# 6.7. Adquisición de Señales EMG con BITalino: Fundamentos, Procesamiento y Aplicaciones

## 6.7.1. Introducción a la Adquisición de Señales EMG

El kit BITalino (r)evolution Plugged Kit BLE/BT es una plataforma modular de adquisición biomédica diseñada específicamente para facilitar el estudio, la monitorización y la integración de señales fisiológicas en contextos portátiles y de investigación aplicada. Está compuesto por una unidad central de control (MCU) y una serie de módulos sensores enchufables que permiten la captación precisa de biopotenciales como EMG, ECG y EEG, además de otras variables como la conductancia de la piel (EDA), la aceleración (ACC) o la temperatura corporal.

Cada módulo de BITalino ha sido diseñado para cumplir los requisitos específicos de su tipo de señal, con una arquitectura electrónica independiente que incluye preamplificación, filtrado analógico, acondicionamiento y salida analógica ya lista para ser digitalizada por la MCU. La placa base incluye un sistema de adquisición con resolución de 10 bits, transmisión Bluetooth 4.0 BLE y conectividad por UART, lo que permite tanto la transmisión inalámbrica de datos en tiempo real como su almacenamiento para análisis posteriores.

**3.2 Funcionamiento interno del sistema BITalino**

El funcionamiento del sistema puede dividirse en cinco etapas principales:

1. Captación de la señal:

* A través de electrodos de superficie (Ag/AgCl) conectados directamente a los sensores modulares.
* El tipo de electrodos y su colocación son clave para garantizar una captación de señal limpia, especialmente en señales EMG.

1. Acondicionamiento analógico en el módulo sensor:

* Cada módulo contiene un amplificador de instrumentación de alta ganancia (1009 para EMG). Elimina señales comunes con CMRR > 80 dB.
* Se aplica un filtro analógico paso banda específico del tipo de señal (ej. EMG: 20–500 Hz).
* Alta impedancia de entrada para evitar pérdida de señal debido al contacto con la piel.

1. Conversión Analógico-Digital (ADC):

* El módulo MCU centraliza la conversión con una resolución de 10 bits (1024 niveles).
* Se digitalizan las señales preacondicionadas que llegan de los módulos por cable Plugged.
* El muestreo puede configurarse entre 1 Hz y 1000 Hz (valor típico en EMG: 1000 Hz).

1. Multiplexación y estructura de paquetes:

* Cada canal se multiplexa y se estructura en tramas tipo UART (8N1) o BLE.
* Las tramas digitales incluyen cabecera, ID de canal, timestamp y valor digitalizado.

1. Transmisión inalámbrica o por cable:

* BLE: permite comunicación con PC, móviles, microcontroladores o apps como OpenSignals.
* UART: conexión a software como OpenSignals o a microcontroladores como la ESP32.

**3.3. BITalino: Módulos Disponibles y Aplicación en la Adquisición de EMG**

* EMG (Electromiografía): Captura señales eléctricas generadas por la actividad muscular.
* ECG (Electrocardiografía): Registra la actividad eléctrica del corazón.
* EDA (Actividad Electrodérmica): Mide la conductancia de la piel relacionada con la respuesta fisiológica emocional.
* ACC (Acelerómetro): Detecta movimiento y orientación espacial en tres ejes.
* LUX (Sensor de luz): Mide la intensidad de luz ambiental.
* Temperatura: Registra la temperatura corporal o ambiental.
* EEG (Electroencefalografía): Captura señales cerebrales para análisis neuronal.
* MCU (Potencia y Comunicación): Centraliza la gestión del sistema, proporcionando comunicación Bluetooth.
* BTN (Push Button): Interruptor digital para sincronización y marcado manual de eventos.

