

Diseño e Implementación de un Prototipo para el Monitoreo de Señales EEG Utilizando el Módulo Mikromedia dsPIC33 y su Visualización en un PC a través de Transmisión Bluetooth

Israel Iza Ch., Adrián Quijije H.

Resumen-- El prototipo EEG implementado cumple como objetivo la lectura de impulsos cerebrales por medio de 8 canales bipolares, los datos son digitalizados y se pueden transmitir por medio de la interface SPI, estos son debidamente tratados para dar una respuesta numérica en voltaje, además, la visualización gráfica del primer canal adquirido en un TFT Touch Screen integrado en el prototipo; para poder observar todos los canales se requiere un PC con comunicación Bluetooth, el prototipo envía los datos de todos los canales para su gráfica en el PC.

Palabras-Clave- Prototipo EEG, Electroencefalograma, Controlador dsPIC33, Tarjeta ADS1299EEG-FE, Interface SPI.

I. INTRODUCCIÓN

El cerebro ha sido objeto de grandes estudios debido a la complejidad que este representa, la ciencia y tecnología han realizado avances en este campo al analizar la respuesta de los impulsos cerebrales y determinar la existencia de patologías. Por tal motivo, es importante el desarrollo de dispositivos que puedan estar al alcance del mayor número posible de personas.

El presente proyecto propone diseñar e implementar un prototipo EEG que permita adquirir impulsos cerebrales de tal manera que se pueda observar gráficamente el comportamiento de los mismos. Además mediante software en un PC se pueden respaldar los datos para un posterior análisis con un especialista y así determinar la existencia o no de alguna patología.

El prototipo EEG realiza su trabajo en diferentes etapas: adquisición de datos, tratamiento de datos, visualización gráfica y envío de datos mediante transmisión Bluetooth hacia un PC.

II. ESTANDARES DE LA SEÑAL EEG CON SUS DIFERENTES FRECUENCIAS

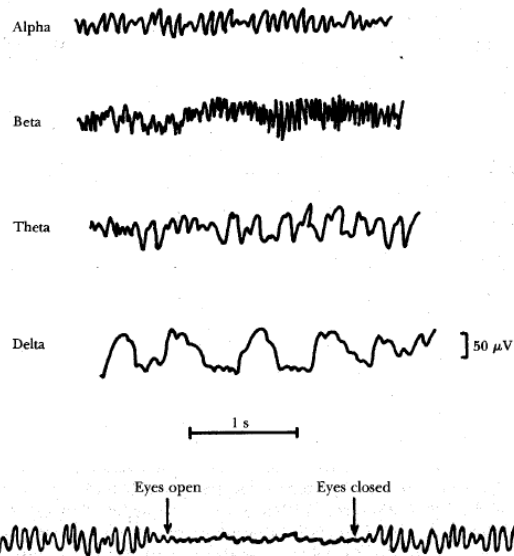


Fig. 1. Ritmos normales de un electroencefalograma

RITMOS	FRECUENCIAS (Hz)	REGISTRO	REGIÓN
Ondas α	7,5 a 13	Sujetos normales despiertos en reposo y con los ojos cerrados.	Zona occipital
Ondas β	13 a 35	Sujeto despierto en condiciones normales.	Regiones parietal, frontal y central.
Ondas θ	3.5 a 7.5	Infancia y adultos con stress emocional y frustración. Adormecimiento en adultos.	Zona temporal.
Ondas δ	0.5 a 3.5	Sueño profundo, en la infancia primaria y en enfermedades orgánicas cerebrales graves.	Variable en función de la región afectada. En sueño, difusa.

Tabla 1. Características de los ritmos normales de un electroencefalograma

III. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE HARDWARE

El prototipo EEG a diseñarse en el presente proyecto captará las señales EEG de 16 electrodos a través de una tarjeta de adquisición de señales EEG, dispondrá de una pantalla TFT Touch Screen con la cual se seleccionarán las opciones de operación del prototipo y se visualizará las señales fisiológicas del cerebro, este prototipo será portátil con una autonomía mínima de 4 horas y de dimensiones pequeñas de tal forma que el paciente pueda cargarlo sin causarle incomodidad, dispondrá de una unidad de Bluetooth para transmitir inalámbricamente las señales biológicas EEG a un PC el cual dispondrá de una interface HMI para captar las señales del prototipo, visualizarlas y almacenarlas.

