

DISPOSITIVO ELECTRONICO DETECTOR DE PATOLOGÍAS MUSCULARES EN EL MOVIMIENTO DE LA RODILLA MEDIANTE SEÑALES ELECTROMIOGRAFICAS

Realizado por:
Ing. Carlos Hernández / Correo: hce1527@gmail.com
Ing. María Ramos / Correo: mariaramosd21@gmail.com
Ing. David Ravinovich / Correo: davidravino@hotmail.com

Tutor Académico:
Dr. Francisco Parra / Correo: frparra@urbe.edu.ve

Tutor Metodológico:
Dr. Jorge Torrealba / Correo: jorge.torrealba@urbe.edu.ve

Actualmente la mayoría de electromiografías (EMG) en Venezuela que se siguen realizando son de carácter invasivo, un procedimiento invasivo, “Es aquel procedimiento realizado por un profesional de la medicina en el cual el cuerpo es agredido químico y/o mecánicamente o mediante inyecciones intradérmicas y/o subcutáneas, o se introduce un tubo o un dispositivo médico”. “Corresponde al ejercicio exclusivo de la medicina la prescripción médica por cualquier vía de administración, sea ésta oral, parenteral o quirúrgica. En consecuencia, ningún elemento o sustancia extraña al organismo podrá ser suministrada, infiltrada, inyectada, colocada o introducida en el mismo sin la correspondiente prescripción médica”.

Hasta ahora no se han normalizado las pruebas no invasivas, esto debido a que el tradicional sistema médico no ha avanzado en la búsqueda de otros procedimientos, así como los dispositivos que pueden realizar este tipo de prueba son imprecisos, siendo el método invasivo el único al que recurrir. En la presente investigación, se desarrollará un dispositivo electrónico capaz de diagnosticar la patología muscular en la rodilla para realizar una evaluación objetiva, por lo tanto, se debe evaluar cómo se realizan las pruebas electromiográficas las cuales deben presentar el siguiente esquemático de funcionamiento.

Se debe recopilar los datos sobre el movimiento de la rodilla y la actividad muscular circundante, luego los datos recopilados son procesados y posteriormente digitalizados. Basándose en los datos procesados, el dispositivo identifica posibles patologías musculares en el movimiento de la rodilla, y los resultados del análisis son presentados en forma de visualizaciones, que puedan ser interpretados por profesionales de la salud como fisioterapeutas o médicos especializados. Estos utilizan, los resultados para evaluar el estado del paciente, procediéndose a realizar el diagnóstico para dar el posible tratamiento.

En el caso de Venezuela, los avances en electromiografía son más limitados debido a factores como la disponibilidad de tecnología de vanguardia, recursos financieros y capacitación especializada. Sin embargo, es importante tener en cuenta que la EMG sigue siendo una herramienta importante en el diagnóstico de trastornos neuromusculares en todo el mundo.

RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

Para conceptualizar mejor la idea, el dispositivo se divide en tres partes: La primera etapa es la adquisición de la señal, donde se utilizan electrodos para captar las señales electromiográficas generadas por los músculos alrededor de la rodilla. La segunda etapa se centra en el procesamiento de la señal, que incluye el uso del amplificador AD8832 para aumentar la amplitud de la señal su amplificador operacional interno para filtrar y limpiar la señal adquirida. Finalmente, la tercera etapa es el software, que se ejecuta en el microcontrolador ESP32 que permite el análisis en tiempo real de los datos y la visualización de resultados a través de una interfaz de usuario.

Etapa de procesamiento de la señal: Una vez que se han colocado los electrodos en puntos clave del movimiento de la rodilla, estos capturan las señales electromiográficas generadas por la actividad muscular. Para poder analizar y procesar estas señales, es necesario adecuarlas

mediante un proceso de amplificación y filtrado, dado que se trata de señales de muy bajo voltaje que requieren una atención especial.

