

Desarrollo y aplicación de señales electromiográficas enfocadas a un sistema domótico: Resultados preliminares

Iván Andrés Galíndez-Flórez¹

Alejandro Ibarra-Piandoy²

Carlos Daniel Ortega-Hernández³

Edison Viveros-Villada⁴

Resumen

Las señales electromiográficas pueden ser adquiridas por cualquier músculo del ser humano; estas, por medio de procesamiento de señales y varios pasos de filtrado, pueden dirigirse hacia distintos sistemas de interés tecnológico, por ejemplo, robótica, dispositivos médicos, videojuegos, etc. Una aplicación de interés, aplicando estas señales, es el sistema domótico, donde se automatiza puertas, ventanas y, lo más esencial, las luminarias del hogar. Estos sistemas ofrecen comodidad y compatibilidad con los diferentes dispositivos domóticos, como lo ha demostrado Amazon con el asistente virtual Alexa; sin embargo, hablar con el asistente virtual puede llegar a ser desgastante. Teniendo en cuenta que los dispositivos se encuentran muchas veces fuera del alcance o simplemente por comodidad, el usuario podrá solo con un movimiento apagar o encender las luces, cerrar o abrir puertas y ventanas, entre otros beneficios. Lo anterior se puede realizar al adquirir y procesar las señales EMG y aplicarlas a un sistema domótico que sea económico y compatible con los diferentes dispositivos inteligentes que están actualmente en el mercado internacional.

Palabras clave: electromiografía (EMG); Internet of things (IoT); asistente virtual; domótica.

¹Estudiante del Programa de Ingeniería Mecatrónica, Universidad Mariana. Correo electrónico: igoalindez@umariana.edu.co

²Estudiante del Programa de Ingeniería Mecatrónica, Universidad Mariana. Correo electrónico: alibarra@umariana.edu.co

³Estudiante del Programa de Ingeniería Mecatrónica, Universidad Mariana. Correo electrónico: carloortega@umariana.edu.co

⁴Docente del Programa de Ingeniería Mecatrónica, Universidad Mariana. Correo electrónico: eviveros@umariana.edu.co

Development and application of electromyographic signals focused on a home automation system: Preliminary results

Abstract

Electromyographic signals can be acquired by any human muscle; by means of signal processing and several filtering steps, they can be directed towards different systems of technological interest; e.g. robotics, medical devices, video games, etc. An application of interest that applies these signals is the home automation system, where doors, windows, and, most essential, home lights are automated. These systems offer comfort and compatibility with different home automation devices, as Amazon has shown with the virtual assistant Alexa; however, talking to the virtual assistant can be exhausting. Taking into account that the devices are often out of reach or, simply for convenience, the user can with just one movement, turn the lights on or off, close or open doors and windows, among other benefits. This can be done by acquiring and processing EMG signals and applying them to a home automation system that is economical and compatible with the current different smart devices on the international market.

Keywords: electromyography (EMG); Internet of things (IoT); virtual assistant; home automation.

Desenvolvimento e aplicação de sinais eletromiográficos voltados para um sistema de automação residencial: resultados preliminares

Resumo

Os sinais eletromiográficos podem ser adquiridos por qualquer músculo humano; por meio de processamento de sinais e várias etapas de filtragem, eles podem ser direcionados a diferentes sistemas de interesse tecnológico; por exemplo, robótica, dispositivos médicos, videogames, etc. Uma aplicação de interesse que aplica esses sinais é o sistema de automação residencial, onde portas, janelas e, o mais essencial, luzes residenciais são automatizadas. Esses sistemas oferecem conforto e compatibilidade com diferentes dispositivos de automação residencial, como a Amazon mostrou com a assistente virtual Alexa; no entanto, conversar com o assistente virtual pode ser exaustivo. Levando em consideração que os aparelhos muitas vezes ficam fora de alcance ou, simplesmente por comodidade, o usuário pode com, apenas um movimento, acender ou apagar as luzes, fechar ou abrir portas e janelas, entre outros benefícios. Isso pode ser feito adquirindo e processando sinais EMG e aplicando-os em um sistema de automação residencial que seja econômico e compatível com os diferentes dispositivos inteligentes existentes no mercado internacional.

Palavras-chave: eletromiografia (EMG); Internet das coisas (IoT); assistente virtual; automação residencial.

INTRODUCCIÓN

Un sistema domótico es la combinación entre varios sistemas de control que se pueden aplicar en el hogar, tales como: seguridad, ahorro energético, reciclaje, control de las diferentes variables, estados de la casa, por ejemplo, saber si una ventana está abierta o alguna bombilla está encendida o simplemente revisar la temperatura en la que se encuentra (Utaman et al., 2017; Chacón et al., 2018). Todo esto se puede controlar desde una interfaz humano-casa, a través de un sistema IoT, para poder controlar u observar los estados de la casa desde cualquier lugar, esto gracias a la conexión a Internet (Cabrera et al., 2016). Un sistema domótico puede llegar a ser muy costoso; sin embargo, en los últimos tiempos, se ha venido desarrollando aplicaciones que son más económicas y mucho más eficientes y cómodas para el usuario (Torres et al., 2019); para el control de estos sistemas se puede utilizar el teléfono o por medio de un control remoto.