Requerimientos

- Alimentación eléctrica vía USB al módulo Mikromedia dsPIC33, el mismo que dispone de una batería para darle la autonomía de 4 horas.
- 16 entradas analógicas con el acoplamiento hombre instrumento para captar las señales fisiológicas del cerebro.
- Conversor análogo digital de 8 canales que muestree simultáneamente cada uno de los canales con una resolución de 24 bits.
- Controlador inteligente para multiplexación, codificación de la señal adquirida de los 8 canales y envío de la información al módulo Mikromedia.
- Módulo Mikromedia dsPIC33 con pantalla Touch Screen de 320x240 pixeles y procesador dsPIC33FJ256GP710A.
- Transmisión inalámbrica vía Bluetooth con el computador.
- Soporte de memoria del módulo Mikromedia dsPIC33 mediante una memoria micro SD de 1Gb.

Para cumplir con los requerimientos se requiere de dos dispositivos indispensables:

- Módulo Mikromedia dsPIC33
- Tarjeta de adquisición ADS1299EEG-FE



Fig. 2. Módulo Mikromedia dsPIC33



Fig. 3. Tarjeta ADS1299EEG-FE

El prototipo se basa en el siguiente esquema

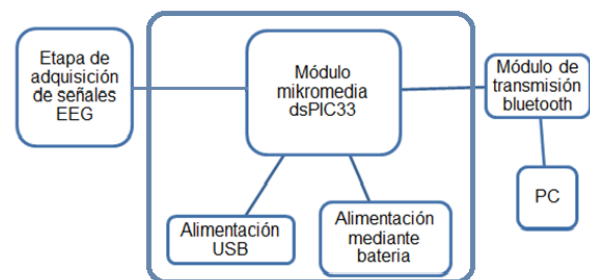


Fig. 4. Esquema general del prototipo

El prototipo EEG consta de 3 etapas, una de adquisición de señales para lo cual se empleara una tarjeta embebida disponible en el mercado y que cumpla con los requerimientos del proyecto, la segunda etapa dada por el módulo Mikromedia dsPIC33 el cual se encarga de la recepción, tratamiento, gráfica y envío de datos vía UART, finalmente la tercera etapa consta un módulo Bluetooth disponible en el mercado para enviarlos inalámbricamente hacia un PC.

En la implementación se debe emplear las diferentes salidas y módulos de comunicación del Mikromedia dsPIC33 para controlar y comunicarse con la tarjeta de adquisición ADS1299EEG-FE y con el Bluetooth HC-05.

Para conectar la fuente de alimentación a la tarjeta ADS1299 se necesitan tres niveles de voltajes diferentes, 1,8V, 3,3V y 5V que se encuentra en el conector J4, el módulo Mikromedia tiene como salidas de voltaje 5V y 3,3V, para obtener el valor de 1,8V se necesita un divisor de tensión.

CONECTOR J4 DE ADS1299EEG-FE

MIKROMEDIA FOR DSPIC33

PIN 5 (GND)	PIN 2 (GND)
PIN 7 (1,8V)	PIN 25 (3,3V)+divisor de tensión
PIN 9 (3,3V)	PIN 25(3,3V)
PIN 10 (5V)	PIN 1(VSYS)

Tabla 3. Conexión de alimentación de la ADS1299 con el Mikromedia

Las señales necesarias para establecer la comunicación SPI de la tarjeta ADS1299EEG-FE son: DIN, DOUT, SCLK, RESET, START, CLKSEL, CS Y EXT_CLK, que se encuentran en el conector J3; la forma de conectarlos con el módulo Mikromedia se muestra en la tabla 4.