Estos módulos pueden conectarse e integrarse de forma flexible, permitiendo adaptarse a diversas aplicaciones biomédicas, deportivas y de investigación.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  |  | Interfaz de usuario gráfica  El contenido generado por IA puede ser incorrecto. |  |
| Un conjunto de letras negras en un fondo blanco  El contenido generado por IA puede ser incorrecto. |  |  |  |

Ilustración 1 - Vista general de los diferentes módulos que componen el ecosistema BITalino: sensores de EMG, EDA, ACC, ECG, EEG, temperatura, luz, pulsador y módulo MCU. Cada uno de ellos se puede intercambiar e integrar en configuraciones personalizadas según la aplicación biomédica deseada.  
(Agradecimientos a pluxbiosignals.com)

### 3.4. Módulos candidatos para la Adquisición y Análisis de señales EMG

En el apartado anterior se han mencionado los diferentes sensores disponibles en BITalino. Sin embargo, en este apartado nos centraremos exclusivamente en aquellos que pueden utilizarse en la adquisición de señales EMG, fundamentales para el análisis de la actividad muscular, el control de dispositivos y la investigación biomédica. La correcta selección y combinación de estos sensores permite una adquisición más precisa y completa de la señal, reduciendo la presencia de artefactos y mejorando la interpretación de los datos.

## 3.1 Módulo EMG (Electromiografía)

El módulo EMG de BITalino es el sensor principal para la medición de la actividad muscular, utilizado para la medición del electromiograma. Su funcionamiento se basa en la detección de los impulsos eléctricos generados por la contracción de los músculos, capturados mediante electrodos superficiales colocados estratégicamente sobre la piel.

Diagrama

El contenido generado por IA puede ser incorrecto.Imagen que contiene Gráfico

El contenido generado por IA puede ser incorrecto.

Ilustración 2 - Vista del módulo EMG con sus conexiones de entrada y salida, junto a una señal EMG real en milivoltios captada durante la contracción muscular (Agradecimientos a pluxbiosignals.com)

Este sensor cuenta con una alta ganancia para amplificar la señal y permitir su procesamiento sin pérdidas. Además, incorpora un filtrado para reducir interferencias externas, como el ruido de la red eléctrica o los artefactos generados por el movimiento del usuario.

Tabla

El contenido generado por IA puede ser incorrecto.

Tabla 1 – Características principales del Módulo EMG

Una característica fundamental del módulo EMG es su alta impedancia de entrada, lo que permite captar señales de baja amplitud con precisión, minimizando los efectos de la resistencia de contacto entre la piel y los electrodos. La calidad de la señal puede verse afectada por factores como la sudoración, la colocación de los electrodos o la presencia de ruido electromagnético en el entorno.

Este sensor opera dentro de un rango de voltajes óptimo para integrarse en sistemas embebidos, gracias a su bajo consumo energético, es ideal para aplicaciones portátiles. Su uso es común en el desarrollo de prótesis controladas por EMG, estudios de ergonomía, monitorización del rendimiento muscular en el deporte y rehabilitación de pacientes con trastornos neuromusculares.

Otro aspecto relevante es la conversión de los valores digitales adquiridos mediante el ADC para obtener representaciones en unidades de milivoltios. Para esto, se emplea una función de transferencia específica que tiene en cuenta la ganancia del sensor y el voltaje de referencia.

### 5.1.1 Función de Transferencia para el Sensor EMG

La conversión de los valores digitales obtenidos mediante el ADC a unidades de voltaje en el sensor EMG se realiza mediante la siguiente ecuación, permitiendo transformar los datos adquiridos en valores comprendidos entre -1.64 mV y 1.64 Mv.

**3.1 Etapas del procesamiento de señal**

1. Captura por electrodos: Configuración bipolar con tres electrodos: activo (+), referencia (-), y tierra. Deben colocarse alineados con las fibras musculares.
2. Amplificación diferencial: Con ganancia fija de 1009. Elimina señales comunes con CMRR > 80 dB.
3. Filtrado analógico: Filtro paso-banda entre 20–500 Hz.
4. Conversión analógico-digital (ADC): Resolución de 10 bits. Frecuencia de muestreo ajustable; 1000 Hz utilizada en este proyecto.
5. Transmisión: Vía BLE o UART a software como OpenSignals o a microcontroladores como la ESP32.