Por lo tanto, se propone para el control domótico, desde la parte interna del hogar, una alternativa más cómoda y novedosa: las señales electromiográficas (EMG) (Chai et al., 2020; Luna-Romero et al., 2018). Este proceso se realiza mediante electrodos superficiales, los cuales adquieren las señales musculares en forma de ondas eléctricas que se filtran y procesan digitalmente (Huyh et al., 2020; Kumar et al., 2018) para poder utilizarlas en diferentes medios: como la robótica, donde se implementan con el fin de poder tener en los robots una alta precisión y lograr funciones antropomórficas, para ello, se mide las señales de los movimientos humanos en un esquema manipulador (Liao et al., 2019), esta técnica se utiliza para la robótica asistencial. Otro ejemplo para la robótica es el robot NAO de la empresa Aldebarán Robotics, el cual está siendo empleado en labores de salud y educación (Ali et al., 2020); también se están usando estas señales en prótesis de extremidades amputadas (Bu et al., 2017) y para poder predecir enfermedades tales como la esclerosis lateral amiotrófica (ELA) (Wołczowski et al., 2017), pero también han sido utilizadas en los sistemas domóticos para ayudar a personas con discapacidades o que tengan limitaciones de movimiento (Sengar et al., 2017), puesto que con un gesto de la mano se pueden controlar las luces del hogar a través de un dispositivo MYO Armband, actualmente discontinuado del mercado, o también sistemas de procesamiento de bioseñales, como señales de electrocardiograma (ECG), encefalograma (EEG), electromiograma (EMG) y el electrooculograma (EOG) (Vasylykiv et al., 2018).

En consecuencia, se propone realizar un sistema de adquisición de señales EMG que, por medio de amplitud de la señal caracterizada por un movimiento predefinido, pueda controlar las diferentes variables del hogar, mediante un sistema que puede ser remoto, cómodo y de bajo costo (Ahamed et al., 2016; Tariquzzaman et al., 2017); para esto se utilizará una de las placas ESP, porque se caracteriza por tener conexión WIFI y son muy económicas. El desarrollo del sistema EMG se hará mediante el uso de las etapas de adquisición y filtrado, electrodos de superficie para adquirir la señal, amplificadores operacionales para el filtrado, la base del sistema será un amplificador

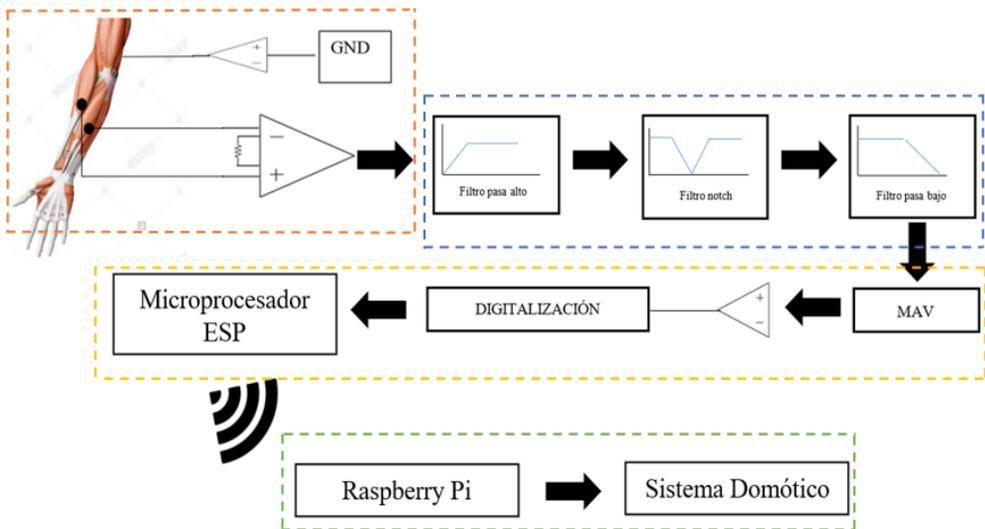
INA128 y un microprocesador ESP, el cual procesa la señal y envía la acción a realizar mediante una red local de WIFI, todo esto acoplado para poder usarlo en el antebrazo y de una forma muy cómoda.

Método

En la Figura 1 se presenta la metodología que se llevó a cabo para el desarrollo de la propuesta del sistema domótico controlado por señales EMG; se presenta *grosso modo* los pasos. Inicialmente, en la línea punteada naranja se encuentra la etapa de adquisición y preamplificación; en la línea punteada azul se presenta la etapa de filtrado, donde se tienen tres tipos de filtros: pasa altos, notch y pasa bajos; en la línea punteada amarilla se tiene la etapa de digitalización y procesamiento de la señal y, por último, en la línea punteada verde se muestra la etapa del sistema domótico.