CONECTOR J3 DE ADS1299EEG-FE	MIKROMEDIA FOR DSPIC33
PIN 1 (CLKSEL)	PIN 2 (GND)
PIN 3 (SCLK)	PIN 16 (RF6)
PIN 7 (CS)	PIN 6 (RB4)
PIN 11 (DIN)	PIN 18 (RF8)
PIN 13 (DOUT)	PIN 17 (RF7)
PIN 17 (EXT_CLK)	PIN 16 (RF6)
PIN 14 (START)	PIN 7 (RB5)
PIN 8 (RESET)	PIN 5 (RB3)

Tabla 4. Conexión de la interface SPI de la ADS1299 con el Mikromedia

Para establecer la comunicación serial se requiere el uso del puerto UART1 del módulo Mikromedia para dsPIC33, se requiere una señal para transmitir Tx hacia el módulo Bluetooth. La alimentación del módulo Bluetooth puede ser con 3,3V o 5V que son obtenidos mediante el módulo Mikromedia. La forma de conexión se indica en la tabla 5, es necesario considerar que para la transmisión serial la conexión es cruzada entre Rx y Tx de los dispositivos.

BLUETOOTH HC-05	MIKROMEDIA FOR DSPIC33
PIN 1 (GND)	PIN 52 (GND)
PIN 2 (3,3V)	PIN 51 (3,3V)
PIN 5 (Rx)	PIN 48 (U1TX)

Tabla 5. Conexión serial del Bluetooth HC-05 con el Mikromedia

Una vez conectados los dispositivos de la manera ya explicada se obtiene el siguiente diagrama de conexión.

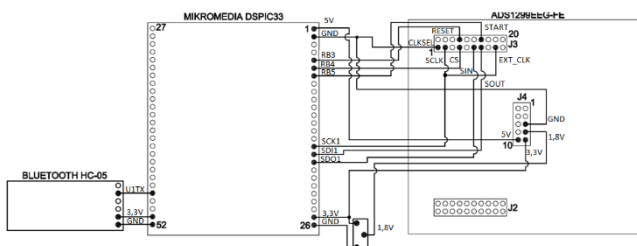


Fig. 5. Diagrama electrónico completo del prototipo EEG

El prototipo se desarrolló en una caja de acrílico de color negro de 20x10x8cm, en la que en la parte superior se muestra la pantalla TFT del módulo Mikromedia para dsPIC33 y un LED indicador del estado de la transmisión Bluetooth, en la parte frontal se colocó las entradas de los 8 canales, una referencia y un terminal de GND, y en la parte lateral se dispuso de un interruptor para el encendido del prototipo y un puerto mini USB para cargar la batería.

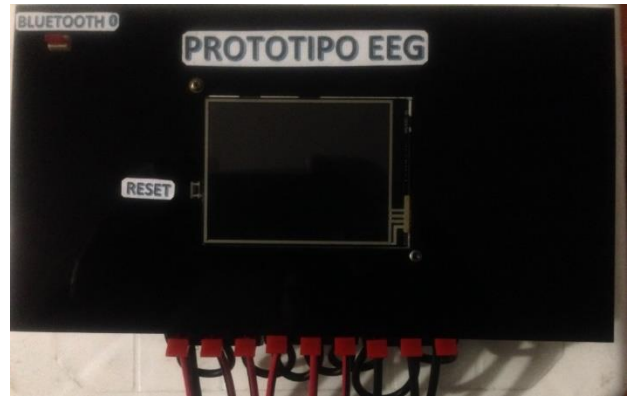


Fig. 6. Prototipo EEG

IV. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE SOFTWARE

Diseño del software para la tarjeta multimedia

El software a diseñarse debe ser capaz de manipular el TFT Touch Panel, para mostrar de manera gráfica los datos adquiridos, controlar la tarjeta de adquisición de señales EEG ADS1299EEG-FE a través de la interface SPI, controlar la transmisión inalámbrica de datos por medio del módulo Bluetooth conectado al puerto UART y para la autonomía del prototipo deberá monitorear el nivel de batería.

