

Desarrollo de un sistema integrado para la clasificación de señales electromiográficas

Cristhian Manuel Durán Acevedo

Universidad de Pamplona, Pamplona, Colombia, cmduran@unipamplona.edu.co

Javier Eduardo Jáuregui Duarte

Universidad de Pamplona, Pamplona, Colombia, jejd123@gmail.com

ABSTRACT

The present article consist in the implementation of an integrated system based on a DSP (Digital Signal Processor) for the identification and classification of the EMG signals; for this purpose we used the Code Composer Studio V3.3 software, which was coupled with Simulink of Matlab for programming through TMS320F28335 board from Texas Instruments. The objective of the research was to create a model of an artificial neural network based on a pre-processing prior to then so embedded to implementing to DSP. The results were validated using the PCA analysis and discrimination technique. Through this application, it was possible to improve the processing speed, portability and versatility in the identification system EMG signals.

Keywords: DSP, Neural Network, PCA, Electromyography, Discrimination

RESUMEN

El presente artículo consiste en la implementación de un sistema integrado basado en un DSP (Procesador Digital de Señales) para la identificación y la clasificación de la señales EMG; para tal fin se utilizó el software Code Composer Studio V3.3, el cual fue acoplado con Simulink de Matlab para realizar la programación de la tarjeta TMS320F28335 de Texas instruments. El objetivo de la investigación fue crear un modelo de una red neuronal artificial a partir de un pre-procesamiento previo para luego de manera embebida implementar la red a la DSP. Los resultados fueron validados por medio de la técnica de discriminación y análisis de componentes PCA. A través de esta aplicación fue posible mejorar la velocidad de procesamiento, la portabilidad y versatilidad en el sistema de clasificación de las señales EMG.

Palabras claves: DSP, Redes neuronales, PCA, Electromiografía, Discriminación

1. INTRODUCCION

Una de las principales técnicas para adquirir información de los músculos del cuerpo es la electromiografía (EMG). La electromiografía es el estudio de los potenciales eléctricos generados por los músculos durante el movimiento (Christova., 1999) y (Nan., 2012). Los estudios realizados para implementar un hardware de tipo DSP para el procesamiento de las señales tanto EMG como ECG, se han ido estudiando en este campo, puesto que estos sistemas proporcionan una gran ventaja al momento de procesar señales que contiene gran cantidad de información. Uno de estos estudios es el trabajo realizado por el doctor Chi Jian y colaboradores, el cual obtuvo un importante avance en la adquisición de la información global de datos, en la detección de señales ECG en tiempo real y la transmisión inalámbrica de ECG. La aplicación trata sobre la detección de señales ECG, el cual fue basado en el hardware DSP TMS320F2812 para realizar las funciones de adquisición de la señal y el tratamiento de datos. Dicho estudio muestra la forma de onda de la señal en una LCD y la transmisión de los datos hacia el PC (Subasi., 2012). Otros estudios van enfocados al análisis de la frecuencia cardiaca para la

detección de infarto de miocardio, en la detección de señales EMG, monitoreo y control de señales EMG (Zakaria., 2012) y (LI.,2010).

Es importante aclarar que cada uno de los estudios realizados a las señales ECG y EMG con el soporte de un DSP, siempre requirieron de un ordenador para su correspondiente análisis y obtención de resultados. Para el desarrollo del presente estudio se tomó como base el trabajo realizado por Li Zhao y compañía, los cuales describen el diseño de un sistema electrónico para el procesamiento de las señales EMG superficiales, basado en un DSP. El dispositivo está compuesto de una etapa análoga, la adquisición de datos y el procesamiento con la visualización en el ordenador personal (Zhao., 2010). Lo anterior aporta información significativa al momento de poder utilizar algoritmos de identificación de patrones para el reconocimiento de las señales EMG y para su programación en una DSP.

Teniendo en cuenta los antecedentes es de considerar que no se evidencian gran variedad de aplicaciones, donde se pueda realizar una caracterización de señales EMG por medio del procesamiento y extracción de componentes principales, con el fin de obtener resultados que permitan la correcta clasificación. Es por esta razón que el objetivo de la investigación fue crear un modelo de una red neuronal artificial para luego de manera integrada, implementarla a la DSP TMS30F28335, la cual cuenta con su respectiva programación de algoritmos para el procesamiento y clasificación de las señales EMG.

