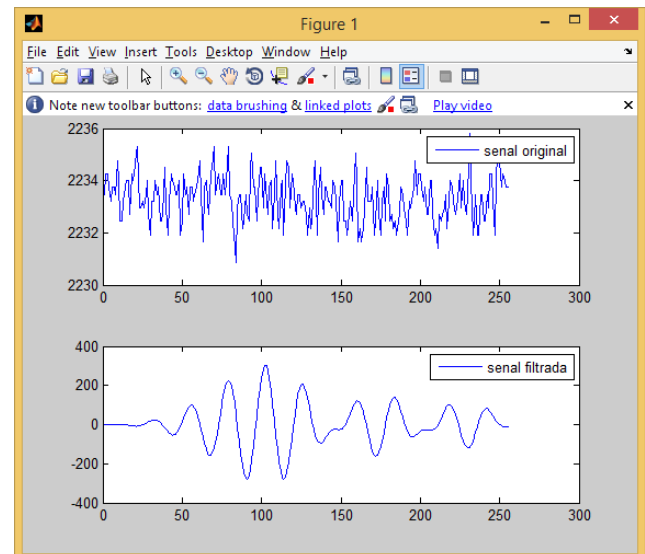


Fig 8. Muestra de dato Sensorial y Filtrado.

Podemos observar en la figura 8 que la señal presenta un patrón más estable, menos perturbaciones y eliminado el ruido (las otras bandas de frecuencias interfieren en el análisis en la banda theta).

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.

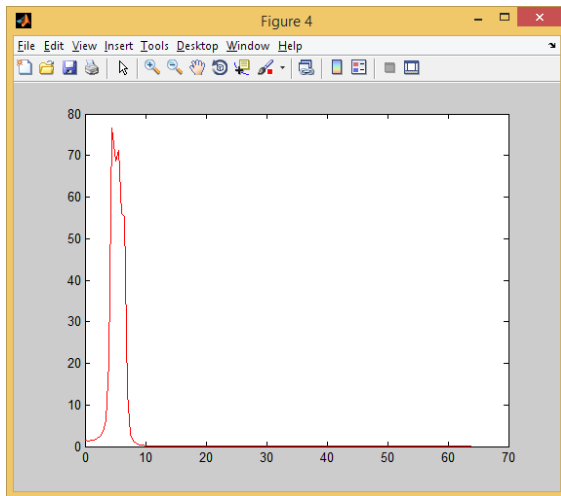


Fig 9. FFT de señal filtrada.

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 ganancia en la banda de frecuencias Theta.

VII. ANÁLISIS DE FILTRAJE Y OPTIMIZACIÓN DE SISTEMA

El tiempo para realizar una instrucción es de vital importancia en el control del sistema. Para lo cual analizamos el tiempo que le toma a la tarjeta Raspberry Pi realizar el filtraje y la solución para garantizar que el sistema sea preciso y lo ejecute en tiempo real.

En la siguiente tabla comparativa se analizará el tiempo de respuesta al aplicar el filtraje Chebyshev tipo 2 de orden 30 a cada sensor del sistema.

Sensor Epoc Emotiv	Tiempo de Procesamiento (s)
1 Sensor Neuronal	60

Tabla 3. Tiempo de procesamiento 1 sensor

Como podemos apreciar en la tabla 3 el tiempo

medio para el análisis de la señal de un sensor neuronal es de 60 segundos, con una tasa de muestro de 128 Hz.

El aplicar filtraje a los 14 sensores representa una carga bastante pesada para la tarjeta Raspberry Pi.

Sensor Epoc Emotiv	Tiempo de Procesamiento (s)
14 Sensores Neuronales	840

Tabla 4. Tiempo de procesamiento 14 sensores

En la tabla 4 se puede observar el tiempo que el sistema necesita para realizar el filtraje a todos los sensores del casco sensorial.

Al tener un tiempo tan alto en la fase de filtraje ocasiona que nuestro sistema pierda datos y no se cumple el control en tiempo real.