Requerimientos

- Inicializar y controlar el TFT touch panel de 320x240 para visualizar de forma gráfica los datos adquiridos del canal 1 de la tarjeta de adquisición ADS1299EEG-FE y el nivel de batería.
- Diseñar una interface gráfica amigable al usuario que permita navegar por las diferentes ventanas del prototipo.
- Controlar la secuencia de encendido de la tarjeta de adquisición de datos ADS1299EEG-FE.
- Mediante el SPI configurar los registros que permiten el control y obtención de datos de los 8 canales con resolución de 24 bits disponibles en la tarjeta ADS1299EEG-FE.
- Interpretar y escalar los datos adquiridos byte por byte de la tarjeta ADS1299EEG-FE.
- Establecer la transmisión inalámbrica de datos vía Bluetooth por medio del puerto UART1 del módulo Mikromedia.
- Controlar el conversor análogo digital del módulo Mikromedia y el puerto UART2 para obtener el nivel de batería.

Para la parte inicial del diseño se empleó el software Visual TFT que permite la creación de varias pantallas de manera gráfica, su entorno permite el uso de componentes como figuras básicas (círculos, cuadrados), líneas, texto, imágenes, botones, etc.

Al crear un nuevo proyecto se realizan algunas configuraciones como la inicialización y calibración del TFT,

compilador a emplearse, controlador, frecuencia, etc. esto es necesario para un correcto funcionamiento al momento de cargar el programa en el prototipo.

Se realizaron tres ventanas por las que se puede navegar mediante el Touch Screen del prototipo.



Fig. 7. Diseño de pantallas con Visual TFT

El compilador seleccionado fue MikroC, en este se desarrolló código capaz de inicializar puertos, variables, módulos, para controlar la tarjeta de adquisición se empleó una secuencia de encendido dada por el fabricante y configuración de registros mediante SPI, también fue necesario el tratamiento y escalamiento de datos recibidos para su posterior visualización gráfica y envío mediante Bluetooth.

Diseño del software para la pc

El software a diseñarse en la PC debe ser capaz de recibir inalámbricamente los datos adquiridos en la tarjeta ADS1299EEG-FE, tratamiento y escalamiento de los datos a valores de voltaje, graficar en una interface los datos de los 8 canales y almacenar estos datos para control del paciente.

Requerimientos

- Una pantalla de presentación en la muestre el tema del proyecto, los autores y dos botones de navegación.
- Una pantalla que permita el ingreso del nombre del paciente, el número de muestras a capturar y la presentación grafica de los 8 canales.
- Se debe visualizar la gráfica de cada canal por separado y en conjunto.
- Debe existir la opción de guardar los datos para futuros controles médicos (historial médico).
- Debe mostrar una alerta cuando un canal se ha desconectado.

Para el diseño se empleó el software MatLab que permite la creación de varias pantallas de manera gráfica, su entorno permite el uso de componentes como figuras básicas (círculos, cuadrados), líneas, texto, imágenes, botones, etc.

Se realizaron dos ventanas por las que se puede navegar y

visualizar gráficamente los 8 canales disponibles en la tarjeta de adquisición.

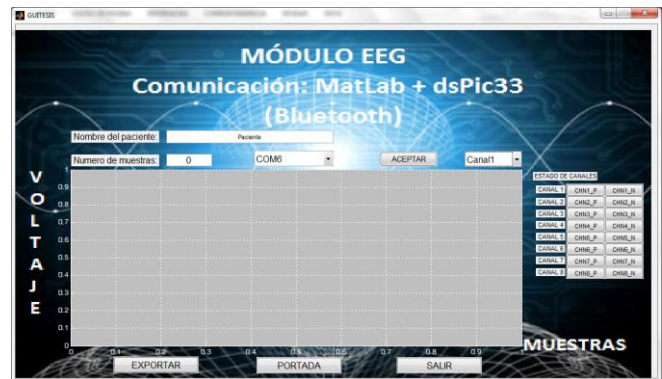


Fig. 8. Diseño de pantallas con MatLab

El código desarrollado es capaz de inicializar variables, puertos de comunicación, recepción de datos mediante Bluetooth, tratamiento y escalamiento de datos recibidos para su posterior visualización gráfica, muestra si algún canal se ha desconectado, permite el ingreso del nombre del paciente y en caso de ser necesario un diagnóstico se pueden guardar las señales recibidas para ser analizados por un especialista.