En este caso los resultados fueron validados por medio de la técnica de discriminación PCA, para verificar la repetitividad y selectividad del sistema en general.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

En las pruebas realizadas con el sistema la adquisición de las señales EMG, se midió la actividad eléctrica del músculo en estado de reposo durante contracciones leves y fuertes.

Normalmente el tejido muscular no emite señales eléctricas durante el estado en reposo, pero cuando se acondiciona un electrodo es posible observar un breve período de la actividad muscular; después de esto no se presenta ninguna señal (Liu., 2007). Para llevar a cabo el registro de las señales electromiográficas se utilizaron electrodos superficiales, ya que de esta forma “no invasiva”, es más conveniente para el paciente al momento de hacer el registro.

Tal y como se muestra en la Figura 1, se observa el posicionamiento de los electrodos para la adquisición de la señal correspondiente al brazo de la persona.

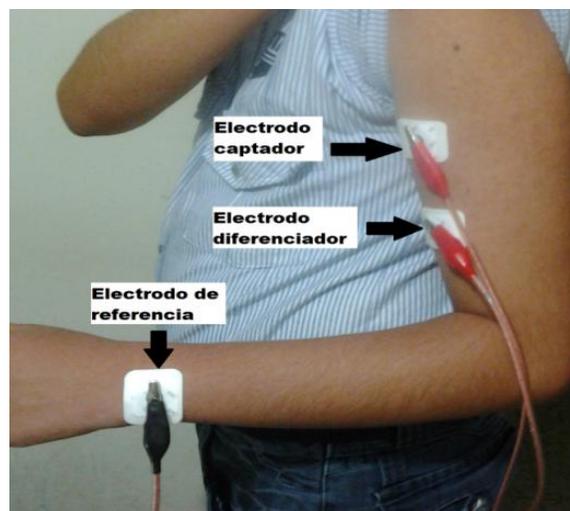


Figura 1: Ubicación de los electrodos

Dentro de las características más importantes a tener en cuenta en la adquisición de la señal EMG, se mencionan las siguientes:

- Espectro de la señal: 0-500 Hz
- Energía dominante: 50 – 150 Hz
- La adquisición de señales EMG se ve fuertemente afectada por el ruido de línea (60Hz).
- Señal aleatoria: Representación por medio de distribución gaussiana.
- Amplitudes: 0 – 6 mV pico y 0 - 1.5 mV (RMS)

Los potenciales de acción de cada músculo presenta una magnitud fija. (Número de disparos y número de fibras reclutadas) (Merletti., 2004).

2.1 ELECTRODOS SUPERFICIALES

Los electrodos superficiales son ubicados directamente sobre la piel con el fin de percibir las señales emitidas por los músculos. De esta forma se obtiene el potencial adecuado que lleva la información que debe ser procesada por el DSP. Conociendo que la piel es un tejido conductor cuyo material intracelular y extracelular está compuesto de soluciones electrolíticas y la corriente es transportada por iones, un metal es un material altamente conductor, la corriente es transportada por electrones y en consecuencia el contacto de la piel con el electrodo se hace muy ruidosa (Dorado., 2006) Para tal fin, en este estudio fue conveniente el diseño de un filtro digital.

1.2 ACONDICIONAMIENTO DE LA SEÑAL

El circuito de adquisición se realizó con el integrado TL084, el cual tiene 4 amplificadores los cuales se acondicionaron para conseguir la configuración de amplificador instrumental con una ganancia entre 100 y 200.

1.3 MUESTRAS

En la Tabla 1 se relacionan cada uno de las personas evaluadas por el sistema EMG integrado para la adquisición de las muestras. Se describió la fisiología de cada uno de los sujetos, y se tuvo en cuenta la actividad física presentada por cada uno, puesto que esto es uno de los aspectos claves donde se determinarán los grupos de clasificación.

A partir de este conjunto de medidas se entrenó la red neuronal para el proceso de clasificación de las señales EMG y se determinó la eficiencia del sistema a través del análisis de componentes principales (PCA).