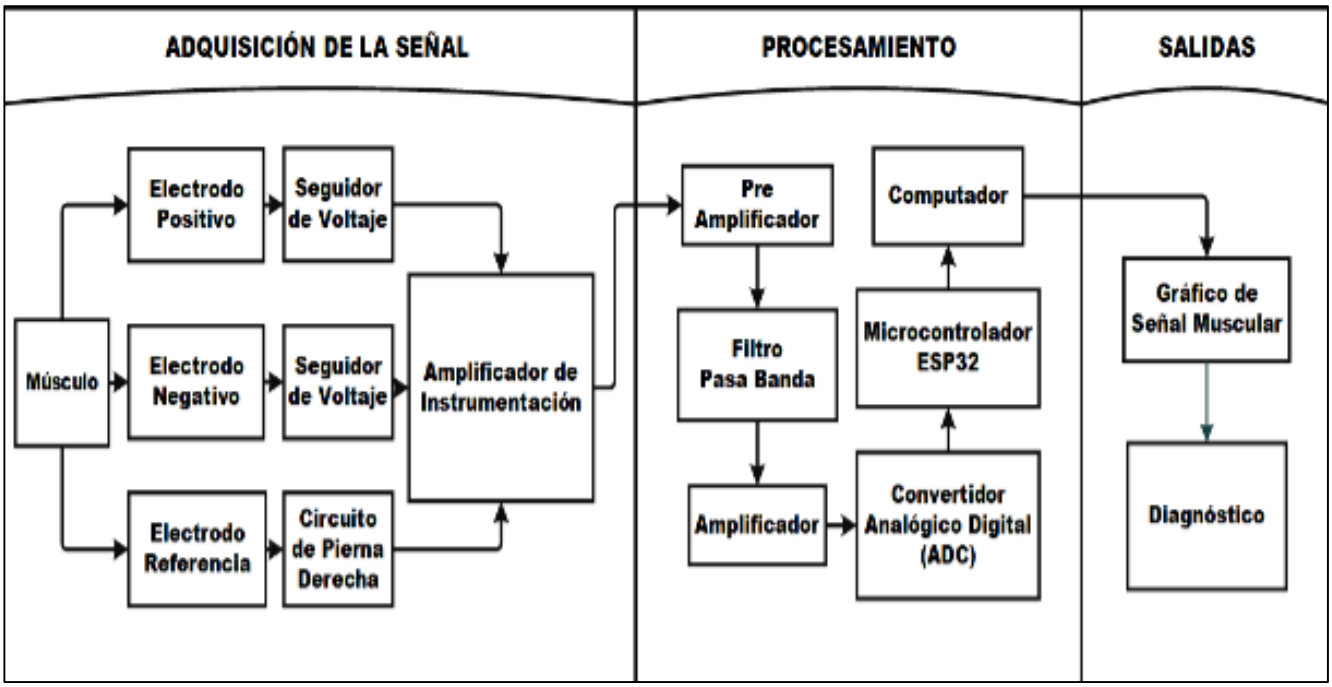

Figura 1. Diagrama de bloques
Fuente: Hernández, Ramos, Ravinovich (2024)

Etapa del software: Una vez que se ha llevado a cabo el acondicionamiento de la señal electromiográfica mediante filtrado analógico, es crucial proceder a la digitalización y análisis de esta información para evaluar las patologías musculares en el movimiento de la rodilla. Para ello, se utilizará un microcontrolador ESP32, que ofrece entradas analógicas con capacidad de conversión analógica a digital, permitiendo transformar las señales electromiográficas captadas por los electrodos colocados en puntos estratégicos alrededor de la rodilla en datos digitales que puedan ser procesados eficientemente.

En relación a la parte lógica se realizó un diagrama de flujo (Figura 2) que explica a la perfección el funcionamiento del programa y las condiciones para su correcto funcionamiento. Es una herramienta de suma importancia utilizada para representar la secuencia de las actividades del proceso. Para ello, muestra el comienzo del proceso, los puntos de decisión y el final del mismo.