V. PPRUEBAS Y RESULTADOS

Para comprobar el buen funcionamiento del prototipo se realizaron pruebas utilizando las señales generadas internamente por la tarjeta ADS1299EEG-FE y el simulador de señales EEG, de tal forma que se pueda verificar la forma de la señal obtenida con el prototipo y sus amplitudes, además el almacenamiento de las señales adquiridas.

Pruebas del prototipo con las señales generadas internamente por la tarjeta de adquisición EEG

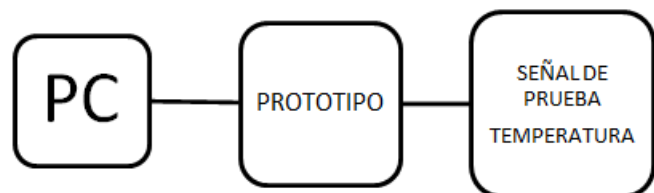


Fig. 9. Diagrama del escenario 1 de pruebas

Escenario 1a: pruebas con señales internas (Test Signal)

Para obtener la Test Signal generada internamente por la tarjeta ADS1299EEG-FE se configuró los registros CONFIG2 (02h) con D0h y los CHnSET (05h-0Ch) con 65h.

La señal de los canales debe ser cuadrada de acuerdo a las especificaciones de la ADS1299EEG-FE, tanto en el prototipo como en el PC se obtuvieron señales satisfactorias.