Tabla 1: Tabla de sujetos evaluados

Sujeto	Edad	Estatura (mts)	Sexo	Núm. Muestra
1	19	1.77	M	5
2	23	1.75	M	5
3	38	1.70	M	5
4	35	1.65	F	5
5	33	1.68	F	5
6	23	1.60	F	5

Se realizaron un total de 5 muestras por paciente y a cada una de las medidas se seleccionaron 500 valores para ser analizados. En el momento de realizar la clasificación fue posible diferenciar tres grupos, los cuales se describen a continuación:

- 10 medidas: Personas normales.
- 10 medidas: Personas con alto rendimiento o Atletas.
- 10 personas: Personas con capacidad muscular limitada.

De la tabla anterior se determinó que los sujetos (4) y (5) presentaron problemas musculares en el brazo izquierdo, por lo que la actividad muscular fue casi nula. Al contrario sucedió con el sujeto 6 que es un atleta y presenta una actividad muscular muy alta. El resto de personas fueron identificadas como personas con capacidad muscular normal.

1.4 PROCESADOR DIGITAL DE SEÑALES

El DSP utilizado corresponde a la firma de Texas Instruments, y pertenece a la serie C2000 de procesadores de señales digitales; es uno de los procesadores más versátiles de la serie y puede ser utilizado en su mayoría para sistemas de control. El chip DSP está situado en una tarjeta de desarrollo eZdsp TMS320F28335 que consta de un Kit de desarrollo, tal y como se muestra en la Figura 2 (Texas Instruments Inc).



Figura 2: Hardware DSPe ZdSP TMS320F28335

A continuación se describen las características más importantes:

- Velocidad operativa: 150 MHz.
- 512 Kbyte de memoria Flash.
- 68Kbytes de memoria RAM.
- Conversor análogo digital de 12 bits con 16 canales.
- 64 salidas/entradas de propósito general.
- Puertos de expansión.
- Conector serial RS-232.
- Interface CAN 2.0.
- Controlador USB JTAG.

1.4.1 PROGRAMACIÓN DEL DSP

Para comenzar con la configuración y el uso del hardware DSP fue necesario la instalación del software y el respectivo Driver. Adicionalmente se utilizó el software Matlab 2010b con todas las herramientas del Simulink y la programación del DSP. A primera instancia se configuró la tarjeta con el software Code Composer Studio Versión V3.3.

Mediante el Simulink se llevó a cabo el enlace entre el CCS y Matlab, utilizando todas las librerías para el uso de la tarjeta. Para la realización de este estudio se utilizaron las toolbox más adecuadas para realizar el acople entre la tarjeta DSP y el Simulink. Es importante mencionar que en el momento de realizar dichas pruebas se debe comprobar la compatibilidad de cada uno de los programas, puesto que en la actualidad es escasa la

documentación sobre este tema. Este fue uno de los problemas más significativos de este trabajo en el momento de encontrar la configuración más apropiada para la DSP. A continuación se mencionan las herramientas necesarias para la aplicación (Miranda., 2011) y (Ruiz., 2010):

- Embedded IDE link.
- Real Time Workshop.
- Real Time Workshop Embedder Coder.
- Target SupportPackage.

1.4.2 PROTOCOLO DE ADQUISICIÓN DE LA SEÑAL EMG

El protocolo de adquisición de la señal se realizó teniendo en cuenta el desempeño de la DSP durante el proceso de clasificación de las señales. Es por esto que se debe crear una estandarización al momento de registrar las señales EMG a la tarjeta DSP.

Este protocolo consiste en registrar las señales producidas por un musculo específico, el cual el sujeto deberá realizar un movimiento de contracción durante un tiempo determinado y luego deberá relajar dicho musculo, para que de esta forma complete el tiempo de adquisición de la medida.

A continuación se expone cada uno de los parámetros a tener en cuenta durante la adquisición de la muestra de cada uno de los sujetos.