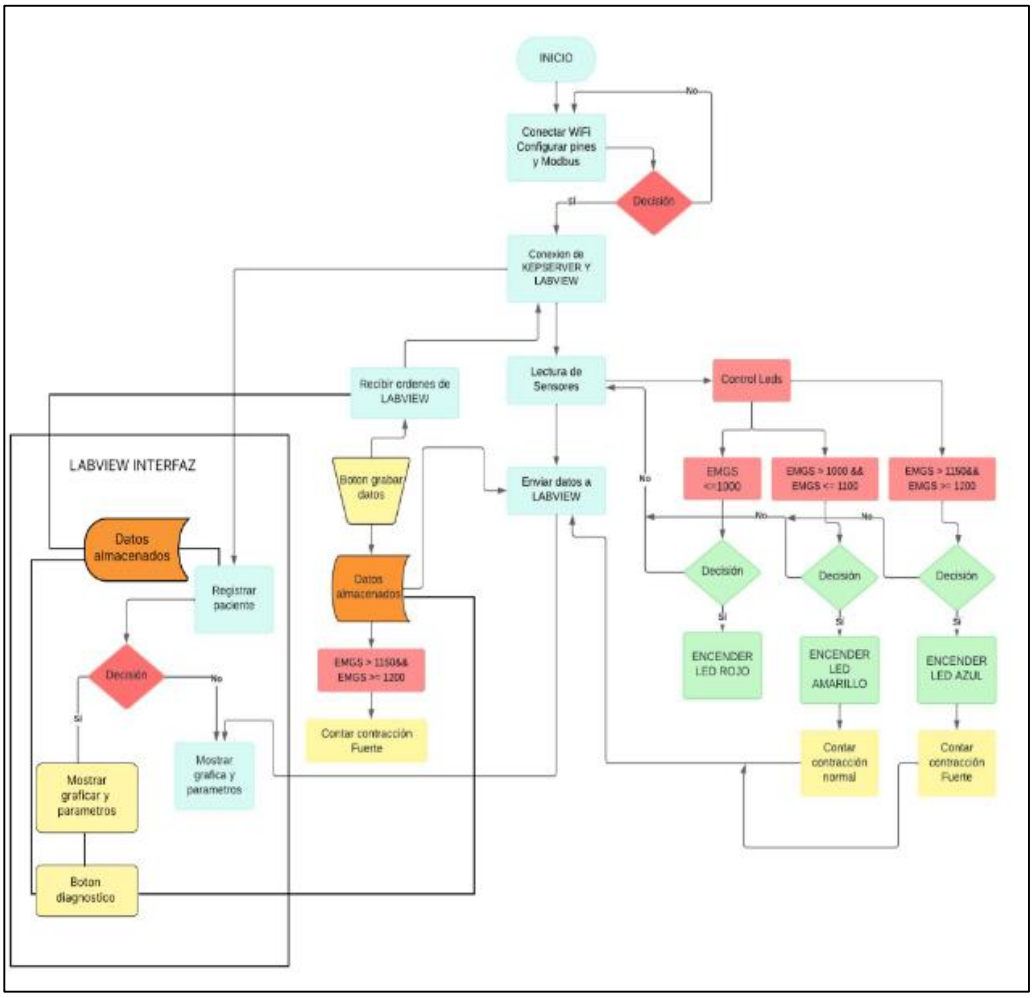

Figura 2. Diagrama de flujo de funcionamiento.
Fuente: Hernández, Ramos, Ravinovich (2025).

En esta fase se detalla el proceso de desarrollo del software que controlará lógicamente todo el sistema, así como la creación del hardware correspondiente. Se describen el tipo de software seleccionado, el lenguaje de programación utilizado, y las rutinas y subrutinas que componen el núcleo del software. El software ha sido desarrollado utilizando la plataforma Arduino, que es un entorno de creación de electrónica de código abierto especialmente diseñado para trabajar con microprocesadores como el ESP32 CH340. El lenguaje de programación utilizado es C++, un lenguaje potente y versátil que permite la implementación de estructuras complejas.

Este sistema ha sido diseñado para realizar lecturas continuas de datos provenientes de sensores de electromiografía (EMG), específicamente a través de dos sensores conectados a un Arduino. El objetivo principal del sistema es monitorear y analizar la actividad muscular en tiempo real, enviando estos datos a una interfaz de LabVIEW para su visualización.

Una vez que se capturan los valores, el sistema los envía a una interfaz de LabVIEW utilizando el protocolo Modbus. Este proceso se realiza mediante la función mb.Ireg(), que envía los valores de las lecturas de los sensores a través de registros en Modbus. LabVIEW, a su vez, muestra estos datos en tiempo real, permitiendo que el usuario pueda monitorear la actividad muscular de manera continua y visual. (Ver Figura 3).