Figura 1

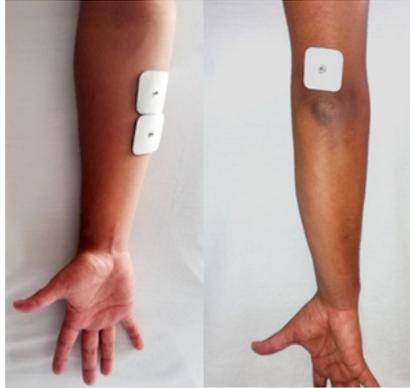
Proceso metodológico



- **Etapa de adquisición y pre-amplificación.** En esta etapa se utilizaron electrodos de gel superficiales para medir el potencial eléctrico de los músculos (Yang et al., 2020). Estos se pueden ubicar en cualquier músculo con una determinada distancia conocida como interelectrodo; esta distancia es de 2 cm entre cada uno de ellos, como se puede observar en la Figura 2. Existen diferentes tipos de electrodos en el mercado y de diferentes materiales, por ejemplo, electrodos de cloruro de plata (Ag/AgCl), electrodo de gel, electrodo de acero, entre otros.

Figura 2

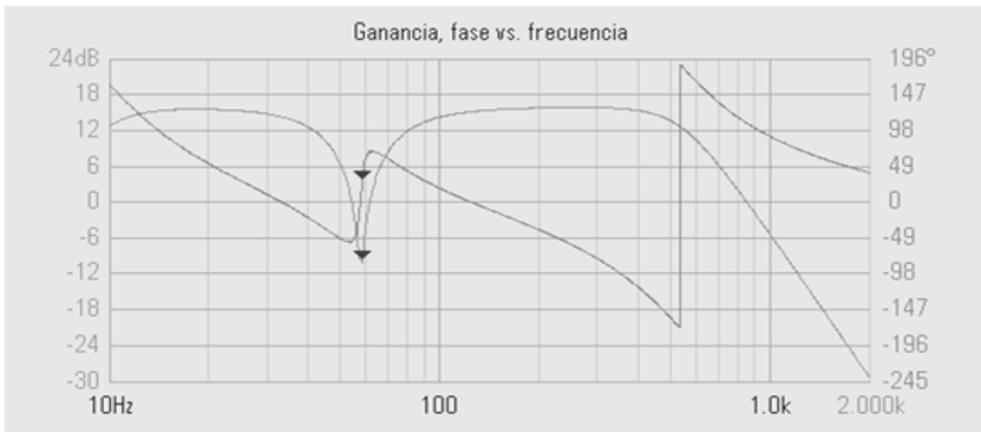
Ubicación de electrodos



- **Etapas de amplificación y filtrado:** En esta etapa el componente central fue el amplificador operacional de instrumentación INA128 calibrado con una ganancia de 200 y que está predispuesto para las señales EMG. La etapa de filtrado que consta de tres filtros de cuarto orden en cascada, como se describe anteriormente, se plantea así: para el filtro pasa altos se calculó una frecuencia de 10Hz, resistencia de 159K Ω y el capacitor de 100nf; para el filtro notch doble T con retroalimentación se diseñó a una frecuencia de 60Hz, con resistencia R1 de 26.52k Ω y R2 de 13.36 k Ω ; para el filtro pasa bajos se planteó una frecuencia de corte en 500Hz, resistencia de 3k Ω , y el capacitor de 100nf. Finalmente, se realizó una prueba de análisis de repuesta en frecuencia de la etapa de filtrado, la cual se puede observar en la Figura 3

Figura 3

Repuesta de análisis en frecuencia



- **Etapa de digitalización y procesamiento.** En esta etapa, inicialmente, se planteó un circuito de valor medio absoluto (por sus siglas en inglés MAV), el cual nos entregó un valor promedio de la señal alterna rectificadas para su respectiva digitalización y procesamiento, para esto se utilizó el microprocesador ESP. Por medio de una entrada analógica fue posible adquirir y comparar, por medio de rangos, la amplitud de cada señal generada por el sistema EMG.
- **Sistema domótico.** Inicialmente, se planteó un sistema domótico simple conformado por la automatización de puerta, ventana e iluminación, que se simuló con tres módulos respectivos. Para este control se usó la placa Raspberry Pi, ya que cuenta con una conexión a WIFI, puertos GPIO y tiene un manejo de interfaz por medio de Python para hacer más agradable el ambiente del sistema. Esta placa se conectó a los módulos a través de los puertos GPIO y al módulo ESP mediante la conexión a WIFI por medio de una misma dirección IP. Para el control de los módulos domóticos se usaron servomotores: para la puerta y ventana, y para el módulo luz, un sistema de relé de 110VAC.

Diseño preexperimental

Para probar la adquisición, digitalización y procesamiento de las señales EMG, se planteó una prueba en la que se midieron las amplitudes de tres movimientos para el control del sistema domótico; para esto se registró el valor de la amplitud de tres participantes diferentes, quienes realizaron tres movimientos predefinidos: el chasquido de dedos, trasladar los dedos hacia la muñeca y, por último, cerrar el puño (ver Figura 4). A cada participante se le solicitó realizar cada uno de los movimientos 25 veces, con el fin de obtener una base de datos que se pueda graficar y comparar los resultados.