- Selección del musculo a muestrear: Bíceps: Brazo izquierdo para cada sujeto.
- Edad: Entre 18 años y los 40 años.
- Estatura: Entre 1.60 metros - 1.80 metros.
- Sexo: Masculino o Femenino.
- Tiempo de inicio de la adquisición de la señal: 1 segundo para generar la línea base.
- Tiempo de inicio de la contracción muscular: Desde los 2 segundos hasta los 2.5 segundos, para la generación de señal EMG activa.
- Tiempo de inicio de relajación y reposo muscular: 1 segundo de línea base de reposo.
- Tiempo total de adquisición: 4.5 segundos.

En la Figura 3 se ilustra la interfaz, la cual lleva a cabo el protocolo y la adquisición de los datos.

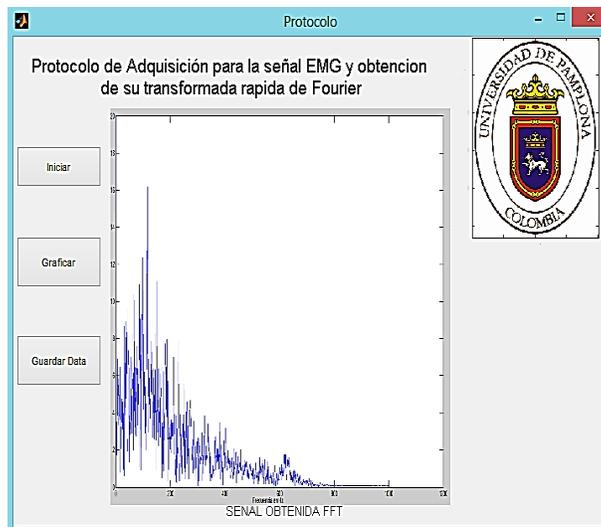


Figura 3: Interfaz gráfica para el protocolo de adquisición

Para el registro de las señales obtenidas se desarrolló una interfaz de usuario en Matlab, la cual consta de un visualizador gráfico y un conjunto de tres botones, los cuales realizan las siguientes funciones:

El botón de inicio pone en marcha la adquisición de los datos y le indica al sujeto el momento en que debe realizar la contracción muscular y a su vez cuando relajar el musculo. El segundo pulsador permite graficar una señal EMG, en el cuadro de visualización de la señal obtenida; y por último el botón de guardar permite almacenar la información con el nombre específico.

1.4.3 PROGRAMACIÓN DEL DSP

Para la programación de la tarjeta DSP se dispuso de los bloques que se encuentran en las toolbox del Simulink, para este caso se desarrollaron dos subsistemas.

El bloque ADC fue configurado a una frecuencia de muestreo de 1 KHz, posteriormente la señal fue filtrada por un conjunto de funciones a través de dos bloques que se encargan de procesar la señal y dejarla libre de ruido, y a su vez en el ancho de banda requerido. Los filtros digitales fueron diseñados por la herramienta FDA_Tool de Simulink, los cuales corresponden a un filtro pasa banda y un filtro Notch (Ver Figura 4). Al finalizar el primer subsistema se almacenó la señal en forma de un vector, utilizando el bloque con la función “Data Store Memory”.

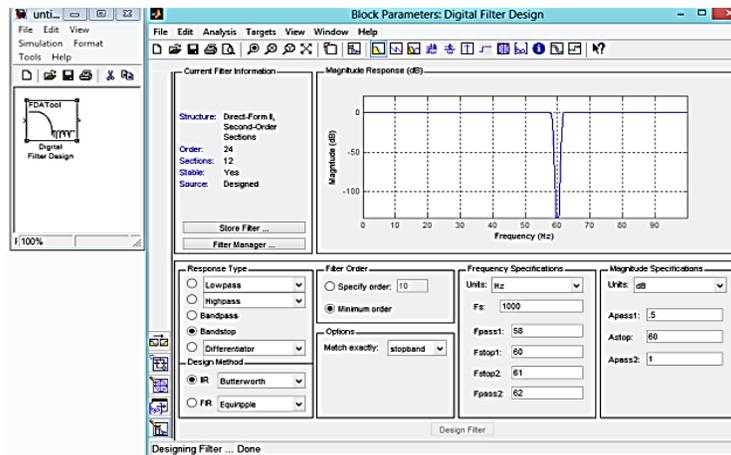


Figura 4: Diseño del Filtro Notch

El segundo subsistema inicia con la lectura de los datos proveniente del bloque “Data Read Memory”, donde posteriormente los datos son tratados con el bloque FFT (Transformada Rápida de Fourier), el cual extrae el espectro en frecuencia y los datos son almacenados a su magnitud absoluta. Debido a las características de la tarjeta DSP, los datos de las medidas adquiridas fueron acotados a un valor de 512 puntos, los cuales llevan el formato apropiado para aplicar posteriormente el modelo de clasificación de la señal.

