



PROYECTOS DE INNOVACIÓN

Modalidad Proyectos de Continuación de Innovación

Este trabajo fue seleccionado en la Convocatoria de Proyectos de Investigación e Innovación en Prevención de Accidentes y Enfermedades Profesionales (2019) de la Superintendencia de Seguridad Social (Chile) y fue financiado por la Asociación Chilena de Seguridad, con recursos del Seguro Social de la Ley N°16.744 de Accidentes del Trabajo y Enfermedades Profesionales.

Informe Final

“Uso de electrodos de superficie como herramienta complementaria en Estudios de Puestos de Trabajo (EPT) en Chile, para la medición cuantitativa de fatiga muscular como factor de riesgo en la calificación de patologías músculo-esqueléticas de extremidades superiores”
ACHS 243-2019

Entidad ejecutora: Instituto de Neurociencia Biomédica
Innovador: Joaquín Herrero Silva
Fecha de entrega: Febrero de 2021

Santiago
Chile

ANTECEDENTES DEL INNOVADOR

Nombre		Sexo		RUT
Joaquín Herrero Silva		M		17224779-2
Dirección		Comuna		Región
Dieciocho 620		Santiago		Metropolitana
Teléfono Fijo	Teléfono Móvil	Correo Electrónico		
	(+56 9) 74639438	jherrerossilva@gmail.com		
Ocupación principal actual				
Profesor e investigador de la Facultad de Medicina de la Universidad Finis Terrae				
Institución u Organización donde realiza ocupación principal actual				
Pontificia Universidad Católica de Chile Universidad Finis Terrae				

Formación profesional y académica

Título Profesional	Kinesiólogo		
Institución	Universidad Finis Terrae	Año	2012
Grado Académico	Magíster en Neurociencias		
Institución	Universidad de Chile	Año	2017

Experiencia relevante para el proyecto

Experiencia profesional relevante para el proyecto (últimos 5 años) (máximo 10 líneas)
<p>Investigador principal en proyecto “Caracterización de dos subpruebas de Action Research Arm Test a través de variables acelerométricas en adultos sanos” Universidad Finis Terrae – Clínica Alemana. 2018-2019.</p> <p>Investigador principal en proyecto “Evaluación de cambios posturales, medidos con acelerometría, en personas mayores asociados a contextos de baja autoconfianza” Universidad Finis Terrae. 2018.</p> <p>Investigador principal en proyecto “Modificaciones de la ponderación sensorial generadas por diferentes tipos de lentes ópticos” Departamento de Tecnología Médica, Universidad de Chile. Escuela de Kinesiología, Universidad Finis Terrae. 2019.</p>
Experiencia académica relevante para el proyecto (últimos 5 años) (máximo 10 líneas)
<p>2015 a la fecha. Académico. Facultad de Medicina. Universidad Finis Terrae.</p> <p>2019 a la fecha. Candidato a Doctor en Neurociencias. Pontificia Universidad Católica.</p>

EQUIPO DE TRABAJO

Nombre	Título	Especialización	Institución
Joaquín Herrero	Kinesiólogo Innovador	Magister en Neurociencias Especialista en procesamiento de señales electrofisiológicas.	U. Finis Terrae
Marcela Aguirre	Kinesiólogo Co-Innovador	Mg en Informática Médica Especialista en análisis estadístico de datos clínicos	U. de Chile
Alejandro Lavado	Ingeniero Civil en Computación Desarrollador	Mg en Ciencias, mención computación Especialista en desarrollo de herramientas de informática médica	U. de Chile
Hachi Manzur	Médico Neurólogo	Doctor en Ciencias Biomédicas	U. de Chile

RESUMEN

El presente informe corresponde al informe final del proyecto “*Uso de electrodos de superficie como herramienta complementaria en Estudios de Puestos de Trabajo (EPT) en Chile, para la medición cuantitativa de fatiga muscular como factor de riesgo en la calificación de patologías músculo-esqueléticas de extremidades superiores. ACHS-243-2019*”, adjudicado por el Instituto de Neurociencia Biomédica a través del innovador Joaquín Herrero en la convocatoria de proyectos de innovación SUSESO 2019.