Donde:

* representa la tensión de alimentación del sensor, cuyo valor es **3.3V**.
* **​** es la ganancia del sensor, establecida en **1009**.
* se refiere al valor digital obtenido en el proceso de conversión.
* es la resolución del conversor analógico-digital, con un valor por defecto de **10 bits**.

## 5.2 Módulo EDA (Actividad Electrodérmica)

El sensor EDA de BITalino está diseñado para medir la actividad electrodérmica de la piel, proporcionando información sobre la conductancia cutánea. Aunque su función principal está enfocada en estudios de respuestas fisiológicas relacionadas con el estrés o la actividad del sistema nervioso autónomo, también puede complementar la adquisición de señales EMG.

Diagrama

El contenido generado por IA puede ser incorrecto.Gráfico, Gráfico de líneas

El contenido generado por IA puede ser incorrecto.

Ilustración 3 - Imagen del sensor EDA con su esquema de pines y gráfica de conductancia (en µS) frente al tiempo, correspondiente a una respuesta fisiológica gradual.  
(Agradecimientos a pluxbiosignals.com)

**3.X.1 Etapas del procesamiento de señal EDA**

1. Captura por electrodos: Se utilizan dos electrodos colocados en las falanges distales de los dedos índice y medio de la mano no dominante.
2. Conversión de resistencia a voltaje: La variación de la resistencia de la piel es transformada en un voltaje proporcional por medio de un divisor resistivo interno.
3. Filtrado analógico: Se utiliza un filtro pasa-bajo para eliminar ruido de alta frecuencia y garantizar estabilidad de la señal.
4. Conversión analógico-digital (ADC): Resolución de 10 bits, con una frecuencia de muestreo más baja que EMG (recomendada: 10–100 Hz).
5. Transmisión: Vía BLE o UART para su análisis en OpenSignals o software personalizado.

El principio de funcionamiento del sensor EDA se basa en la variación de la resistencia de la piel, la cual cambia según el nivel de hidratación y la actividad de las glándulas sudoríparas. Estos cambios se traducen en variaciones en la conductancia cutánea, las cuales son captadas mediante electrodos y convertidas en una señal eléctrica proporcional. La presencia de sudor, por ejemplo, aumenta significativamente la conductividad entre los electrodos, lo que puede afectar la calidad de otras señales fisiológicas como la EMG, al modificar el contacto piel-electrodo.

Su integración junto al módulo EMG en entornos de adquisición multisensorial permite estudiar la relación entre la activación muscular y el estado fisiológico del usuario. Esto resulta especialmente útil en contextos de fatiga muscular, análisis de estrés o sistemas de biofeedback. Además, el módulo EDA de BITalino destaca por su bajo consumo energético y alta sensibilidad, lo que lo convierte en una herramienta eficaz en investigaciones de neurociencia, psicología aplicada y control de interfaces basadas en parámetros fisiológicos.

Tabla

El contenido generado por IA puede ser incorrecto.

Tabla 2 - Características principales del Módulo EDA

### 5.2.1 Función de Transferencia para el Sensor EDA

El sensor de actividad electrodérmica (EDA) convierte la resistencia de la piel en valores de conductancia expresados en microsiemens (μS). La ecuación que rige esta transformación es:

Donde:

* representa la resistencia medida por el sensor en megaohmios.
* es el valor digitalizado obtenido de la señal.
* corresponde al número de bits de resolución del ADC, fijado en **10 bits** por defecto.

"La frecuencia de muestreo recomendada para la señal EDA es menor en comparación con la EMG, ya que la respuesta galvánica de la piel varía lentamente. Además, el uso de electrodos de plata/cloruro de plata (Ag/AgCl) mejora la estabilidad de la medición y reduce la impedancia de contacto, optimizando la calidad de la señal."