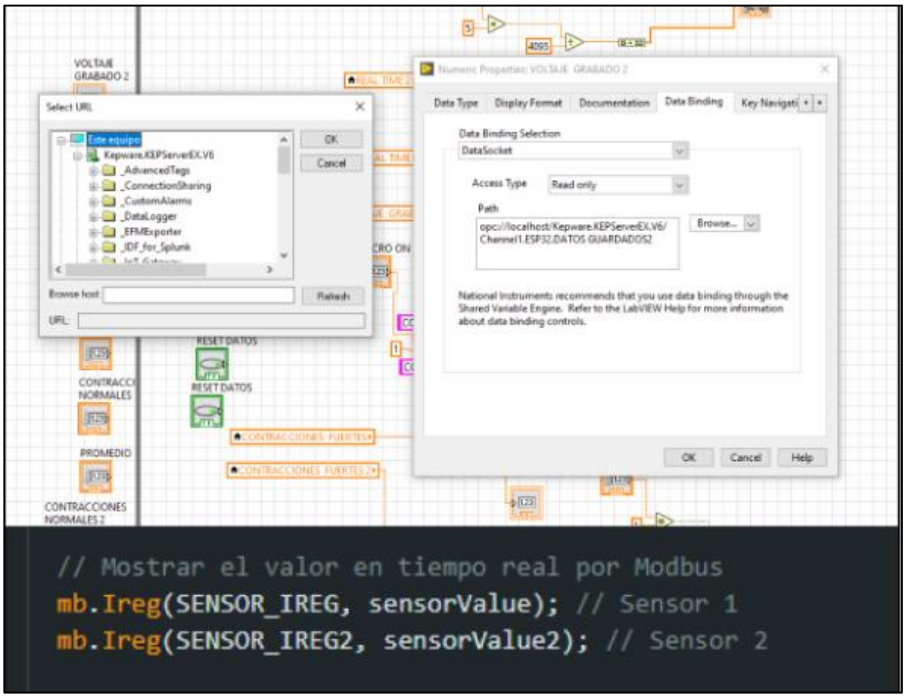

Figura 3. Conexión y envió de las señales EMGs.
Fuente: Hernández, Ramos, Ravinovich (2025).

El sistema también incorpora un control de LEDs para proporcionar una indicación visual del nivel de actividad muscular que se está registrando. Dependiendo de los valores obtenidos de los sensores, el programa enciende diferentes LEDs de colores, los cuales están conectados a pines específicos del Arduino.

- LED rojo: Se enciende cuando la lectura del sensor indica un nivel bajo de actividad muscular, lo que corresponde a un valor de sensor inferior a un umbral determinado.
- LED azul: Se enciende cuando la lectura del sensor indica una contracción más fuerte, lo que corresponde a un valor superior al umbral definido.

Estos LEDs sirven como una forma rápida y visual para que el usuario vea el comportamiento de los sensores y la actividad muscular en general, sin necesidad de observar los números exactos en la interfaz de LabVIEW.

Una de las características más destacadas del sistema es la capacidad de grabar las lecturas de los sensores sin interferir con la lectura continua. Esto se logra mediante un botón de grabación que se puede activar en cualquier momento, sin que interrumpa el ciclo constante de lectura de los datos.

La interfaz gráfica muestra solo la subpantalla activa, manteniendo las demás ocultas o inactivas. Esto asegura una navegación ordenada y una experiencia de usuario clara y enfocada.

El programa inicia con una interfaz principal en la que el usuario puede elegir entre dos opciones:

1. Registrar al paciente: Permite ingresar los datos del paciente, los cuales serán utilizados para generar un reporte del estudio.

2. Omitir el registro: Se accede directamente al monitoreo de las variables sin necesidad de almacenar los datos del paciente.