El objetivo general inicial de este proyecto de innovación presentado por el Instituto de Neurociencia Biomédica es explorar y evaluar la inclusión de hardware y software necesario para la medición cuantitativa de fatiga muscular como apoyo para la evaluación y calificación de enfermedades laborales músculo-esqueléticas.

Los objetivos específicos del proyecto fueron los siguientes:

- Desarrollo de soluciones necesarias de hardware para incluir el EMG en los registros inerciales ya desarrollados.
- Desarrollo de métricas que reflejen la fuerza requerida para realizar un movimiento que tengan valor clínico.
- Desarrollo de un manual para la utilización de los equipos.
- Implementación del desarrollo en electromiografía en la plataforma desarrollada en proyectos anteriores para EPT.

Como resultado del proyecto, se cumplieron los objetivos planteados en acuerdo con la contraparte ACHS, realizando todos los objetivos específicos. Actualmente se cuenta con una plataforma web para el registro y visualización apropiada para uso en entornos clínicos, incluyendo medición de variables cinemática y actividad muscular de movimiento de extremidad superior, orientado a entregar información para los estudios de puesto de trabajo y el proceso de calificación de enfermedades profesionales.

A continuación, presentaremos en detalle las actividades realizadas y los resultados obtenidos.

ÍNDICE

1.- INTRODUCCIÓN	8
1.1.- Antecedentes	8
1.2.- Etapas previas del proyecto	8
1.3.- Definición del problema	10
2.- OBJETIVOS	11
3.- METODOLOGÍA	12
3.1.- Desarrollo de plataforma	12
3.2.- Pilotaje	12
3.3.- Actividades planificadas	14
4.- RESULTADOS	16
4.1.- Desarrollo de plataforma	16
4.2.- Resultados de Pilotaje	20
5.- DISCUSIÓN	25
5.1.- Aportes del proyecto	25
5.2.- Nivel de logros de objetivos	25
5.3.- Resultados frente a antecedentes	25
6.- CONCLUSIÓN	26
7.- REFERENCIAS	27
8.- ANEXOS	28

1.- INTRODUCCIÓN

1.1.- Antecedentes

El Compendio de Normas del Seguro Social de Accidentes del Trabajo 2018, establece el protocolo de patologías músculo esqueléticas superiores (MEES), junto a los formatos específicos para los Estudios de Puesto de Trabajo (EPT). Esta norma define los EPT de la siguiente manera: *“consiste en el análisis detallado, mediante la observación en terreno, de las características y condiciones ambientales en que un trabajador en particular se desempeña y de las actividades, tareas u operaciones que realiza. Este instrumento tiene por objetivo identificar la presencia de factores de riesgo específicos condicionantes de la patología en estudio. En conjunto con otros elementos de juicio, el EPT permitirá al Comité de Calificación o al Médico del Trabajo, según corresponda, establecer o descartar la existencia de una relación de causalidad directa entre la patología y la actividad laboral del trabajador evaluado”*.

En la práctica, los EPT se realizan a través de la observación de un profesional terapeuta ocupacional, kinesiólogo u otro con formación en ergonomía y tiene una duración aproximada de 1 hora en todo el proceso; en ellos se desarrolla una entrevista y se registran movimientos (en contexto real o simulado) asociados a una microlabor y tareas que desempeña el trabajador, determina el ciclo de trabajo, registrando videos de 2-3 minutos de cada labor. Actualmente, estos estudios no incorporan medidas cuantitativas que apoyen al juicio profesional mediante observación, más allá de las que logre analizando el video posteriormente. Un aspecto a considerar, es que las personas no se comportan de forma habitual al ser observadas por un tercero; y adicionalmente, el hecho que en la práctica al profesional no le es posible realizar una observación lo suficientemente extensa para verificar la presencia del factor de riesgo de repetición de movimiento, postura mantenida o forzada de forma adecuada en trabajos donde este factor no es obvio (distintos a líneas de producción continuas o trabajos de 100% dedicación a digitación en computador, por ejemplo).