Optimización del sistema

Para obtener los resultados deseados se implementó un algoritmo de entrenamiento que busca la mayor actividad en una región de la corteza cerebral cuando el usuario realiza un gesto.

Con este algoritmo localizamos cual sensor tiene un cambio abrupto y lo mantenga al pasar de un estado relajado a un estado donde se haga un gesto.

Finalmente determinamos que los sensores F7, P7, T7 y T8 son los encargados de detectar cuando un usuario realiza un gesto para la derecha o izquierda, en cambio estos mismos sensores en estado normal nos indican cuando el usuario está relajado (sin hacer ningún gesto).

Para realizar el control difuso se tomaron los 4 sensores que detectan la mayor actividad en una región en específico del cerebro, garantizando que sea en tiempo real.

VIII. CONTROLADOR DEL SISTEMA

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 [10].

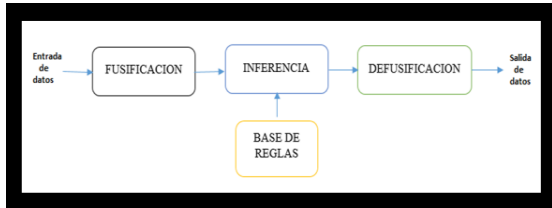


Fig 10. Sistema basado en técnicas de lógica difusa.

En un controlador difuso se ejecuta tres pasos de procesamiento:

Fusificación, tiene como objetivo convertir valores reales en valores difusos.

Inferencia, relaciona los conjuntos difusos de entrada y salida para representar las reglas que definirán el sistema.

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.

Pasos para diseñar un controlador difuso, se debe tener en cuenta los siguientes pasos.

A. 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.

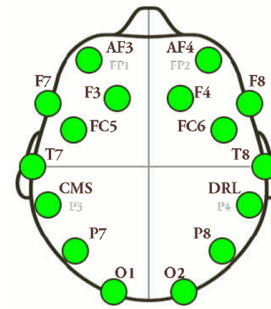


Fig 11. Posición de los sensores del Emotiv Epoc headset.

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

Tabla 5. Entradas del controlador.

B. Rango de operación de las variables de entrada y salida.

Se hace referencia al límite de las entradas.

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

Tabla 6. Límites de las variables.

C. Definición de grados de pertenencia.

El proceso de fusificación permite que las entrada del sistema tengan un grado de pertenencia 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)

D. 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.

	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

Tabla 7. Conjunto de reglas.

Diseño del controlador

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

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.

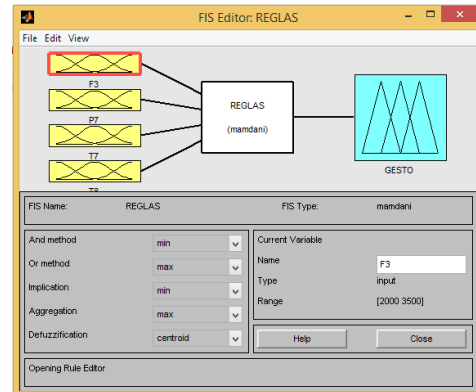


Fig 12. Ingreso de las entradas del sistema.

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.

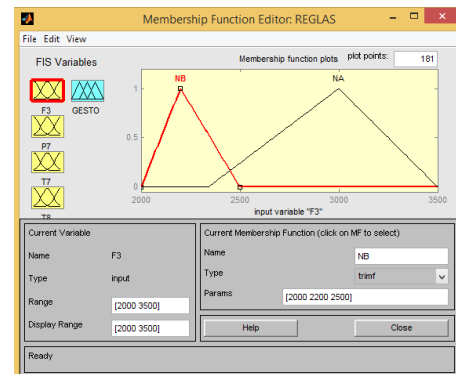


Fig 13. Membresías y límites de la entrada 1.

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.