## 5.3 Módulo ACC (Acelerómetro)

El módulo ACC de BITalino mide la aceleración en tres ejes espaciales, proporcionando datos sobre el movimiento y la orientación del dispositivo. Aunque no mide directamente la actividad muscular, su uso combinado con el sensor EMG permite mejorar el análisis de la señal al correlacionarla con el movimiento del cuerpo.

Diagrama

El contenido generado por IA puede ser incorrecto.Gráfico, Histograma

El contenido generado por IA puede ser incorrecto.

Ilustración 4 - Representación del acelerómetro con salidas por eje (X, Y, Z), junto a una señal de aceleración donde se compara la señal sin filtrar y la filtrada. (Agradecimientos a pluxbiosignals.com)

**3.X.1 Etapas del procesamiento de señal**

1. Captura por sensores MEMS: Cada eje del acelerómetro capta variaciones de aceleración debidas al movimiento.
2. Conversión de aceleración a voltaje: El sensor MEMS produce un voltaje analógico proporcional a la aceleración detectada.
3. Filtrado analógico: Se aplica un filtro pasa-bajo interno para evitar oscilaciones de alta frecuencia y ruidos mecánicos.
4. Conversión analógico-digital (ADC): Conversión a 10 bits por canal; frecuencia típica: 100–500 Hz.
5. Transmisión: Enviado vía BLE o UART en tiempo real.

El sensor ACC de BITalino permite medir la aceleración en los tres ejes del espacio (X, Y, Z), siendo una herramienta clave en estudios de biomecánica, rehabilitación y control por gestos. Su integración junto al módulo EMG facilita el análisis conjunto de la postura, el desplazamiento y la activación muscular, lo cual resulta útil en el estudio de la marcha, análisis ergonómico o sistemas de asistencia robótica.

Además, el acelerómetro resulta esencial para detectar y corregir artefactos de movimiento en las señales EMG. Al identificar aceleraciones bruscas, el sistema puede discernir entre una contracción muscular real y una alteración debida a desplazamiento involuntario del sensor. Su bajo consumo energético y alta sensibilidad lo hacen adecuado para sistemas portátiles, permitiendo una monitorización continua sin comprometer la autonomía. También destaca por su capacidad para registrar cambios sutiles, lo que lo hace especialmente valioso en estudios de control motor y equilibrio postural.

Tabla

El contenido generado por IA puede ser incorrecto.

Tabla 3 - Características principales del Módulo ACC

### 5.3.1 Función de Transferencia para el Sensor ACC

El sensor acelerómetro convierte los valores digitales adquiridos por el ADC en aceleración expresada en **g** (gravedad terrestre). La ecuación utilizada para esta conversión es:

Donde:

* es el valor digital obtenido por el convertidor analógico-digital.
* representa el menor valor registrado durante la calibración del sensor.
* es el valor máximo captado durante la calibración.

## Para calibrar correctamente el acelerómetro, se recomienda realizar una rotación completa de 360° en cada eje, asegurando que se alcancen los valores de referencia de ±1 g. El rango de medición del módulo ACC de BITalino es de ±3 g, suficiente para la mayoría de las aplicaciones biomédicas y ergonómicas. Para mejorar la estabilidad de la señal y reducir el ruido, se aconseja aplicar filtrado digital pasa-bajo o promediar los datos adquiridos.

## 5.4 Módulo BTN (Push Button)

El módulo BTN de BITalino es un interruptor digital que permite detectar pulsaciones momentáneas. Aunque no es un sensor fisiológico, su integración en sistemas de adquisición de señales EMG permite la sincronización y el marcado de eventos.

Diagrama

El contenido generado por IA puede ser incorrecto.Gráfico, Histograma

El contenido generado por IA puede ser incorrecto.