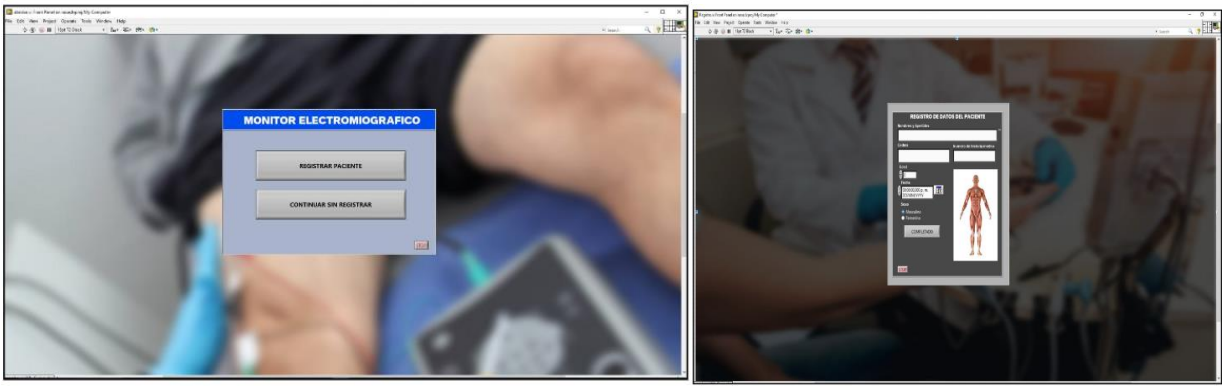

Figura 4. Arreglo para abrir subpantallas.
Fuente: Hernández, Ramos, Ravinovich (2025).

Si el usuario elige la opción de registro, se despliega un panel en el que debe completar la información del paciente (Figura 5). Una vez registrado, se da inicio al estudio, ingresando a un panel de visualización en el que se realiza el monitoreo de la actividad muscular. Este panel muestra en tiempo real los datos recopilados, permitiendo al usuario observar y analizar la información de manera continua y precisa. En este estudio, se analizan dos músculos específicos: el gastronecmio y el vasto lateral. La actividad muscular se registra mediante una serie de gráficos y grabaciones, que permiten evaluar parámetros clave como el número de contracciones y el promedio de actividad durante la prueba

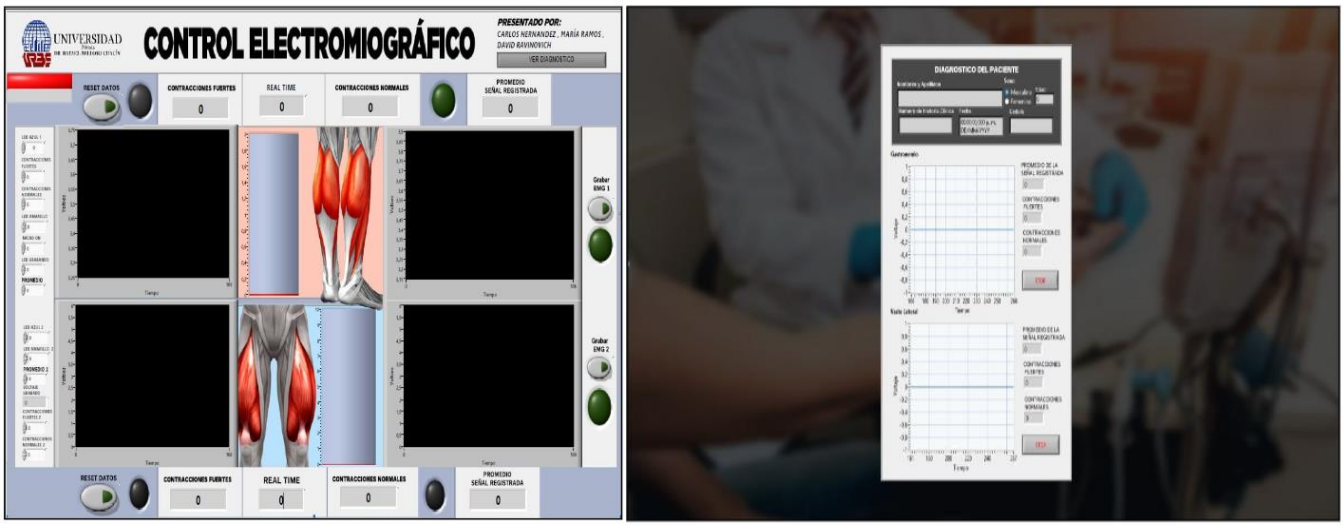

Figura 5. Arreglo para abrir subpantallas.
Fuente: Hernández, Ramos, Ravinovich (2025).

Al concluir el estudio, se genera un diagnóstico basado en los datos obtenidos. Finalmente, el programa muestra una subpantalla con un resumen del análisis realizado, proporcionando toda la información recopilada durante la evaluación del paciente. Esta subpantalla incluye detalles como gráficos, métricas clave y los datos personales del paciente.