Figura 4

Movimientos predefinidos de la mano



El sistema domótico

Se implementaron las señales EMG como un suiche, el cual se activa o desactiva, enciende o apaga, abre o cierra. Se simuló el sistema domótico simple con tres paneles, estos paneles representan una puerta, una ventana y una bombilla (ver Figura 5).

Figura 5

Sistema domótico

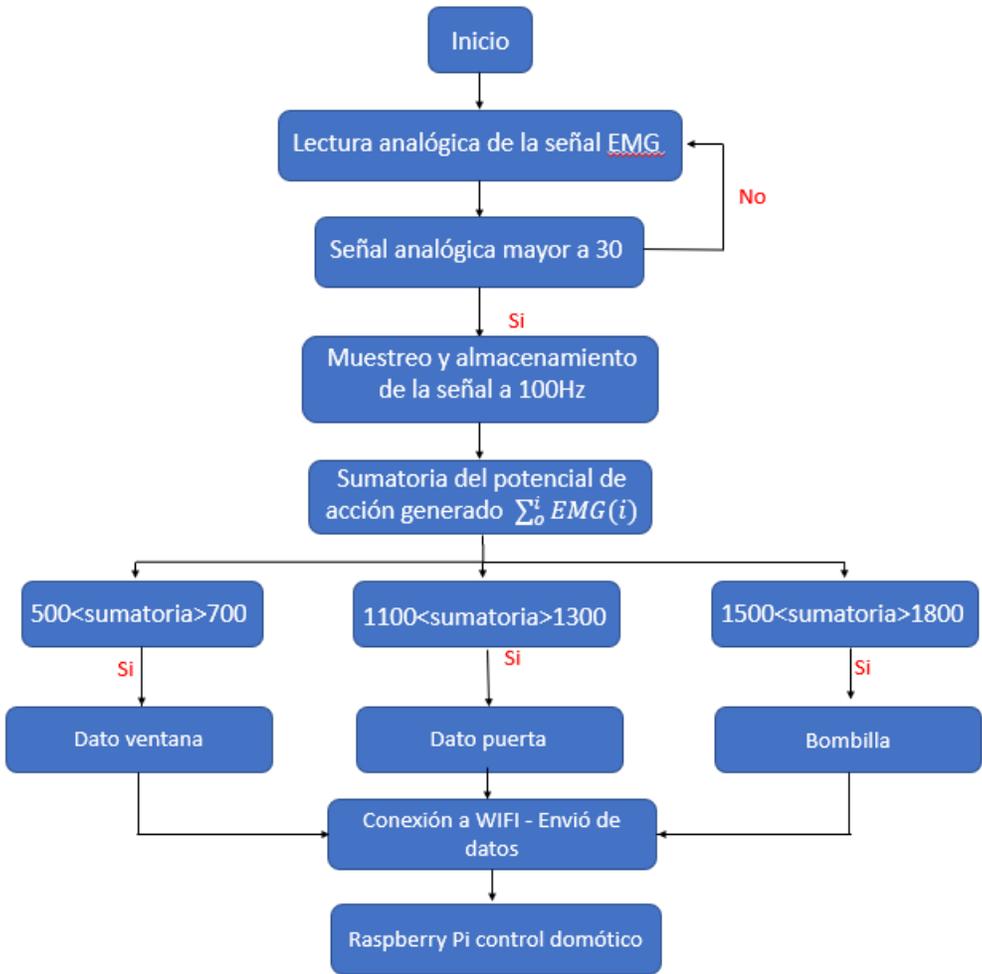


El sistema domótico está compuesto por una puerta que cuenta con un servomotor, el cual por medio de un mecanismo biela-manivela puede abrir y cerrar la puerta; también está el módulo de la ventana que funciona por medio de dos servomotores, los cuales mediante una palanca abre y cierra la ventana y, por último, está el módulo de la bombilla, mediante un relé activa la entrada a 110VAC, cada vez que la señal EMG sea detectada y el procesador la clasifique.