En el formato de EPT utilizado por los profesionales, debe informarse una serie de factores de riesgo, incluyendo factores posturales mantenidos y forzados, frecuencias de gestos motores (repetitividad), según el segmento en estudio. Además, también se informa el esfuerzo que considera en algún gesto motor, microlabor o tarea en estudio, a través de la escala de Borg, la cual tiene limitaciones debido a la subjetividad de esta. También se registra el tiempo de exposición efectivo a los factores de riesgo determinados por la norma. Dado que la EPT es observacional y se realiza por alrededor de una hora, no se cuentan con mediciones cuantitativas de dichos movimientos, ni tampoco el tiempo de exposición real en el contexto de una jornada de trabajo. El mismo formato de EPT, contiene una nota a modo de observación que dice “considerar que el tiempo de exposición efectivo corresponde al tiempo de realización de la tarea descontando todos los tiempo de pausas”; así, el tiempo de exposición es una estimación en base al EPT ya que no existe una medición cuantitativa durante una jornada laboral completa.

1.2.- Etapas previas del proyecto

Este proyecto de continuidad es derivado de los proyectos “Sistema portátil de retroalimentación y monitoreo telemétrico de actividad muscular vía smartphone”, código ACHS-199-2016”, “Uso de sensores inerciales como herramienta complementaria en Estudios de Puestos de Trabajo (EPT) en Chile, para la medición cuantitativa de movimiento repetitivo como factor de riesgo en la calificación de patologías músculo-esqueléticas de extremidades superiores” código ACHS 210-2017, y el proyecto “Optimización de plataforma de reconocimiento de factores de riesgo en la calificación de patologías músculo-esqueléticas de extremidades superiores en Estudios de puesto de Trabajo (EPT) vía Machine Learning” código 214-2018; desarrollados por el Instituto de Neurociencia Biomédica.

Las etapas ya implementadas son las siguientes (Figura 1):

1. Revisión de dispositivos sensores inerciales de bajo costo existentes en el mercado.
2. Revisión de diferentes métodos y procedimientos para la evaluación de factores de riesgo asociados al trabajo con movimientos repetitivos de la extremidad superior.
3. Evaluación de dispositivos sensores inerciales para detección de movimientos repetitivos de articulaciones de muñeca, codo y hombro en condiciones controladas.
4. Estudio de disminución del número de sensores para detección de movimientos repetitivos de articulaciones de muñeca, codo y hombro en condiciones controladas.
5. Desarrollo de software de reconocimiento de patrones de movimiento repetitivo.
6. Desarrollo de plataforma web para visualización de los EPTs por paciente.
7. Desarrollo de nuevas funcionalidades en la plataforma web.
8. Desarrollo de modelo predictivo de veredicto del comité de evaluación.

En el presente proyecto se busca incorporar la funcionalidad de registro y análisis de actividad muscular de grupos musculares de la extremidad superior, con el fin de entregar información objetiva que se aproxime al esfuerzo muscular que realiza una persona en ciertos gestos motores, analizados en microlabores y/o tareas que se analizan en EPT.

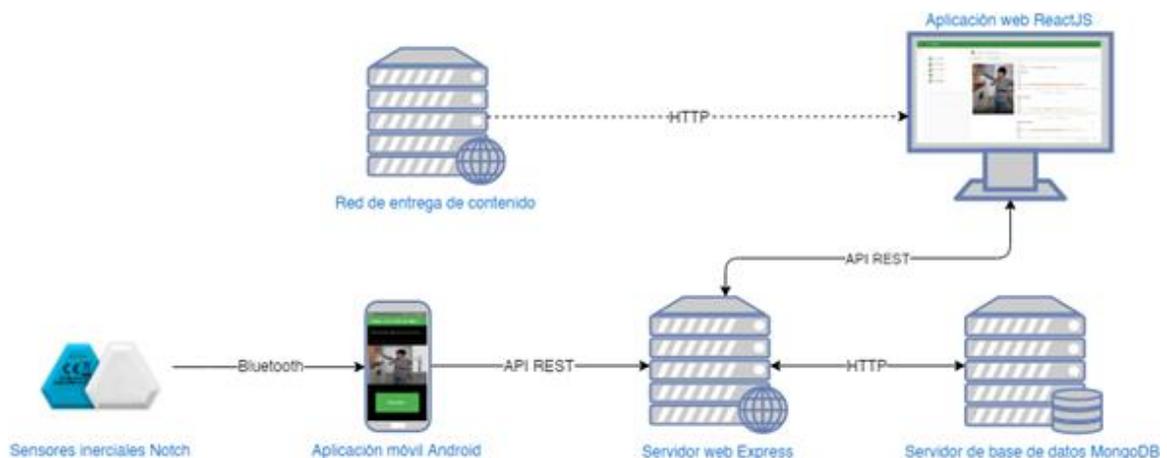


Figura 1: Estado de aplicación de tecnología derivado de proyectos previos.