Ilustración 5 - Visualización del módulo de botón junto a una señal binaria en función del tiempo, que indica la detección de dos pulsaciones momentáneas. (Agradecimientos a pluxbiosignals.com)

**3.X.1 Etapas del procesamiento de señal**

1. Activación por usuario: Pulsación manual sobre el botón.
2. Lectura de estado digital: El estado del botón es leído como alto (1) o bajo (0).
3. Debouncing electrónico: Se elimina el rebote mediante un filtro RC o digital (firmware).
4. Codificación digital: La transición de estado se codifica en un paquete binario.
5. Transmisión: Se envía mediante BLE o UART para sincronizar eventos en OpenSignals o microcontroladores.

Tabla

El contenido generado por IA puede ser incorrecto.

Tabla 4 - Características principales del Módulo BTN

El módulo BTN se utiliza principalmente como herramienta de control dentro de experimentos donde es necesario identificar momentos clave en la adquisición de señales fisiológicas. Su función más habitual es la marcación de eventos, como el inicio o el fin de una contracción muscular voluntaria durante pruebas con EMG, facilitando la posterior segmentación y análisis de los datos registrados. También puede utilizarse en sistemas interactivos como confirmación o activación de comandos dentro de un flujo de control.

Gracias a su diseño de bajo consumo energético y su integración directa con el resto de los módulos del sistema BITalino, el botón permite sincronización precisa de eventos en tiempo real. Su tiempo de respuesta es prácticamente instantáneo, lo que lo hace ideal para protocolos que requieren alta precisión temporal, como el control de prótesis, estudios de activación muscular o biofeedback. Su simplicidad y eficacia lo convierten en una herramienta auxiliar muy valiosa dentro de sistemas de adquisición multisensorial.

**Conclusión**

El sistema BITalino, mediante su arquitectura modular y su compatibilidad con múltiples señales fisiológicas, ha demostrado ser una herramienta versátil para la adquisición y análisis biomédico. En este proyecto se han analizado sus cuatro módulos principales: EMG, EDA, ACC y BTN. Cada uno de ellos aporta información complementaria que permite una caracterización más completa de la actividad del usuario. El EMG ha sido la base para la detección de contracciones musculares, el EDA permite interpretar el estado autonómico, el ACC añade contexto cinemático al movimiento corporal, y el BTN aporta control manual y marcado de eventos clave.

Si bien todos los módulos han sido utilizados durante la fase experimental para comprender su comportamiento y posibilidades de integración, únicamente el EMG ha sido implementado de forma funcional en los códigos del TFM. Este módulo ha permitido controlar en tiempo real la prótesis robótica desarrollada, mediante programación en Python y comunicación con una placa ESP32. La integración completa del resto de módulos, especialmente con técnicas de fusión sensorial y algoritmos de aprendizaje automático, se plantea como un avance futuro que permitirá dotar al sistema de mayor robustez, adaptabilidad y precisión en entornos dinámicos reales.

## 6. Proceso Técnico de Adquisición de la señal

### 6.1. Captura y Adquisición Inicial de la Señal EMG

### La adquisición de señales EMG con BITalino comienza con la colocación precisa de electrodos superficiales sobre el músculo de interés. Se recomienda el uso de electrodos pre-gelificados para asegurar una baja impedancia y un contacto estable. La configuración preferida es la bipolar, donde dos electrodos activos se colocan alineados con las fibras musculares, y un electrodo de referencia se sitúa en una región ósea o de baja actividad muscular, como el codo o la clavícula.​

BITalino emplea sensores EMG en configuración **bipolar**, lo cual representa una elección técnica clave frente a la alternativa unipolar. Esta configuración bipolar permite una mayor inmunidad al ruido de modo común, lo que mejora notablemente la calidad de la señal y reduce las interferencias externas, algo fundamental en aplicaciones como el control de prótesis o el análisis de la actividad muscular. Además, al colocar dos electrodos activos directamente sobre el músculo, se logra una detección más precisa y localizada, ideal para estudios donde se requiere alta resolución, como en biofeedback o rehabilitación. A diferencia de la configuración unipolar, que es más vulnerable al ruido y menos específica, la bipolaridad garantiza una mayor fiabilidad, simplicidad en el montaje y robustez durante el uso, especialmente en entornos no clínicos como el educativo o de investigación aplicada. Por tanto, remarcar que el sistema BITalino trabaja con sensores bipolares es esencial para justificar tanto el diseño del sistema como la calidad de los resultados obtenidos.