Por otro lado, se muestra el diagrama físico, que representa como está conectada la circuitería. Desde la alimentación del sensor Ad8832 y del microcontrolador Esp32, pasando por la conexión de la señal analógica del pin Sig del Ad8832 al pin analógico A0 del Esp32. Y la conexión de los Leds indicadores de estado conectados a los pines digitales del microcontrolador

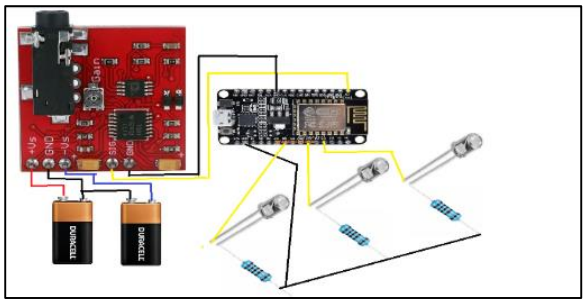

Figura 6. Diagrama físico del circuito
Fuente: Hernández, Ramos, Ravinovich (2025).

Se debe validar que el protocolo Modbus y KepServer funcionan correctamente para la comunicación remota. Las pruebas hechas con el dispositivo arrojaron que la comunicación mediante **Modbus** es segura y resistente a interferencias. Y también la conexión

con **KepServer** probó que los datos se transmiten y almacenan correctamente. Se ajustó el diseño basado en pruebas preliminares y feedback.

Se hicieron varias pruebas para verificar que Labview procesa y visualiza las señales correctamente, asegurando que el sistema es capaz de manejar grandes volúmenes de datos en tiempo real, ya que, las pruebas son realizadas con captura de datos en tiempo real, porque deben ser evaluadas en el menor tiempo

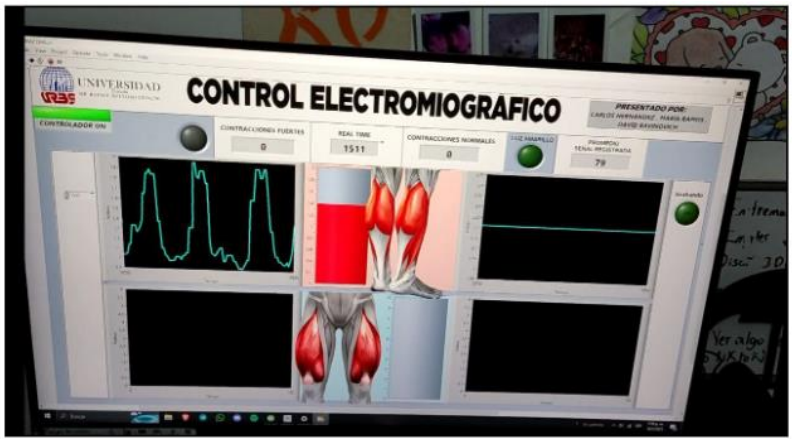

Figura 7. Procesamiento de la señal
Fuente: Hernández, Ramos, Ravinovich (2025).

Se realizó la implementación de seis diodos leds, (tres para cada sensor) indicadores de estado los cuales muestran el esfuerzo de la contracción muscular aproximado a un voltaje, el led rojo indica un estado de contracción mínima o directamente cuando es nula, el led amarillo indica un estado de contracción media y el led azul indica un estado de contracción fuerte.

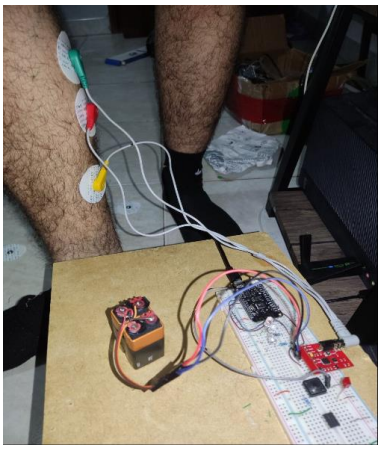

Figura 11. Construcción del prototipo
Fuente: Hernández, Ramos, Ravinovich (2025)

Para conectar el ESP32 al servidor se usa Kepserver, para la conexión de forma inalámbrica, se utilizará una red Wi-Fi en la banda de 2.4 GHz. Esta banda, aunque más antigua que la de 5

GHz, está presente en todos los routers modernos y ofrece una buena cobertura. Su rango de frecuencia abarca desde 2.412 MHz hasta 2.484 MHz, dividido en 14 canales de 20 MHz cada uno con solapamiento entre ellos. La banda de 2.4 GHz, a pesar de su uso generalizado y la posible congestión, proporciona una cobertura adecuada para la conexión inalámbrica entre el ESP32 y el servidor. Su compatibilidad con una amplia gama de dispositivos la convierte en una opción práctica y fiable para esta aplicación.