Proceso experimental

Figura 6

Diagrama de flujo del proyecto

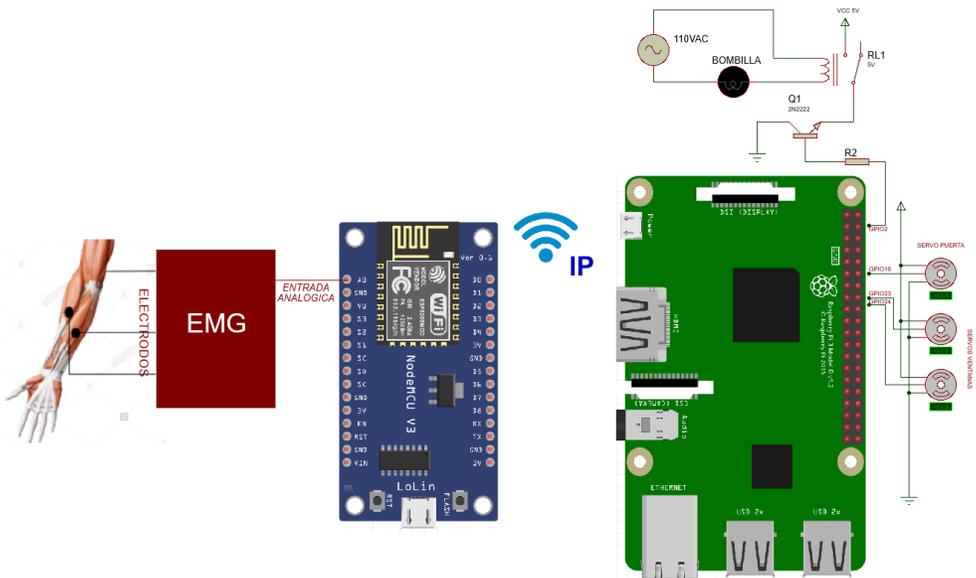


Inicialmente, se estableció un rango de trabajo para la captura de datos, estos deben ser mayores a 30 para evitar señales de ruido externo en el estado de reposo. Al momento de realizar el respectivo gesto de la mano, el algoritmo realiza la recepción analógica de la señal EMG y almacena todo el potencial de acción generado en un arreglo número “EMG(i)”. Posteriormente, se realizó la sumatoria con cada dato (i) de nuestro vector, de esta manera se obtuvo la magnitud del potencial de acción. Finalmente, se comparó el valor de la magnitud con unos rangos preestablecidos: 500-700 para el gesto de movimiento de los dedos, 1100-1300 para el gesto de chasquido y 1500 – 1800 para el gesto de cerrar el puño. Al cumplirse la respectiva condición, se

estableció la comunicación wifi a través de una dirección IP que vincula la Raspberry PI, la cual hace el control del sistema domótico. Esta recibe un byte del módulo ESP en codificación ASCII y se procesa dependiendo del movimiento realizado, ya sea que quiera abrir/cerrar la puerta o ventana y encender/apagar la bombilla. Para representar el sistema se realizó un diagrama de conexiones (ver Figura 7).

Figura 7

Diagrama de conexiones



Componentes

- Electrodo de gel: miden el potencial eléctrico de los músculos.
- EMG: cuenta con filtros pasa altos, pasa bajos y notch, también con una parte de digitalización y MAV.
- ESP 8266 (NodeMCU 1.0): adquiere, procesa y envía el dato de la señal captada hacia el sistema domótico a través de una conexión wifi.
- Raspberry Pi 3: recibe el dato del módulo ESP y realiza la acción domótica.
- Servomotor: realizan el accionamiento de la puerta o ventana.
- Circuito de relé: por medio de un relé de 5VDC activa una bombilla a 110VAC.

Diseño experimental

Para comprobar el buen funcionamiento del proyecto planteado, se realizaron dos pruebas, así: un sujeto sano realizó diez veces la acción de abrir/cerrar puerta y ventana, y encender/apagar la bombilla; realizó también los movimientos predefinidos para cada acción y así poder evaluar la eficiencia del sistema de adquisición, procesamiento y acción del sistema.

Resultados

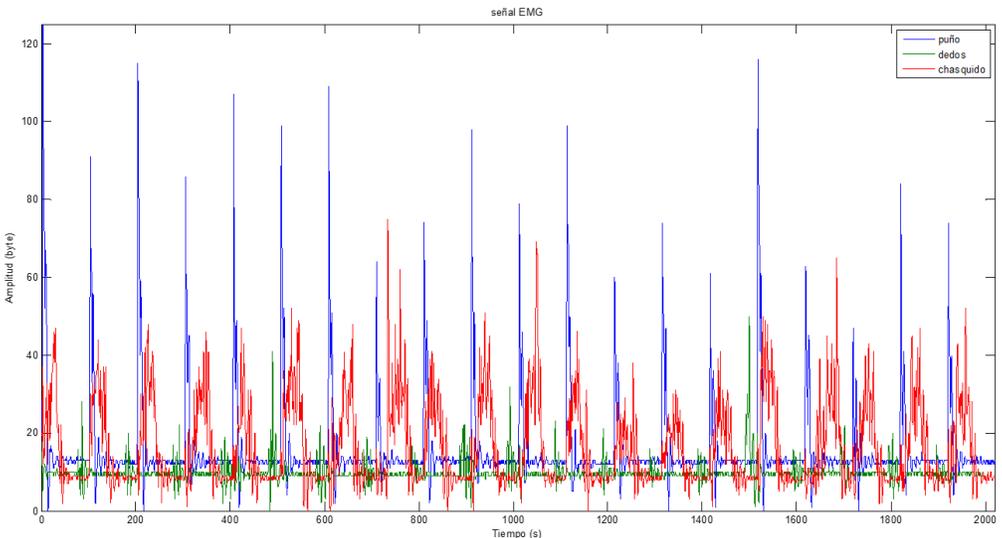
A continuación, se muestran los resultados obtenidos tanto del diseño preexperimental como del diseño experimental.