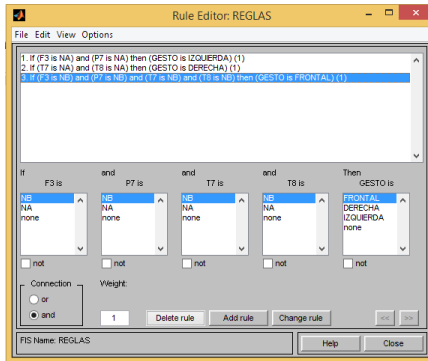


Fig 14. Conjunto de reglas del sistema difuso.

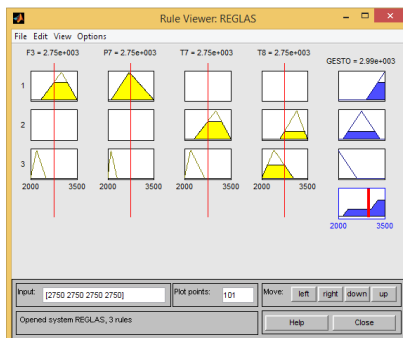


Fig 15. Vista y verificación de reglas.

IX. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA

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

- 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 el mismo que servirá para 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 CI4052 el cual es un multiplexor analógico.

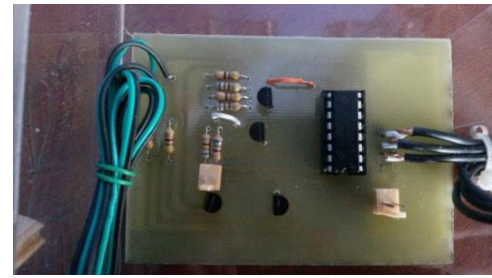


Fig 16. Placa del circuito multiplexor.

Sistema completo.

Finalmente la propuesta de diseño del sistema embebido completo y podemos apreciar en la siguiente figura 18 el proyecto terminado.

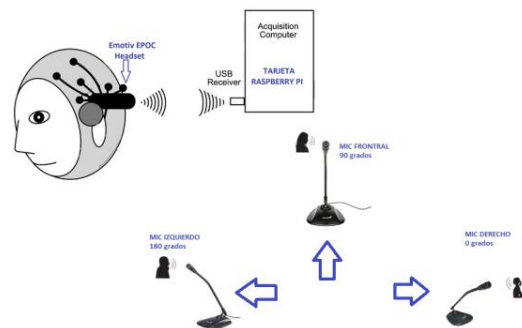


Fig 17. Diseño del sistema embebido.



Fig 18. Sistema embebido completo.

X. PRUEBAS Y ANÁLISIS DEL SISTEMA

Para las respectivas pruebas de funcionamiento una vez encendido los equipos la tarjeta de control como la diadema Emotiv EPOC 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 19, se muestra el gesto relajado prácticamente no se debe hacer ningún movimiento ni gesto con el rostro.

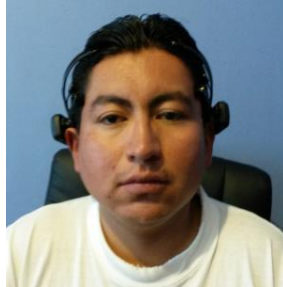


Fig 19. Gesto relajado.

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.

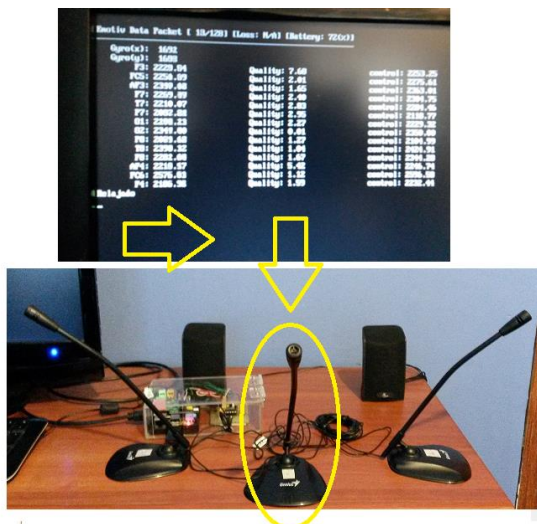


Fig 20. Interpretación del gesto y activación del micrófono frontal.