1.3.- Definición del problema

Del total de denuncias por enfermedad laboral, el 45% corresponden a diagnóstico musculoesquelético [1]. De las denuncias calificadas como enfermedad profesional con incapacidad temporal o permanente, la segunda más recurrente es de origen musculoesquelético; la epicondilitis lateral [1]. De tal manera que las enfermedades de origen musculoesqueléticas representan un alto número de las denuncias y son la segunda mayor causa de prestaciones para incapacidades temporales o permanentes. Una evaluación relevante para determinar si la denuncia corresponde a una enfermedad laboral es el EPT.

Escala de Borg y medición de esfuerzo

Actualmente el indicador más cercano a la fuerza muscular utilizado en el EPT es la escala de Borg. En esta escala se le pregunta a la persona que tanto esfuerzo requiere para hacer una tarea del 0 al 10, siendo 10 el esfuerzo máximo posible. Esta escala fue originalmente propuesta como una medición Gestáltica (percepción global o unificada) del esfuerzo requerido para una acción, incluyendo aspectos psicológicos y físicos [2]–[4]. Pese a la popularidad de la escala de Borg, presenta fuertes limitaciones. En particular es criticada por reducir la complejidad del esfuerzo en una escala unidimensional, en contraste con propuestas más contemporáneas que sugieren expandir la estimación a tres dimensiones [5], que tomen en cuenta diversos aspectos psicológicos. Al mismo tiempo, se reconoce su limitación para registrar los efectos físicos y ser incapaz de diferenciar entre la dimensión física y psicológica del esfuerzo [5,6].

Esta no es la única limitación. En general las escalas Likert (como la Borg), han sido sistemáticamente criticadas por diferentes temas técnicos estadísticos [7]–[9]. En términos generales, las escalas Likert tienden a generar puntuaciones centralizadas, dado que las personas tienden a creer que los extremos responden a condiciones realmente críticas y extremas, o bien puntajes polarizados debido a que tienden a asumir que los puntajes centrales no son informativos de su sentir [8]. Por este motivo, se evita el uso de escalas Likert de una dimensión, siendo mucho más frecuente la utilización de cuestionarios con múltiples preguntas sometidos a validación bajo criterios de consistencia dimensional, interna, y validez externa, contrastando con otras medidas validadas (para ejemplos ver: [10]–[12]). Por último, la recomendación general para escalas Likert, además de utilizar el promedio de múltiples preguntas apuntando al mismo constructo o objeto de medición, es la utilización de puntajes entre 4 y 7 puntos [8], [13]. La utilización de escalas más extendidas, como la escala de Borg, exacerba problemas de polarización. Por último, se sabe que las escalas psicológicas, no son linealmente correlativas. Es decir, cuando una persona reporta 4 en escala de Borg, no será el doble de esfuerzo que un puntaje Borg 2. La evidencia científica, sugiere de hecho que este mapeo sería exponencial [14-16].

Pese a las limitaciones de la escala de Borg, esta sigue siendo una medición subjetiva valiosa de la percepción gestáltica del esfuerzo del paciente. Sin embargo, para efectos de determinar el esfuerzo físico, y su posible efecto sobre una enfermedad laboral, su uso es incierto. En este sentido, complementar la percepción subjetiva de esfuerzo junto con mediciones

objetivas de esfuerzo físico enriquece fuertemente la información necesaria para tomar la decisión de si la enfermedad músculo-esquelética es o no de origen laboral.