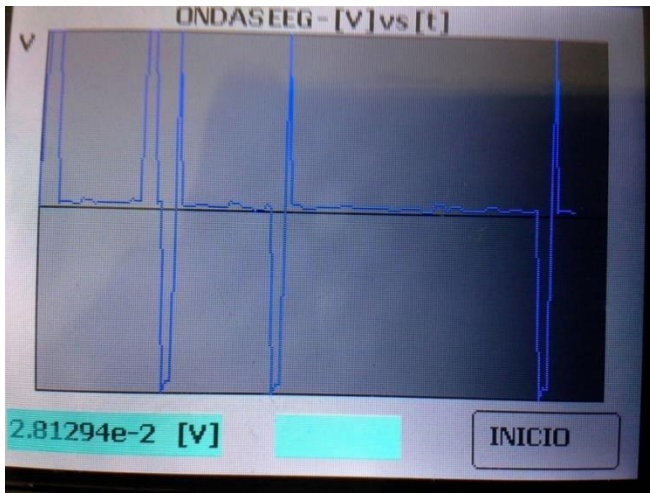


Fig. 10. Test signal Canal 1 en el prototipo

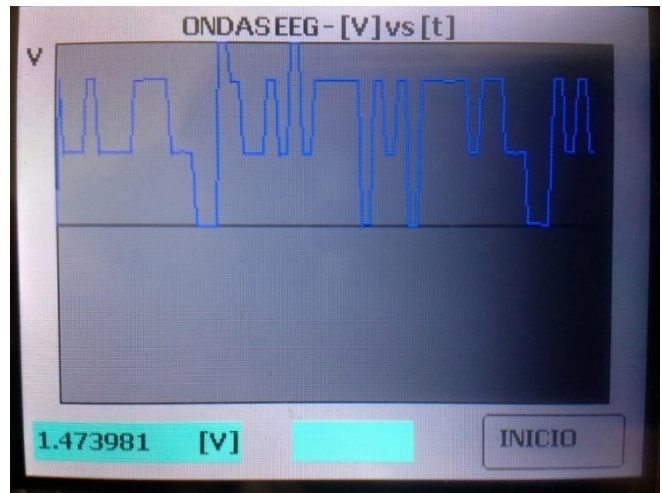


Fig. 12. Temperatura Canal 1 en el prototipo

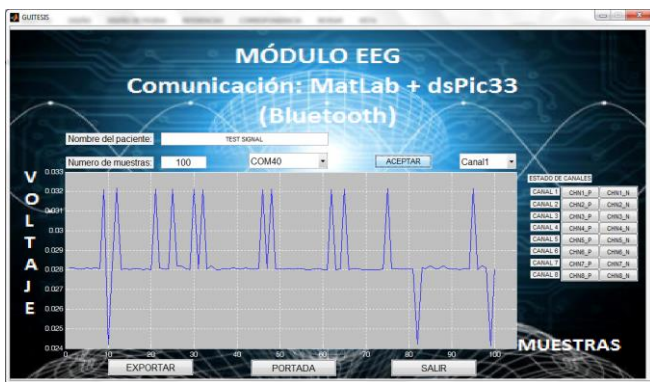


Fig. 11. Test signal Canal 1

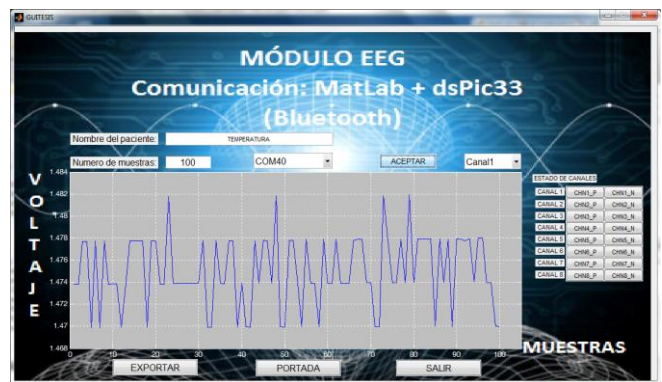


Fig. 13 Temperatura Canal 1

Escenario 1b: pruebas con señal de temperatura

Para obtener la señal de temperatura generada por el sensor de la tarjeta ADS1299EEG-FE se configuró los registros CHnSET (05h-0Ch) con 64h.

De igual manera las señales obtenidas fueron satisfactorias. Hay que considerar que el voltaje adquirido, con un valor aproximado de 1.47V, el mismo que equivale a 28°C utilizando la fórmula de transformación dada por el fabricante se refiere a la temperatura de la tarjeta mas no del ambiente.

Pruebas con el simulador EEG



Fig. 14 Diagrama del escenario 2 de pruebas

El escenario 2 de pruebas se realizó con el simulador NETECH MINISIM 330 de señales EEG, este genera una señal ABR (Respuesta del tronco encefálico, por sus siglas en inglés) para verificar el funcionamiento del prototipo.

Para desarrollar las pruebas con las señales generadas por el simulador EEG ha sido necesario configurar los registros CHnSET (05h-0Ch) con 60h para habilitar las entradas de todos los canales. En vista de que el generador solo dispone de 5 canales de salida ha sido necesario deshabilitar 3 canales en el prototipo desde el canal 6 al 8, este proceso se lo ha realizado mediante la conexión a tierra de dichos canales.