Una vez realizadas las calibraciones necesarias de los sensores y el ajuste de la escala en el software se procede a colocar los electrodos ubicados en los grupos musculares a analizar, para verificar el funcionamiento del dispositivo hay que registrar la actividad muscular en reposo, con contracciones débiles y con contracciones fuertes. En estado de reposo el dispositivo no capta alguna señal eléctrica proveniente del movimiento por lo que no existe una amplitud y valoración de la señal de los potenciales de acción.

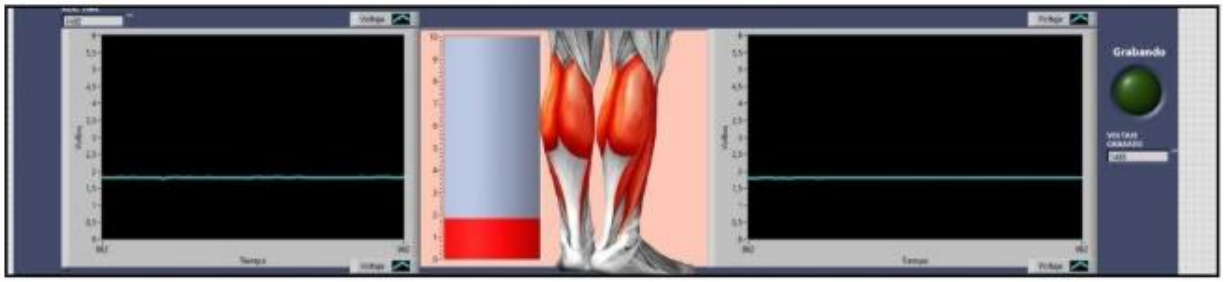

Figura 13. Señal del gastronecmio medio en reposo
Fuente: Hernández, Ramos, Ravinovich (2025).

Cuando se realiza algún movimiento que active el grupo muscular y el dispositivo está correctamente calibrado de hardware y software empieza la captación de señales que generan las contracciones de los paums (potenciales de acción de las unidades motoras), unas contracciones débiles pueden generar pequeños picos u oscilaciones, mientras que las contracciones más fuertes pueden representar las características de la forma de la onda.

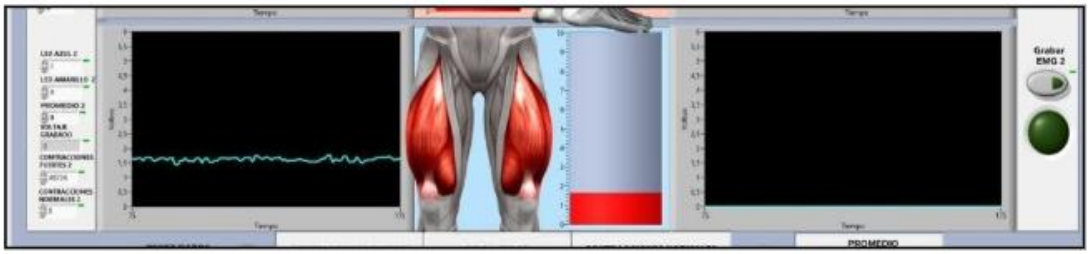

Figura 25. Señal del vasto lateral en una contracción muy débil
Fuente: Hernández, Ramos, Ravinovich (2025).