Para objetivizar la medida de fuerza se propone complementar la tecnología desarrollada en proyectos anteriores (sensores inerciales) con el uso de electromiografía. El objetivo es evaluar el uso de electrodos de superficie para la medición de fatiga muscular como herramienta complementaria en EPT. De esta manera, complementaremos la plataforma web que ya desarrollamos con la información de fuerza realizada por medio de electromiografía. Esta información sería presentada junto con la información de los sensores inerciales en la plataforma web ya desarrollada, entregando así mejores herramientas cuantitativas que complementan los EPT, significa avances en la objetivización de este estudio, con la consecuente generación de confianzas entre todos los participantes del sistema: SUSESO, mutualidades, empresas y trabajadores.

2.- OBJETIVOS

El objetivo del presente proyecto es evaluar el uso de electrodos de superficie para parametrizar la contracción muscular como herramienta complementaria a la escala de Borg en EPT para la medición de fuerza y fatiga muscular.

Los objetivos específicos fueron los siguientes:

- Desarrollo de soluciones necesarias de hardware para incluir el EMG en los registros inerciales ya desarrollados.
- Desarrollo de métricas que reflejen la fuerza requerida para realizar un movimiento que tengan valor clínico.
- Desarrollo de un manual para la utilización de los equipos.
- Implementación del desarrollo en electromiografía en la plataforma desarrollada en proyectos anteriores para EPT.

3.- METODOLOGÍA

Para el desarrollo de este proyecto se desarrollaron dos líneas de trabajo. Se describe el desarrollo del hardware y software necesario para parametrizar la actividad muscular y el desarrollo del pilotaje realizado para definir indicadores de esfuerzo muscular.

3.1.- Desarrollo de la Plataforma

En primera instancia se revisó la plataforma disponible, considerando sus características y flexibilidad para la integración de sensores y hardware capaz de registrar, procesar y almacenar señales electromiográficas. Se analizó el tipo de sensores inerciales utilizados, sus ventajas y desventajas, considerando las pruebas realizadas en la etapa de finalización del proyecto SUSESO 214-2018.

Posterior a la evaluación, se realizó el rediseño y desarrollo de hardware y software, con el fin de mejorar el desarrollo anterior e implementar la adquisición simultánea de señales de sensores inerciales y sensores de electromiografía.

Durante el proceso de desarrollo se realizaron pruebas intermedias entre el equipo, finalizando en el pilotaje de la tecnología, descrito a continuación, donde se detectaron mejoras a realizar a la plataforma, con el fin de cumplir su objetivo. El Anexo 2 entrega el instructivo de instalación del equipo.

3.2.- Pilotaje

Sujetos

Se reclutaron 7 sujetos adultos entre 23 y 50 años. 4 registros fueron realizados en la Universidad Finis Terrae y el resto en el domicilio del sujeto. Todos los sujetos firmaron el consentimiento informado aprobado por el Comité de Ética de la Universidad de Chile (Anexo 1).

Tarea

Para evaluar el esfuerzo muscular en relación a posibles actividades laborales peligrosas. Se realizó un pilotaje dado por una actividad cíclica potencialmente riesgosa dada la carga externa impuesta y la cinemática de ejecución de la misma. Así, se realizó una tarea que consistía en la elevación de la mano, antebrazo, brazo por sobre el nivel de la cabeza tomando una mancuerna que los sujetos consideraban basalmente elevada como carga.

En total, una vez conectado el equipamiento descrito previamente, la tarea completa duraba aproximadamente 2 minutos. La figura 2 explica el paso a paso de cada momento de medición:

- 1) Instalación: Este proceso consiste en la instalación de la Raspberry Pi, posicionamiento de los sensores electromiográficos e inerciales y calibración de estos últimos. Para este

proceso debe activarse la página web y es relevante que tanto la Raspberry Pi como el computador portátil o celular de registro tengan internet. Para mayor información leer el manual de instalación en el Anexo 2. Este proceso tarda aproximadamente 10 a 15 minutos. Se recomienda 2 personas para su instalación, sin embargo, una persona es suficiente.