El modelo de clasificación de las medidas está compuesto de una red neuronal artificial (es decir, perceptron multicapa) previamente entrenada, donde el resultado fue interpretado por un bloque de programación embebida. El resultado fue llevado a cabo por medio de los bloques de salidas digitales GPIO (Entradas y Salidas de Propósito General), los cuales envían valores digitales acorde a la medida a clasificar. El sistema total y sus respectivos subsistemas se muestran en la Figura 5. Cabe mencionar que todo el sistema en general fue compilado y traducido a código ensamblador, por medio del enlace de simulink y el software Code Composer Studio Versión 3.3, mediante la toolbox Embedded IDE link.

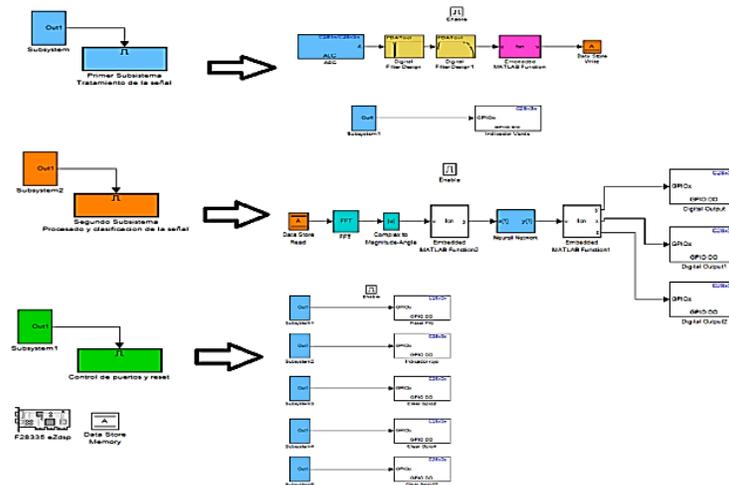


Figura 5: Programación de los bloques en simulink

3. RESULTADOS

En la Figura 6 se observa una de las señales EMG adquiridas, la cual fue obtenida partiendo del protocolo anteriormente mencionado, obteniendo una buena forma de onda característica de la señal EMG, la cual posteriormente fue utilizada para la clasificación por medio del entrenamiento de la red neuronal.

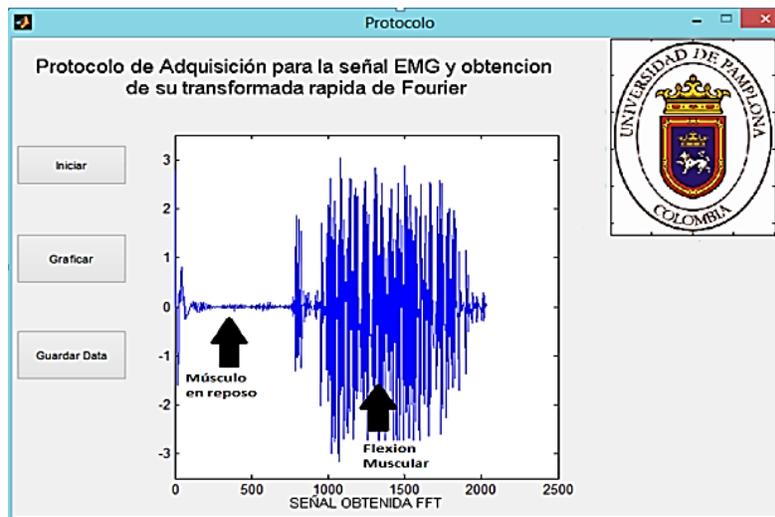


Figura 6: Señal de flexión muscular adquirida por medio del DSP.