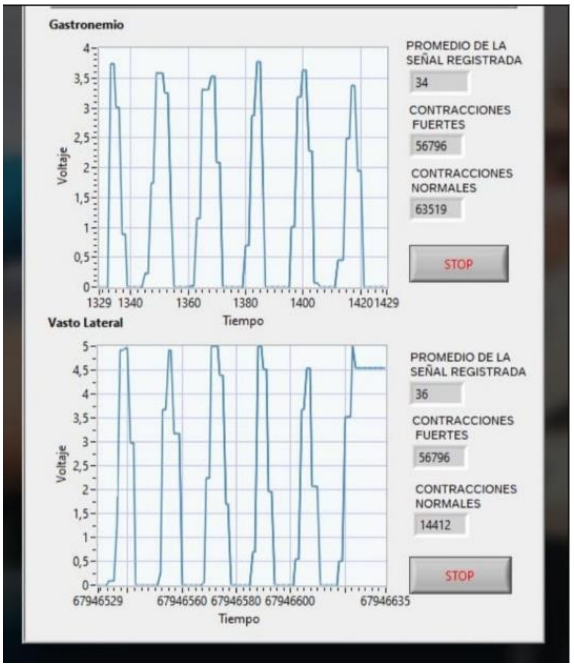

Figura 26. Registro de señal de ambos músculos en una contracción fuerte
Fuente: Hernández, Ramos, Ravinovich (2025).

Las pruebas realizadas concluyeron que el dispositivo es capaz de captar las señales provenientes de los músculos seleccionados y puede mantener un rango consistente al momento de grabar y registrar la señal, haciéndolo fiable para las pruebas en pacientes. Además, la transmisión de la señal vía tcp/ip no mostró algún retraso ni posibles interferencias añadidas a la señal haciéndolo un método eficaz para muestrear datos en tiempo real.

CONCLUSIONES

Tras haber finalizado la investigación serán presentados a continuación las conclusiones de la misma haciendo referencia a los objetivos propuestos. Se pudo indagar que actualmente en Venezuela los métodos que se realizan son las pruebas de electromiografías invasivas, complementándose con las no invasivas junto con otro tipo de pruebas como las radiografías y ecografías. Se procedió a buscar las definiciones y especificaciones en las hojas de datos de cada componente analizado para el diseño del prototipo y así tener un diseño óptimo y funcional para su demostración.

Se llevó a cabo una investigación exhaustiva con respecto a lo que conlleva el software y el hardware para integrarlos finalmente, creándose un diseño conceptual como base para el diseño final y la posterior fabricación del prototipo, utilizando programas de simulación de circuitos y emuladores de microcontroladores. Se observó cómo realizar el armado del hardware del prototipo

para tener la mejor manera de construirlo y al mismo tiempo adaptarlo con el software y simuladores que se utilizaron para controlar los procesos mediante su código de programación.

Se realizó y se verifico mediante pruebas el funcionamiento del dispositivo electrónico detector de patologías musculares en el movimiento de la rodilla mediante señales electromiográficas, se comprobó la funcionalidad del dispositivo. Además, las pruebas han permitido ajustar la sensibilidad de la ganancia dependiendo del musculo a analizar para lograr el mejor resultado posible.

Se recomienda la utilización de electrodos inalámbricos que permiten mejorar la ergonomía del dispositivo al eliminar todo el cableado alámbrico que este presenta. La comunicación y transmisión de datos se puede llevar a cabo mediante alguno de los protocolos ya vistos como el Modbus, a través de TCP/IP. Además, realizar muchas pruebas en diferentes tipos de pacientes con diferentes condiciones y complexiones, y compararlas con otros equipos de electromiografía para evaluar la eficacia del dispositivo y el impacto y la aceptación del dispositivo en diferentes contextos y situaciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Angulo, J. (1986). **Electrónica Digital Moderna Teoría y Práctica**. 7 ma Edición. España: Editorial Paraninfo.

Arias, F. (2016). **El Proyecto de Investigación**. 7ma. Edición. Venezuela: Editorial Alegría 5570, C.A.

Bavaresco, A. (2013). **Proceso Metodológico en la Investigación**. 6ta. Edición. Venezuela: Imprenta Internacional, C.

Boylestad, R y Nashelsky, L. (2014). **Electrónica: teoría de circuitos y dispositivos electrónicos**. 10ma Edición. Mexico: Prentice Hall Hispanoamericana, S.A.

Mayné, J. (2013). **Sensores Acondicionadores y Procesadores de señal**. 1ra Edicion. España: Silica

Savant, C., Roden, M., Carpenter, G. (2000). **Diseño Electrónico**. 3ra Edición. México: Editorial Pearson Education.

Zárate, J. (2019). **Fundamentos de Comunicaciones (Libro en Línea).** España: FUOC, Fundación para la Universidad Abierta de Cataluña. Disponible: https://openaccess.uoc.edu/bitstream/10609/141046/17/PLA4_Fundamentos%20de%20comunicaciones.pdf (Consulta: 2023, Julio 13)