- 2) Grabación: Una vez instalado, la página web posee un botón propio de grabación. Al apretarse, se inicia el registro.
- 3) Contracción voluntaria máxima: Posterior a 10 segundos iniciada la grabación se realiza una contracción voluntaria máxima (CVM) de bíceps contra resistencia manual (flexión de codo 90°) durante 5 segundos. Se descansa por 20 segundos y se realiza una CVM de tríceps contra resistencia manual (Abducción de hombro 90° y codo flexión 90°) durante 5 segundos. Posterior a esto, existe una ventana de descanso de 40 segundos. En la mitad de este descanso, el sujeto debe levantarse de la silla para realizar la tarea (posición bípeda). Una vez que se cumplan los 40 segundos, el investigador posiciona la mancuerna en la mano derecha del sujeto para comenzar las repeticiones.
- 4) Tarea: Como se mencionó previamente, la tarea consiste en repeticiones cíclicas de elevación de hombro para tocar con la mancuerna a una sobre y delante de la cabeza del sujeto. Esta actividad fue repetida la mayor cantidad de veces hasta la fatiga en un tiempo máximo de 30 segundos.
- 5) Envío: Posterior a los 30 segundos de tarea o posterior a la fatiga del sujeto, se presiona el mismo botón de grabación que ahora se llama “envío”. Con este botón, se transmite la información desde la Raspberry Pi hacia el servidor Web. Este proceso es dependiente de la calidad del internet y puede variar entre 30 segundos a 10 minutos.

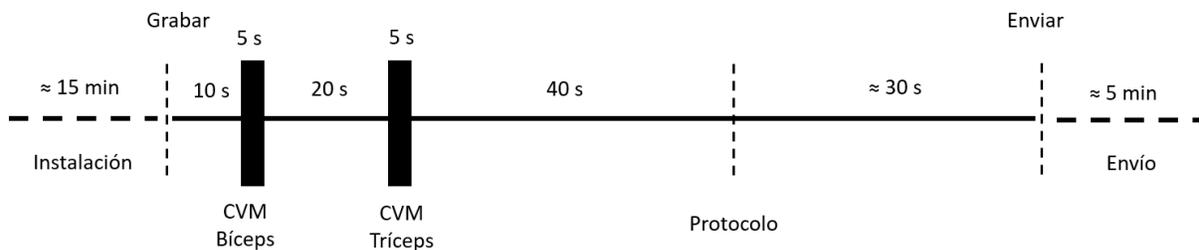


Figura 2: Protocolo de pilotaje.

Procesamiento IMU

La señal extraída desde la página web está codificada directamente en grados articulares de cada plano de movimiento. Además, se obtiene directamente codificada por cada articulación. La repetitividad del movimiento fue obtenida mediante la repetición de cambios articulares

menores a un segundo y que estuvieran en la segunda mitad de la señal (figura 2 y 7). Con esto se determinó la ventana de análisis para EMG.

Procesamiento EMG

La señal fue extraída directamente desde la página web disponible en formato .csv, la cual se encuentra disponible de forma cruda. El procesamiento fue realizado en MATLAB. En primer lugar se realizó un alineamiento de la señal al cero como referencia. Luego se aplicó un filtro digital de orden 5 pasa alto de 20 Hz y pasa bajo de 450 Hz, para posteriormente ser rectificadas y suavizadas (filtro Savitzky-Golay). Las ventanas de análisis fueron seleccionadas de manera automatizada con un umbral de detección de un 70% del peak máximo de contracción para la contracción voluntaria máxima y de un 50% del peak de actividad máxima para la tarea. El ancho de la ventana de la tarea fue segmentada en tres partes iguales, visualizando para la comparación una parte inicial, media y final. Solo la parte inicial y final se contemplaron para el análisis (Ver figura 8), con lo cual se obtuvo una ventana uniforme de 6 segundos. Se realizó un montaje bipolar en el músculo objetivo (biceps y triceps) sumado a una referencia ubicada a nivel del maléolo lateral y medial del tobillo.

3.3.- Actividades planificadas

La solución que se implementará es un producto (reconstrucción y mejoras de software para producción) y la exploración de indicadores de esfuerzo muscular, utilizando la tecnología desarrollada. A continuación, se detalla el cumplimiento de las actividades acordadas inicialmente:

Actividad 1. Gestión de ética.