En la Figura 7 se presentan los resultados obtenidos durante la etapa de procesamiento a través del hardware DSP por medio del bloque FFT, donde se busca que las señales EMG adquiridas estén dentro de los rangos normales de frecuencia. En la figura se ilustra que la mayoría de la energía de la señal se encuentra en las frecuencias comprendidas entre 50 Hz y 250 Hz.

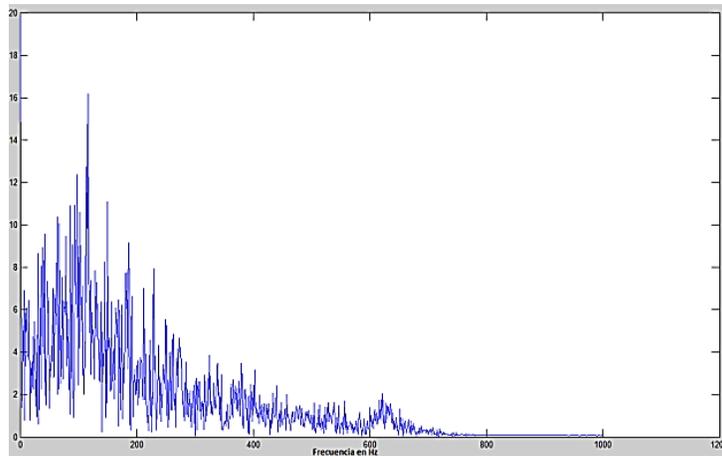


Figura 7: Transformada de Fourier de la señal EMG con el DSP.

Con el objetivo de validar los resultados, se implementó el método estadístico de análisis de componentes principales (PCA) con el fin de determinar si las medidas adquiridas mediante el hardware DSP eran repetitivas y selectivas. El análisis de componentes principales es una técnica estadística de síntesis de la información, o reducción de la dimensión del conjunto de datos (es decir, número de variables). Los nuevos componentes principales o factores son una combinación lineal de las variables originales, y además son independientes entre sí (Kiatpanichaguj., 2009).

Tal y como se dijo anteriormente este análisis permitió conocer que tan repetitivas y selectivas eran las señales que se habían obtenido por medio del protocolo de adquisición a través del DSP y de esta forma verificar el correcto funcionamiento del sistema.

El total de medidas evaluadas fueron 30, de las cuales 8 medidas no fueron tenidas en cuenta por motivos de visualización en el gráfico PCA. Es importante aclarar que las 8 medidas no fueron tomadas como “outliers” o medidas erróneas, si no por motivos de presentación. Por lo tanto, mediante las pruebas con PCA solo se generaron los “scores” con un total de 22 medidas.

En la Figura 8 se observa el resultado de la discriminación de medidas, donde cada una de las categorías puede ser claramente diferenciada.

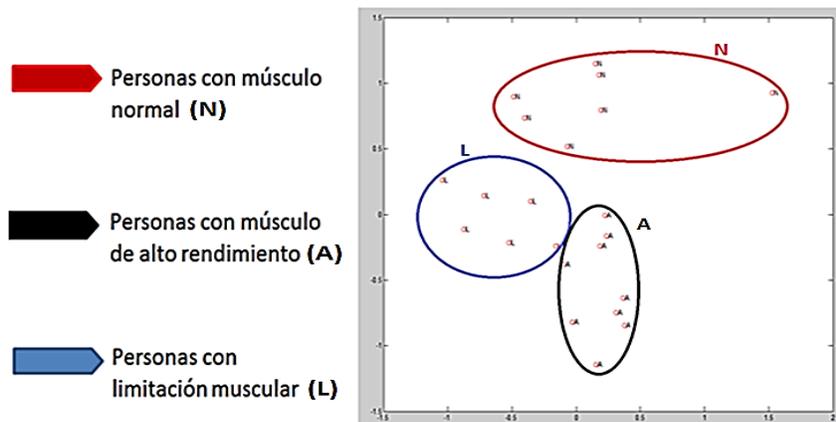


Figura 8: Validación de datos por medio de pca.