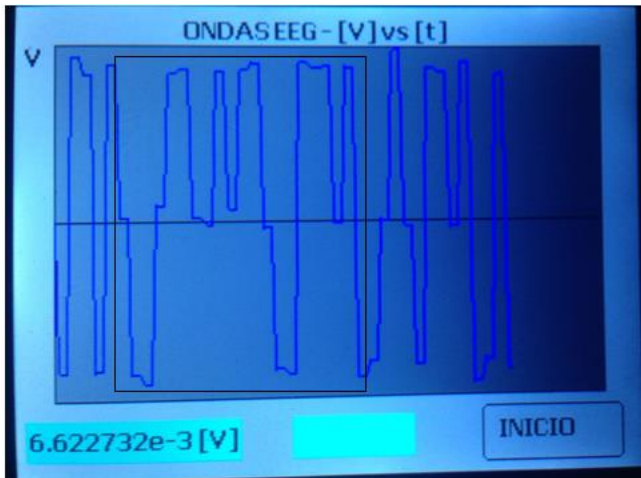


Fig. 15 Señal ABR canal 1 prototipo

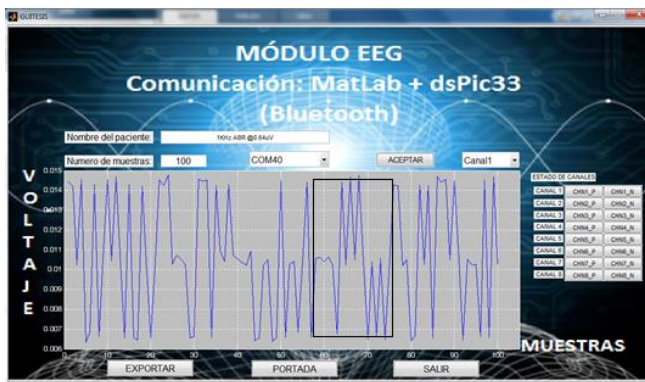


Fig. 16 Señal ABR canal 1 MATLAB

VI. CONCLUSIONES

- Analizar previamente las condiciones óptimas y necesarias para la ubicación de los electrodos contribuye a una mejor lectura y gráfica más clara con referencia a los estándares aprendidos en el presente proyecto.
- Emplear comunicación inalámbrica en el prototipo, facilita la transmisión de datos hacia un PC, porque se elimina la dependencia de cables y conectores, además el módulo HC-05 puede trabajar en dispositivos de bajo consumo de energía.
- La comunicación SPI utilizada en la comunicación entre la tarjeta de adquisición y el dsPIC33, permite que el flujo de datos sea simple y eficiente teniendo un mayor rendimiento con respecto a otros protocolos de comunicación.
- El uso de dispositivos embebidos como el Mikromedia dsPIC33 contribuye a mejorar la eficacia, el rendimiento y el tamaño del prototipo desarrollado debido a que los diferentes módulos están ubicados en forma estratégica en una tarjeta impresa con alta escala de integración, que favorece al bajo consumo de energía y alto rendimiento del prototipo.

- El uso de la interface gráfica del prototipo desarrollada en GUIDE de MATLAB permite una mejor visualización de las señales adquiridas con el prototipo, así como una fácil operación por parte del usuario mediante un entorno visual sencillo.
- Ofrecer la opción de exportar los datos adquiridos en el computador desde el prototipo en un archivo con extensión .xls, da la posibilidad al usuario de guardar la información de las señales cerebrales, para un futuro análisis en un centro médico por un especialista.
- Al ser probado el prototipo con el simulador EEG se obtuvieron resultados satisfactorios, se concluye que se han cumplido todos los objetivos propuestos en forma exitosa proporcionando a la sociedad un dispositivo de bajo costo que permita a los pacientes realizar la captura de las señales neurológicas del cerebro desde su casa y guardar los resultados mediante un archivo para un análisis posterior en un centro médico especializado.

VII. RECOMENDACIONES

- Para el diseño del prototipo es necesario tener un buen conocimiento de las características de los módulos que se van a emplear en el diseño, de esta manera nos aseguramos de cumplir con los requerimientos exigidos en el presente proyecto.
- Para la elección de la tarjeta embebida que va a funcionar en el control del sistema como en es el caso del presente proyecto la tarjeta Mikromedia para dsPIC33, se recomienda tomar en cuenta la cantidad de puertos de entrada y salida, la capacidad de memorias, los tipos de comunicación y el tamaño del dispositivo, que satisfaga los requerimientos del proyecto a desarrollar.
- Debido a que el prototipo emplea comunicación inalámbrica con el PC, se recomienda no situar el prototipo a más de 10 metros de la PC, para garantizar una transmisión de datos correcta.
- La parte superior del prototipo consta de un TFT Touch Screen, por lo que se recomienda tener cuidado y protegerlo de posibles golpes, en caso de romperse el TFT no se podrá ingresar a la aplicación pues todo es controlado de manera táctil.
- En la comunicación SPI se debe tener especial atención en el reloj de sincronización, el módulo Mikromedia y la tarjeta de adquisición deben estar sincronizados, por lo que se recomienda emplear un reloj externo y compartido para los dos dispositivos mencionados.