### 6.2. Amplificación Diferencial y Filtrado Analógico

Tras la captura inicial, la señal EMG, típicamente de muy baja amplitud (aproximadamente entre 5 y 20 µV), es sometida a una amplificación diferencial mediante circuitos integrados específicos del módulo EMG del BITalino. Este amplificador posee una ganancia alta (aproximadamente 1009) y un alto rechazo del modo común (CMRR) de 86 dB para minimizar ruido y artefactos externos.

Simultáneamente, se aplican filtros analógicos integrados que operan en un rango de frecuencia de 20-500 Hz para eliminar interferencias de baja frecuencia (movimiento, respiración) y alta frecuencia (ruido electromagnético).

### 6.3. Conversión analógico-digital (ADC)

La señal analógica amplificada y filtrada se convierte a formato digital mediante un conversor analógico-digital (ADC) de 10 bits, integrado en el sistema BITalino. Este ADC tiene una tasa de muestreo ajustable, típicamente configurada a 1000 Hz, cumpliendo el teorema de Nyquist para capturar señales EMG sin aliasing hasta frecuencias de 500 Hz:

### 6.4. Procesamiento Digital Avanzado

La señal digitalizada EMG se procesa mediante varias etapas técnicas detalladas a continuación:

* Filtrado Digital Avanzado: Implementación de un filtro digital Butterworth paso-banda de cuarto orden (20-500 Hz) mediante software específico como OpenSignals o directamente en ESP32. Esto permite una limpieza adicional y más precisa de la señal capturada.
* Rectificación de la Señal: La señal EMG, originalmente alternante (AC), se rectifica mediante:

Este paso convierte la señal en positiva, facilitando el análisis posterior de la envolvente muscular.

* Suavizado y Extracción de la Envolvente: Para obtener una representación más clara y continua de la actividad muscular, se aplica un filtro digital de media móvil o un filtro paso-bajo con ventana de suavizado de aproximadamente 0.5 segundos:

Este proceso estabiliza la señal y permite un análisis más preciso y menos susceptible al ruido residual.

### 6.5. Extracción de Características Específicas

La señal suavizada pasa por la extracción de características fundamentales para análisis cuantitativo y control protésico. Las características típicas incluyen:

* RMS (Root Mean Square):
* Valor Medio Absoluto (MAV):

Estas características proporcionan parámetros sólidos para el reconocimiento y control preciso basado en EMG.

**6.6 Pruebas experimentales de adquisición de señales EMG en el hombro y antebrazo con BITalino.**

Con el objetivo de identificar las ubicaciones más eficaces para la adquisición de señales electromiográficas (EMG) aplicadas al control de una prótesis mioeléctrica, se ha desarrollado un protocolo experimental basado en la utilización del kit BITalino (r)evolution Plugged Kit BLE/BT. El enfoque adoptado se centra en una configuración distribuida de hasta nueve electrodos por prueba, empleando cuatro sensores BITalino simultáneamente. Esto permite evaluar la calidad y estabilidad de las señales recogidas en diferentes regiones musculares del miembro superior y el muñón, así como su pertinencia para su integración en algoritmos de control protésico.

**6.6.1 Configuración de pruebas y distribución de electrodos**

Se diseñaron pruebas experimentales enfocadas en dos zonas clave del miembro superior: el hombro y el antebrazo. En cada una se colocaron 9 electrodos (4 sensores) para evaluar la calidad y estabilidad de las señales EMG en diferentes regiones musculares implicadas en el control de una prótesis mioeléctrica.