Diseño preexperimental

En la Figura 8 se puede observar los resultados del primer participante. Se puede distinguir que cada movimiento tiene una amplitud diferente, se puede comparar por rangos para que cada señal sea una acción distinta: puño entre [80-110], chasquido [40-70] y doblar dedos [20-30]. Aunque se puede observar que algunos no corresponden al rango de acción asignado, en este, la probabilidad de error fue de 25 % al comparar la señal de chasquido y puño.

Figura 8

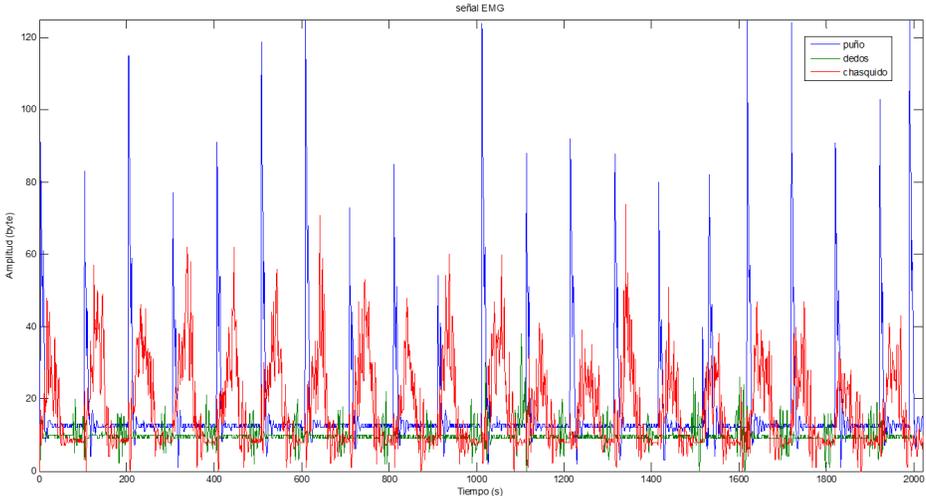
Señales de los movimientos adquiridas del participante 1



En la Figura 9 se presentan las señales de un segundo participante. En las mismas condiciones ambientales, se le realizó la prueba con el fin de captar las tres señales de cada movimiento; se puede decir que estas señales son similares en los dos participantes, pero con una pequeña diferencia en la amplitud de estas, esto se puede presentar por la masa muscular de los participantes, por lo cual habría que replantear los rangos para cada usuario. Al igual que en la anterior prueba, en algunos picos de los movimientos no se encuentran en el rango de la señal asignada, por lo tanto, la probabilidad sigue siendo baja en comparación con la de acierto, que en este caso fue de 90 % al comparar la señal de chasquido y puño.

Figura 9

Señales de los movimientos adquiridas del participante 2



Teniendo en cuenta los resultados de las anteriores pruebas, se resume los valores de la amplitud en la Tabla 1 para hacer el procesamiento de las señales e implementarlas en el sistema domótico. Para esto se asignó un movimiento para cada acción, ya sea abrir/cerrar puerta y ventana y encender/apagar la bombilla.

Tabla 1

Procesamiento de la señal por amplitud

Movimientos de la mano	Amplitud	Acción
Puño	[70-110]	Ventana
Chasquido	[40-65]	Bombilla
Doblar dedos	[20-35]	Puerta

Con la base del diseño preexperimental se pudo concluir principalmente que es posible caracterizar cada señal captada entre rangos de amplitud, puesto que los picos de estas señales se pueden ubicar entre rangos con un error relativamente bajo, esto hace posible que por medio de movimientos predefinidos se pueda controlar varias actividades del hogar, en este caso, pero esto también se lo puede enfocar a varios sistemas de la actualidad, como en robótica, videojuegos, asistencia, educación, etc.

Resultados diseño experimental

Se registraron los datos de dos participantes en la prueba del sistema domótico controlado por señales EMG, las cuales son adquiridas desde los músculos del antebrazo, son procesadas al realizar una sumatoria del potencial de acción del musculo, se separó en diferentes rangos para cada movimiento.

- **Rangos de potencial:** Para medir estos potenciales (ver Tabla 2) se especifica el movimiento, la amplitud y la acción a realizar.

Tabla 2

Rango de potenciales de cada movimiento

Movimiento de la mano	Rango de potencial	Acción
Puño	[400-950]	Puerta
Chasquido	[1100-2000]	Bombilla
Doblar dedos	[2500-4000]	Ventana

Una vez se definen los rangos de cada acción, se especifica el byte a enviar remotamente por medio de wifi, se envía un dato cada vez que el módulo ESP capta un movimiento realizado por el usuario y cuando se encuentra entre los rangos establecidos previamente; posteriormente se caracteriza la señal y se envía el dato al sistema domótico, el cual realiza la acción enlazada con el movimiento.