- Todos los cables y conectores empleados deben ser debidamente identificados, ya que de darse el caso de una falla se pueda reparar sin demora y agilizar el mantenimiento.
- La autonomía del prototipo es de 4 horas, por lo que se recomienda que al pasar de este se recurra a recargar la batería, en caso de no hacerlo los datos adquiridos no serán confiables y presentaran un alto margen de error.
- En la etapa de diseño de software se debe considerar el lenguaje de programación, las librerías, sentencias y bucles que disponemos para que el programa desarrollado no sea complicado.
- Durante el desarrollo de software se recomienda hacer comentarios o notas que permitan la identificación de procesos pues el código que se genera es muy extenso y para un futuro cambio puede ser complicado encontrar la sentencia que se requiere.
- En la parte gráfica del software es necesario que sea de tipo amigable y funcional para el usuario, se debe diseñar de tal manera que cualquier persona sin experiencia pueda emplearlo sin dificultad.

REFERENCIAS

- Alcántar Liliana, S. A. (Marzo de 2010). Obtenido de http://www2.uacj.mx/IIT/IEC/Digitales/PROYECTOS/Documentos_noviembre_2010/DESARROLLO%20DE%20UN%20CIRCUITO%20DE%20CAPTACION%20Y%20ACONDICIONAMIENTO%20DE%20SENALES%20CEREBRALES.pdf
- Anónimo. (s.f.). *GeoSalud*. Obtenido de <http://www.geosalud.com/alzheimer/alzheimer2.htm>
- Badillo, L. (Noviembre de 2004). Obtenido de <http://itzamna.bnct.ipn.mx/dspace/bitstream/123456789/1647/1/BADILLO.pdf>
- Chacón, N. (24 de Mayo de 2009). *Mejorforo*. Obtenido de <http://aemh.mejorforo.net/t780-historia-del-electroencefalograma>
- Flores-Río de la Loza, R.-B. R.-P. (10 de 02 de 2005). *Scribd*. Obtenido de <http://www.scribd.com/doc/6281404/Utilidad-Eeg-Demencias>
- Giménez, D. S. (25 de Abril de 2006). *Medicina21*. Obtenido de <http://oftalnet.com/doc.php?op=enfermedades3&p=E&ef=Epilepsia&id=2384>
- Guerrón Nancy, E. L. (Enero de 2011). *Repositorio Digital ESPE*. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/3669/1/T-ESPEL-0791.pdf>
- Hornos, T. (2009). Obtenido de http://www.gla.ac.uk/media/media_136620_en.pdf
- Molina Néstor, Á. R. (2008). Obtenido de [http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/9938/1/SI%20STEMA%20DE%20MONITOREO%20DE%20LAS%20ONDAS%20CEREBRALES%20\(ELECTROENCEFALOGRAMA\).pdf](http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/9938/1/SI%20STEMA%20DE%20MONITOREO%20DE%20LAS%20ONDAS%20CEREBRALES%20(ELECTROENCEFALOGRAMA).pdf)
- Navarro, R. B. (s.f.). *Electroencefalografía*. Madrid.
- Netech Corporation. (2011-2012). *Netech*. Obtenido de http://www.netechcorporation.com/productsdetails/22/9/EEG_Simulator
- S.L., I. (2008). *IdosE*. Obtenido de <http://www.idose.es/faq/49-sistemas-embebidos/54-que-es-un-sistema-embebido>
- Steven Dowshen, M. (Septiembre de 2013). *KidsHealth*. Obtenido de http://kidshealth.org/parent/en_espanol/medicos/eeg_es.html
- Texas Instruments. (Mayo de 2012). *Texas Instruments*. Obtenido de <http://www.ti.com/lit/ug/slau443/slau443.pdf>
- Texas Instruments. (Julio de 2012). ADS1299. Dallas, Texas, Estados Unidos.
- TTexas Instruments. (Agosto de 2012). *Texas Instruments*. Obtenido de <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/ads1299.pdf>