* Prueba 1: Zona del hombro

Objetivo: Registrar actividad del deltoides y estabilizadores en movimientos articulares.

* Sensor 1 (3 electrodos): Deltoides anterior/posterior, tierra en clavícula.
* Sensor 2 (2 electrodos): Deltoides medio.
* Sensor 3 (2 electrodos): Trapecio superior.
* Sensor 4 (2 electrodos): Pectoral mayor.

Movimientos: Apertura/cierre de la mano, rotación de muñeca, posiciones y dedos.

Diagrama

El contenido generado por IA puede ser incorrecto. Un dibujo de un perro

El contenido generado por IA puede ser incorrecto.

Ilustración 6 – Ejemplo visual de colocación de los electrodos en la zona del hombro

* Prueba 2: Zona del antebrazo

Objetivo: Captar señales durante flexión/extensión de muñeca y dedos.

* Sensor 1 (3 electrodos): Flexores superficiales de los dedos, tierra sobre superficie ósea.
* Sensor 2 (2 electrodos): Extensores comunes de los dedos.
* Sensor 3 (2 electrodos): Pronador redondo.
* Sensor 4 (2 electrodos): Supinador largo.

Movimientos: Apertura/cierre de la mano, rotación de muñeca, posiciones y dedos.

Imagen que contiene guantes, ropa, nieve, grupo

Descripción generada automáticamenteUn dibujo de una persona

El contenido generado por IA puede ser incorrecto.

**6.7 Configuración detallada de OpenSignals para la adquisición EMG**

OpenSignals es el software oficial desarrollado por PLUX para la adquisición, visualización y exportación de datos capturados con los dispositivos BITalino. Su interfaz intuitiva y altamente configurable permite adaptar cada sesión experimental a las necesidades técnicas del estudio, garantizando calidad de señal, trazabilidad y compatibilidad con análisis posteriores.

**6.7.1 Parámetros clave de configuración**

* Tasa de muestreo seleccionada: La señal EMG contiene frecuencias de hasta 500 Hz. Según el teorema de Nyquist, para evitar aliasing y pérdida de información, es necesario muestrear al menos al doble de esa frecuencia. 1000 Hz permite capturar de forma precisa los detalles temporales y espectrales de la señal.
* Filtro digital aplicado: Elimina componentes de baja frecuencia (movimiento, respiración) y ruido de alta frecuencia (EMI).
* Visualización en tiempo real con envolvente: Permite observar la activación muscular con mayor claridad y detectar patrones en tiempo real.
* Grabación en formato .CSV: Pemite exportar los datos para análisis posteriores en MATLAB o Python.
* Conversión activada: Activar la opción "Converted Values" permite visualizar y exportar los datos directamente en milivoltios, aplicando internamente la función de transferencia del sensor EMG.
* Trigger (disparo por evento): Permite marcar el inicio de un ejercicio o una contracción muscular, sincronizando la señal con el instante deseado.

Interfaz de usuario gráfica, Aplicación

El contenido generado por IA puede ser incorrecto.

Ilustración 9 - Vista general del panel de conexión al kit BITalino y Pantalla de configuración del dispositivo en OpenSignals, donde se muestra la tasa de muestreo configurada a 1000 Hz, la activación de cuatro canales EMG (A1–A4), un canal de acelerómetro (A5) y EDA (A6). Se observa también la activación de los canales digitales y la función de trigger para registrar eventos (Agradecimientos a pluxbiosignals.com)

**Interfaz de usuario gráfica, Texto

El contenido generado por IA puede ser incorrecto.**

Ilustración 10 - Panel de configuración de guardado de datos donde se selecciona el formato de archivo (.txt, .h5, .edf), el prefijo del archivo, y la opción “Converted Values”, que permite exportar los datos con unidades físicas aplicando la función de transferencia (Agradecimientos a pluxbiosignals.com))