- **Resultados prueba 1:** Para la verificación del sistema dos participantes realizaron diez veces cada acción domótica para poder registrar la eficiencia del sistema, estos resultados se pueden observar en la Tabla 3.

Tabla 3

Resultados diseño experimental, prueba 1

Acción	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Abrir/Cerrar puerta	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí	Sí

Encender/Apagar bombilla	Sí	No	Sí	No	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí
Abrir/Cerrar ventana	Sí	No	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí

En la primera prueba del sistema domótico los resultados son satisfactorios, ya que de diez intentos en la prueba de la puerta solo hubo un error; en la prueba de la bombilla, 3 errores y en la prueba de la ventana, 2 errores; esto se debe a que no cumplieron con los rangos establecidos y se realizaba otra acción diferente a la preestablecida para el movimiento o sobrepasaba o quedaba por debajo de los rangos; sin embargo, la eficiencia del sistema fue del 80 % de acierto para la primera prueba.

- **Resultados prueba 2:** Se procedió a realizar la segunda prueba con otro participante para poder comparar los resultados y la eficiencia del sistema domótico, los resultados de la prueba se pueden observar en la Tabla 4.

Tabla 4

Resultados diseño experimental, prueba 2

Acción	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Abrir/Cerrar puerta	Sí	No	Sí							
Encender/Apagar bombilla	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí
Abrir/Cerrar ventana	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Si	Sí	Sí	Sí

En esta prueba el participante fue sometido a las mismas condiciones ambientales que el participante uno. Los resultados del participante dos son satisfactorios, ya que se tuvo una eficiencia de 90 % de acierto en cada prueba realizada y en todo el sistema en general.

Discusión

El sistema domótico controlado por señales EMG se desarrolla para dar un enfoque nuevo a la domótica que se está desarrollando actualmente en el mercado, por ejemplo, el asistente de voz Alexa puede contralar por medio de comandos de voz de un usuario los estados del hogar, pero a veces esto puede llegar a ser fastidioso, pues tener que hablar para encender o apagar las luces siempre que se requiera puede ser aburridor. Ahora, con esta propuesta, por medio de un simple movimiento se puede realizar esta y varias acciones más; teniendo en cuenta que las combinaciones de músculos y movimientos son bastantes, al igual que el desarrollo e implementación de nuevos componentes que ayudarán a completar dicho sistema.

Este proyecto es posible realizarlo y aplicarlo a un bajo costo, con una alta eficiencia y de fácil uso; aunque el sistema actual es muy limitado, ya que solo se realizaron tres movimientos para tres acciones simples, además, se debe resaltar los cambios que se pueden dar por los diferentes tipos de masa muscular entre las personas; por lo tanto, es necesario hacer un sistema que automáticamente realice los rangos de acción de cada movimiento.

Se plantea a futuro realizar un dispositivo portátil que sea capaz de acoplarse al antebrazo y pueda adquirir, procesar y enviar los datos de los músculos, para que a través de este se pueda realizar el control domótico de manera más eficiente, gracias al uso de redes neuronales para el procesamiento de las señales EMG, adaptando también un acelerómetro que pueda ampliar el rango de movimientos, ya que este retorna los grados con los que se está haciendo el movimiento, de esta manera se puede dar un mayor número de parámetros. Se piensa que este sistema se pueda acoplar a los dispositivos domóticos que actualmente están en el mercado.

Conclusiones

Es posible realizar un sistema domótico utilizando las señales EMG, las cuales son adquiridas desde el músculo del antebrazo. Estas señales se realizan por medio de movimientos predefinidos, los cuales se clasificaron por rangos de sumatoria de potencial, ya que ofrecen mayor eficacia al sistema. También hay que tener en cuenta la masa muscular, pues esta cambia en cada persona. A futuro se propone realizar un proceso automático que capture los rangos de los movimientos. Las señales EMG aportan en el desarrollo del campo de la domótica, el cual es bastante amplio, además de ofrecer un sistema de bajo costo y de alta eficacia, apto para todo tipo de usuario.

La conexión entre el módulo ESP y la Raspberry Pi, por medio de wifi a través de una dirección IP, cumple con su función de manera satisfactoria, pues ofrece estabilidad de conexión y alta velocidad de comunicación, además de que solo necesita de un modem o repetidor para la comunicación wifi, es muy económico; también se podría usar un teléfono móvil como punto de acceso o sincronizar directamente el módulo ESP y la Raspberry Pi, pero se prefiere un modem, ya que se pueden trabajar con varios dispositivos al mismo tiempo.

El sistema de adquisición de señales EMG es muy sensible a los cambios en la fuente de poder, se nota un gran cambio cuando la fuente está desfasada $\pm 0.5V$, pues las amplitudes de la señal EMG cambian y esto conlleva a que el sistema no funcione de manera adecuada.