El proceso de clasificación fue realizado a través de una red neuronal tipo perceptron multicapa, ya que fue la más adecuada para la implementación en el hardware DSP. La red tiene una capa de entrada, 5 neuronas en la capa oculta y una neurona en la capa de salida. El número total de épocas de entrenamiento fueron 100, lo cual fue suficiente para la cantidad de datos de entrada o el vector de 500 puntos. Durante el entrenamiento de la red

neuronal MLP se logró obtener un porcentaje de éxito del 100% con el número total de medidas. Tal y como se muestra en la Figura 9.

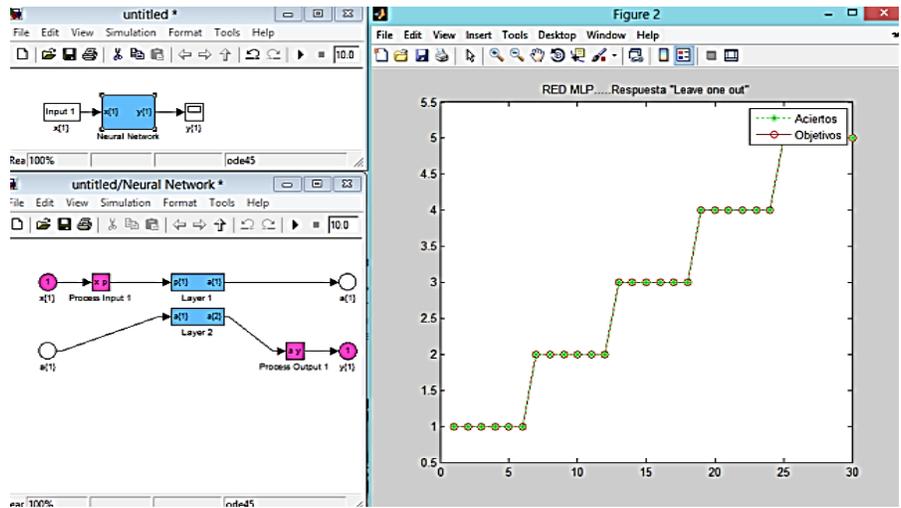


Figura 9: Resultado de entrenamiento de la red neuronal

En la Figura 10 se observa el sistema de clasificación de señales EMG a partir de los grupos de sujetos previamente definidos, donde primero se realizó el entrenamiento “off-line”, y luego los pesos de la red neuronal junto con el resto de algoritmos de pre-procesado fueron implementados en la DSP, para posteriormente realizar la etapa de clasificación de medidas “on-line”.

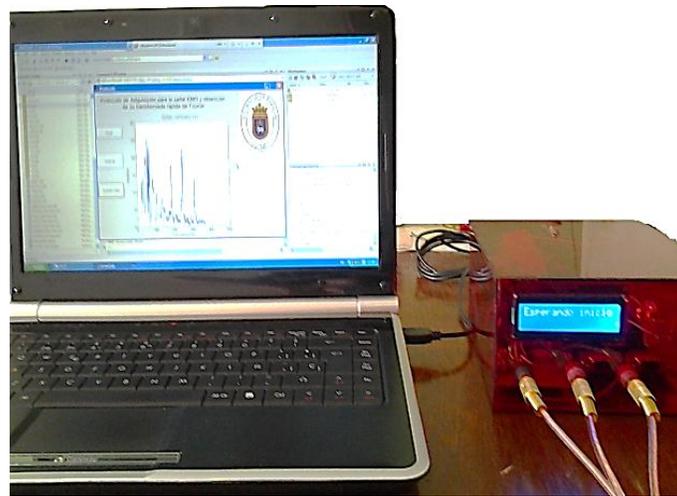


Figura 10: Sistema general para la adquisición y clasificación de las señales EMG

4. CONCLUSIONES

Durante la investigación llevada a cabo para la realización de este estudio, se describe un sistema basado en una tarjeta DSP para la clasificación de señales EMG por medio de inteligencia artificial (es decir, redes neuronales). La tarjeta TMS320F28335 acoplada al software Matlab fue una buena opción para implementar algoritmos en forma embebida, los cuales pueden dar soporte a diferentes aplicaciones.