La gestión de ética fue llevada a cabo, lo que implica que el presente proyecto está aprobado por el Comité de Ética en Seres Humanos de la Universidad de Chile (Anexo 1). A pesar de que el tiempo de aprobación fue mayor al esperado dada la contingencia nacional.

Actividad 2. Evaluación de hardware relacionado a electromiografía.

El hardware de electromiografía fue compatible con los sensores inerciales de este nuevo proyecto. Esto mejoró la comunicación en relación a los sensores utilizados en proyectos anteriores. Esta actividad involucró no sólo la evaluación general del hardware y levantamiento de requerimientos de software, sino la evaluación de aspectos como electrodos, métodos de transferencia, almacenamiento y procesamiento de información. Este equipo se logró generar a un bajo costo en relación a la competencia internacional. Al mismo tiempo, los hardwares son abiertos para poder enlazar el muestreo directamente a las plataformas y permitir incluir el desarrollo de algoritmos y software necesarios para este proyecto.

Actividad 3. Desarrollo de métricas de electromiografía.

Durante esta actividad se evaluó, mediante un piloto, los métodos de estandarización de métricas asociadas a electromiografía que fueron un reflejo de la fuerza requerida para una actividad. Esta

etapa incluyó la evaluación de diferentes aproximaciones de pre y post procesamiento de la señal que privilegien estimaciones de las métricas. Los datos de electromiografía fueron obtenidos de participantes voluntarios.

Actividad 4. Incorporación de electromiografía a la plataforma. 6 meses.

Con la Actividad 3 completada, las métricas necesarias fueron implementadas en la plataforma de EPT desarrollada en proyectos anteriores.

Actividad 5. Difusión de resultados del proyecto

En conjunto con el desarrollo de la tecnología se realizó difusión del proyecto ante diferentes entidades en la ACHS y ante la contraparte desde ACHS a modo de dar a conocer los resultados y promover la futura implementación de este desarrollo.

4.- RESULTADOS

4.1 Desarrollo de plataforma

Al realizar la evaluación del hardware y software desarrollado en los proyectos anteriores, se encontraron las siguientes limitantes. En primer lugar, los sensores WearNotch utilizados mostraron dificultades para el usuario al momento de calibrarlos para una correcta medición, además, al realizar mediciones que se extienden por más de 30 segundos, los sensores reportaban un error acumulado en la medición de la cinemática reconstruida. Por otro lado, en el sistema anterior, el dispositivo móvil que recibe las señales de los sensores inerciales no tenía la capacidad para procesar la adquisición y transmisión simultánea de señales de electromiografía con más de 1 canal. Esta limitante fue clave ya que, como requerimiento del proyecto, la contraparte solicitó la medición de 2 o más grupos musculares.

A continuación, se describen los componentes de hardware que se desarrollaron o adaptaron para el proyecto.

a. Sensores Inerciales

Considerando las características requeridas para compatibilizar la captura simultánea de señales de EMGs y cinemática durante un gesto o tarea realizada durante un Estudio de Puesto de Trabajo (EPT), el equipo tomó la decisión de utilizar los dispositivos MetaMotionR (MMR) de MblentLab (<https://mbientlab.com/>). Los dispositivos MMR tienen dimensiones de 27mm x 27mm x 4mm, son ultra livianos (5.6 gr), funcionan con batería recargable con micro USB de duración de 24 horas de transmisión en *streaming* y 6 meses en modo *sleep*. MMR transmite datos por medio de protocolo Bluetooth de baja energía. La figura 3 representa la imagen ampliada de un MMR.

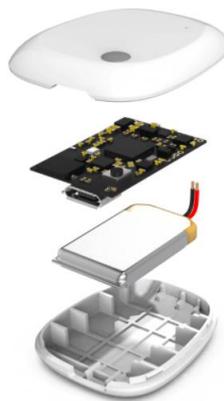


Figura 3: Sensor inercial (IMU).