**6.7.3 Integración con sensores complementarios**

* Alta fidelidad de señal: con 1000 Hz se garantiza la captura de todo el contenido útil sin distorsión.
* Flexibilidad experimental: parámetros fácilmente adaptables según el tipo de sensor o el objetivo del experimento.
* Compatibilidad: OpenSignals exporta formatos estándar, permitiendo trabajar sin restricciones en entornos de análisis personalizados.
* Consumo de recursos: altas tasas de muestreo generan más datos, por lo que es importante planificar el almacenamiento y procesamiento previo.
* Sinergia con módulos adicionales: Durante la adquisición con OpenSignals, se utilizaron también módulos complementarios del sistema
* Combinaciones recomendadas:
* EMG + ACC: Reconocimiento de gestos + eliminación de interferencias por movimiento.
* EMG + EDA: Correlación entre fatiga muscular y respuesta electrodérmica.
* EMG + BTN : Segmentación precisa mediante pulsación sincronizada.

**6.7.4 Ventana EMG Muscle Activations y ajustes recomendados**

La ventana "EMG Muscle Activations" de OpenSignals permite detectar eventos musculares clave y personalizar filtros, unidades y parámetros de suavizado para facilitar el análisis. A continuación, se describen sus secciones principales y recomendaciones de configuración adaptadas al uso del kit BITalino en prótesis controladas por EMG:

* **Asignación de disparador digital (ASSIGN DIGITAL TRIGGER)**
* Permite asignar un canal digital como referencia para marcar eventos (por ejemplo, un botón físico).
* Si no se utilizan entradas digitales, puede ignorarse.
* **Detección** de activaciones (FIND ALL MUSCLE ACTIVATIONS)
* Detecta eventos basados en cambios digitales o temporales.
* Recomendación para BITalino:
* Opción: FROM DIGITAL ON TO 0.3 SEC
* Justificación: ajusta una ventana de detección para activar servos tras una contracción mantenida.

**Opciones avanzadas de procesamiento (ADVANCED OPTIONS)**

* Unidad: **mV** (milivoltios), ideal para precisión con señales crudas.
* Filtros recomendados:
* Bandpass: 20–500 Hz, orden 4 → ideal para capturar contenido útil EMG.
* Highpass y Lowpass opcionales según ruido presente.

**Opciones de detección de activación (ACTIVATION DETECTION OPTIONS)**

* Signal Smooth Window(0.5s): Suaviza sin perder respuesta rápida.
* Process on Another Channel: Desactivado, a menos que se use referencia cruzada.

**Resultados de activación muscular (MUSCLE ACTIVATION RESULTS)**

* Se muestra la contracción máxima (MVC) por canal:
* Si los valores son muy bajos (< 0.05 mV), ajustar filtros y trigger.

Interfaz de usuario gráfica, Texto, Aplicación

El contenido generado por IA puede ser incorrecto.Interfaz de usuario gráfica

El contenido generado por IA puede ser incorrecto.

Ilustración 8 – (a) CoSe muestra la interfaz para detección de activaciones musculares en OpenSignals, incluyendo la asignación del trigger digital, el modo de detección por umbral temporal, y la selección de filtros. Se destacan la unidad en milivoltios, el filtro pasa banda recomendado (20–500 Hz) y la ventana de suavizado ajustada a 0.5 s.nfiguración avanzada de filtros y activación en la ventana EMG Muscle Activations. (b) Pantalla de resultados generados por la herramienta de activación muscular en OpenSignals. Muestra el uso de la opción “Process”, los ajustes de ventana de suavizado y canal, y los valores de máxima contracción para los canales A1 a A4 (Agradecimientos a pluxbiosignals.com)

**Configuración óptima recomendada para tu sistema:**

* Unidad: mV
* Filtro: Bandpass 500–1000 Hz, orden 4
* Ventana de suavizado: 0.5 s
* Trigger de activación: OFF o 0.3s

Tabla

El contenido generado por IA puede ser incorrecto.

Ilustración 7 - Opciones de filtros para ayudar a mejorar la calidad de la señal EMG