Las pruebas de validación realizada a los datos adquiridos por medio del análisis de componentes principales PCA, permitió determinar la selectividad y repetitividad del sistema en general, aportando a su vez resultados importantes al momento de analizar cada uno de los grupos de clasificación.

La clasificación mediante redes neuronales realizada en este estudio fue significativa, al considerar que es aún escasa la aplicabilidad de estos algoritmos en este tipo de tarjetas de evaluación. Por lo que con una programación que no se basa directamente en código C sino en una programación basada en bloques con funciones especiales, es posible desarrollar aplicaciones donde se requiera gran velocidad de procesamiento.

El sistema integrado EGM a través del hardware DSP mejoró el grado de portabilidad del sistema, ya que una vez realizado el entrenamiento, no fue necesario utilizar un computador para la realización de pruebas de campo. Esto hace que el sistema sea más flexible al usuario e incrementa la versatilidad en el momento de realizar las medidas. Este sistema integrado EMG puede ser una alternativa para ser aplicado a otro tipo de señales, tales como ECG o EEG, y donde se requiera un sistema integrado de clasificación a través de algoritmos avanzados de procesamiento.

Como trabajo futuro los autores recomiendan realizar pruebas de clasificación con otro tipo métodos de clasificación, tales como otro tipo redes neuronales artificiales (por ejemplo, la red PPN (Probabilistic Neural Network) o SVM (Support vector Machine), con el fin de optimizar el sistema y mejorar la tasa de acierto.

REFERENCIAS

- Christova, P. (1999). "Surface EMG recorded by branched electrodes during sustained muscle", *Journal of Electromyography and Kinesiology*, Vol. 9, No 4, pp. 263-276.
- Nan, C. (2012). "The Development of a Portable ECG Monitor Based on DSP", *Physics Procedia*, Vol: 33, pp. 765-774.
- Subasi, A. (2012). "Classification of EMG signals using combined features and soft computing techniques" *Applied Soft Computing*, Vol: 12, No. 8, pp. 2188-2198.
- Zakaria, F. (2012). "Heart rate variability (HRV) analysis using DSP for the detection of myocardial infarction", *Advances in Computational Tools for Engineering Applications (ACTEA)*, December, Beirut, pp. 15 – 19.
- LI, Z. (2010). "Application of digital signal processor in EMG-based human machine interface", *Control Conference (CCC)*, Chinese Beijing, pp. 2788 – 2791.
- Zhao, L. (2010). "Design of Surface EMG Signal Detector Based on DSP", *Electrical and Control Engineering (ICECE)*, 25-27 June, Wuhan, pp. 4863 – 4866.
- Liu, Y. (2007). "Recognition of Electromyographic Signals Using Cascaded Kernel Learning Machine", *Mechatronics*, Vol: 12, No 3, pp. 253 – 264.
- Merletti, R and Parker, P. (2004). "Electromyography Physiology", *Engineering, and Noninvasive Applications*, John Wiley & Sons.
- Dorado, L. (2006). "Acquisition and monitoring system of the electrical signals generated in cerebral activity", *Revista colombiana de física*, Vol: 38, No 3, pp. 1299-1302.
- Texas Instruments Inc. (2013). Dallas. Texas. USA. <http://www.ti.com/tool/TMDSEZ28335>.
- Miranda, B, C. (2011). Programación de DSP a través de Herramientas disponibles en Matlab 7.0/ Simulink, Tesis de grado publicada, Universidad De Magallanes, Facultad De Ingeniería, Departamento de Electricidad. Chile.
- Ruiz, A, F. (2010). Adquisición y procesado de información EMG en el modelado de sistemas biológicos, Madrid, España. http://www.ceautomatica.es/old/actividades/jornadas/XXVIII/documentos/1731-A07_Ruiz.pdf
- Kiatpanichaguj, K. (2009). Use of supervised discretization with PCA in wavelet packet transformation based surface electromyogram classification, *Biomedical Signal Processing and Control*, Vol: 4, pp.127-138.

Authorization and Disclaimer

Authors authorize LACCEI to publish the paper in the conference proceedings. Neither LACCEI nor the editors are responsible either for the content or for the implications of what is expressed in the paper.