Los electrodos de gel adquieren la señal de manera óptima, esta señal tiene menos ruido en comparación con otros electrodos; sin embargo, estos son más costosos y requieren aplicación de gel para su buen funcionamiento, por ende, pensando en que este sistema va a ser de uso continuo habría que cambiar el tipo de electrodo utilizado.

Referencias

- Ahamed, A., Ahad, A., Sohag, H. & Ahmad, M. (2016). Development of low cost wireless biosignal acquisition system for ECG EMG and EOG [conferencias]. *2nd International Conference on Electrical Information and Communication Technologies*, Khulna, Bangladesh.
- Ali, S. et al., (2020), Hand gesture-based control of NAO robot using myo Armband. En H. Ayas (Ed.), *Advances in Neuroergonomics and Cognitive Engineering* (pp. 449-457; Vol. 953). Springer
- Bu, N. et al., (2018), A semi-automatic control method for myoelectric prosthetic hand based on image information of objects, *2nd International Conference on Intelligent Informatics and Biomedical Sciences*, (pp. 23-28). 10.1109/ICIIBMS.2017.8279702.
- Cabrera, J., Mena, M., Parra, A. y Pinos, E. (2017). Intelligent assistant to control home power network [conferencia]. *2016 IEEE International Autumn Meeting on Power, Electronics and Computing*. Ixtapa, México.
- Chacón, D. Campoverde, P. y Ortiz, O. (2018). Domotic application for the monitoring and control of residential electrical loads [conferencia]. *2017 IEEE 37th Central America and Panama Convention*. Managua, Nicaragua.
- Chai, X., Zhang, Z., Guan, K., Lu, Y., Liu, G., Zhang, T. & Niu, H. (2020). A hybrid BCI-controlled smart home system combining SSVEP and EMG for individuals with paralysis. *Biomedical Signal Processing and Control*, 56.
- Huynh, K., Vu, N., Hoang, N. & Hien, P. (2020). Building an EMG Receiver System to Control a Peripheral Device. En V. Toi, T. Le, H. Ngo, T. Nguyen (Eds.), *IFMBE Proceedings* (pp. 61-66; Vol. 69). Spring Link.
- Kumar, S., Swathy, M., Vidya, M., Poojaa, K., Manikandan, G. & Aarthi, J. (2018). Wireless Bio signal Acquisition Electrode module for EMG. En ICICCT (Ed.), *Proceedings of the International Conference on Inventive Communication and Computational Technologies* (pp. 1.839-1.844).
- Liao, L., Tseng, Y., Chiang, H. & Wang, W. (2019). EMG-based Control Scheme with SVM Classifier for Assistive Robot Arm [conferencia]. *2018 International Automatic Control Conference*, Taoyuan, Taiwan.
- Luna-Romero, S., Delgado-Espinoza, P., Rivera-Calle, F. y Serpa-Andrade, L. (2018). A domotics control tool based on MYO devices and neural networks. En V. Duffy, N. Lightner (Eds.), *Advances in Human Factors and Ergonomics in Healthcare and Medical Devices* (pp. 540-548). Springer Verlag.

- Sengar, N., Kishore, M. & Travieso, C. (2017). Identification of amyotrophic lateral sclerosis using EMG signals. En *4th IEEE Uttar Pradesh Section International Conference on Electrical, Computer and Electronics* (pp. 468-471). IEEE.
- Tariquzzaman, M., Khanam, F., Sohag, H. & Ahmad, M. (2017). Design and implementation of a low-cost multichannel rectified EMG acquisition system [conferencia]. *19th International Conference on Computer and Information Technology*, Dhaka, Bangladesh.
- Torres, H., Meneses, G. y Pesántez, C. (2019). Implementation of a low-cost smart home based on standard 802.11 b/g/n WIFI [conferencia]. *2019 7th International Engineering Sciences and Technology Conference*, Panamá.
- Utama, D., Irawan, Y., Aulia, M., Riyani, A., Koesoma, A. & Azhar, T. (2017). Bio Based Autonomous Smart Home Concept [conferencia]. *5th International Conference on Instrumentation, Communications, Information Technology, and Biomedical Engineering*, Bandung, Indonesia.
- Vasylykiv, Y., Neshati, A., Sakamoto, Y., Gomez, R., Nakamura, K. & Irani, P. (2018). Smart home interactions for people with reduced hand mobility using subtle EMG-Signal gestures. *Studies in Health Technology and Informatics*, 25, 436-443.
- Wołczowski, A., Błędowski, M. & Witkowski, J. (2017). The system for EMG and MMG signals recording for the bioprosthetic hand control. *Journal of Automation, Mobile Robotics and Intelligent Systems*, 11(4), 22-29. <https://www.jamris.org/index.php/JAMRIS/article/view/437>
- Yang, Y., Ruan, S., Chen, P., Liu, Y., Hsueh, Y. (2020). Implementation of a Low-cost Wireless Multi-channel Surface EMG Acquisition System. *IEEE Consumer Electronics Magazine*, 9(5), 2.162-2.248. 10.1109/MCE.2020.2986792