Segunda prueba, realizando el gesto con el rostro en este caso una mueca hacia la derecha como se observa en la figura 21.

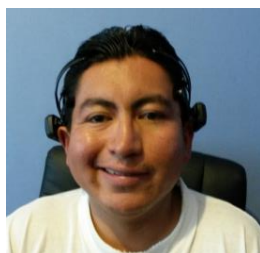


Fig 21. Gesto a la derecha.

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.

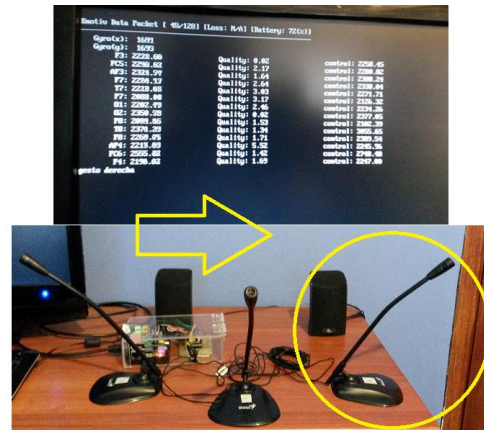


Fig 22. Interpretación del gesto y activación del micrófono derecho.

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.

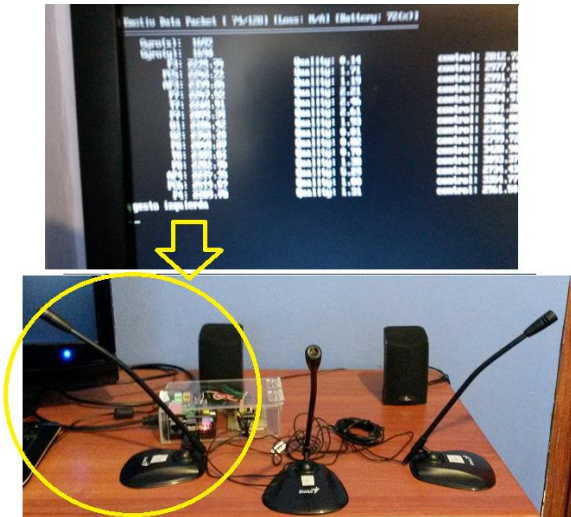


Fig 24. Interpretación del gesto y activación del micrófono izquierdo.

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.

XI. 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.

XII. TRABAJOS A FUTURO

- 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.
- Crear una aplicación que permita manipular objetos situados en otros lugares utilizando estos sistemas BCI y haciendo uso de la red de internet u otro medio de transmisión.

REFERENCIAS

- [1] Blog de WordPress.com, “Tecnologías de ayuda para personas con discapacidad auditiva,” *Blog de Nuevas Tecnologías*, 2010. .
- [2] Ministerio de Finanzas, “Agenda Nacional para la Igualdad, en la temática de Discapacidades, 2013-2017.”
- [3] D. J. Szafir, “Non-Invasive BCI through EEG,” Boston College Computer Science Department, 2010.
- [4] G. Valderrama, E. & Ulloa, “Análisis espectral de parámetros fisiológicos para la detección de emociones,” *Rev. S&T*, pp. 27–49, 2011.
- [5] “Características Emotive EPOC,” 2013. [Online]. Available: <http://www.emotiv.com/epoc/features.php>.
- [6] J. Andrade, “Raspberry Pi Model B,” 2012. [Online]. Available: 56 <http://es.engadget.com/2012/08/11/raspberry-pi-model-b-analizado/>.
- [7] S. García, “ESTUDIOS Y EQUIPOS DE AUDIO,” 2014. [Online]. Available: <http://www.analfatecnicos.net/pregunta.php?id=34>.
- [8] D. EmotivSoftware, “User Manual for Release 1.0.0.3,” p. 76, 2012.
- [9] V. K. Ingle and J. G. Proakis, *Digital signal processing using Matlab V.4*, Third. 2007, p. 419.
- [10] M. Bonifacio and A. Sanz, *Redes neuronales y sistemas difusos*, Segunda. 2002, p. 399.