Los sensores MMR permiten capturar señales de: giroscopio, acelerómetro, magnetómetro, presión barométrica, temperatura ambiental y luz ambiental. Las señales de acelerometría de un conjunto de sensores posicionados en la extremidad superior permite modelar los segmentos y obtener el ángulo instantáneo de las articulaciones (hombro, codo, muñeca) en los planos de movimiento según corresponda. Por todas sus características, los sensores MMR permiten una conexión estable con el sistema de captura, promoviendo la facilidad de uso y robustez del sistema para su uso en contexto de trabajo de campo del EPT. Además, cuenta con una API (Application Programming Interface) de código abierto, compatible con múltiples lenguajes de desarrollo (Android, iOS, Windows and Linux). En el caso del desarrollo para el presente proyecto, los sensores se conectan vía bluetooth a un dispositivo Raspberry Pi 4b con sistema operativo Linux instalado. Se ha estimado un total de 4 sensores inerciales para el modelamiento cinemático angular. Estos serán ubicados en tronco (o cintura), región media del brazo, región distal del antebrazo y región dorsal de la mano. MMR además cuenta con diferentes formas de sujeción a la extremidad superior, variando desde bandas plásticas, con velcro, clip-ons o adhesivos dérmicos, siendo adaptables a diferentes contextos de EPT.

b. Electromiografía

Para la captura de señales de electromiografía, se desarrolló una modificación al sistema EMG One, que consiste en un electromiógrafo portátil con un amplificador instrumental AD8226, el cual es un amplificador diferencial con una topología de 3 op-amps, cuya ganancia se configura mediante un resistor externo. Para evitar diferencias en la impedancia en los electrodos que podría producir algún DC-offset se agregó un filtro RC pasa alto 1 Hz. Adicionalmente, un resistor de 1.6M entre cada entrada y la tierra permite drenar las “bias currents” que evitan el correcto funcionamiento del amplificador. Posterior a la etapa de amplificación el circuito consta de un filtro pasa bajo 500 Hz con topología Sallen-Key de 2 polos.

Para construir un amplificador con cuatro canales se diseñó un circuito con cuatro de los módulos descritos anteriormente. La salida de cada uno de ellos fue conectada al conversor análogo digital MCP3008, el cual posee 8 entradas análogas, y tiene una salida tipo conexión serial (serial parallel interface - SPI) la cual puede ser leída con un microcontrolador alimentado por baterías. Para leer los datos digitales del MCP3008 se utilizó una tarjeta arduino mega2560. Finalmente, se realizó el diseño del circuito como un módulo para ser conectado a una Raspberry Pi. En la figura 4 se observa la placa diseñada y desarrollada.

c. Raspberry Pi 4b

Raspberry Pi es un computador de placa única, de dimensiones 85.6 mm × 56.5 mm y sin elementos periféricos. El modelo 4b cuenta con un procesador quad core ARM Cortex-A72 de 1.5GHz, con 1, 2 o 4 Gb de RAM, WiFi, Bluetooth 5 y conexión por cable Ethernet. Cuenta además con 2 puertos USB 2.0 y 2 puertos USB 3.0, entre otras características (Figura 4).

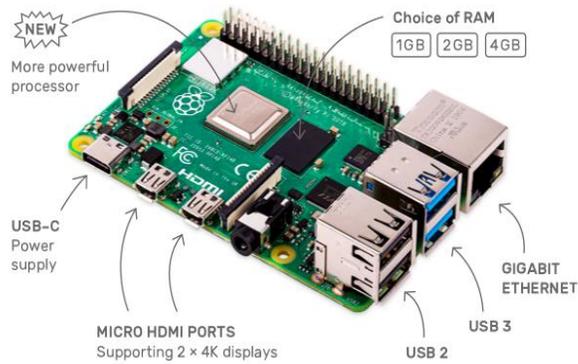


Figura 4: Visión interna de Raspberry Pi. Dispositivo de integración de EMG y sensores inerciales. Además de salida vía wifi hacia plataforma web.

En este proyecto, Raspberry Pi se utilizará como centro de captura y envío de señales, el cuál recibirá vía Bluetooth las señales de los sensores MMR y vía conexión serial (cable) las señales procesadas provenientes de la placa de diseño propio de EMG. A su vez, una vez que Raspberry Pi se conecte a alguna fuente de internet, los datos capturados en la sesión se transmitirán al servidor de proyecto, para ser visualizados en la plataforma de visualización de EPT. En la figura 5 se observa un esquema de los componentes del sistema desarrollado en el proyecto.

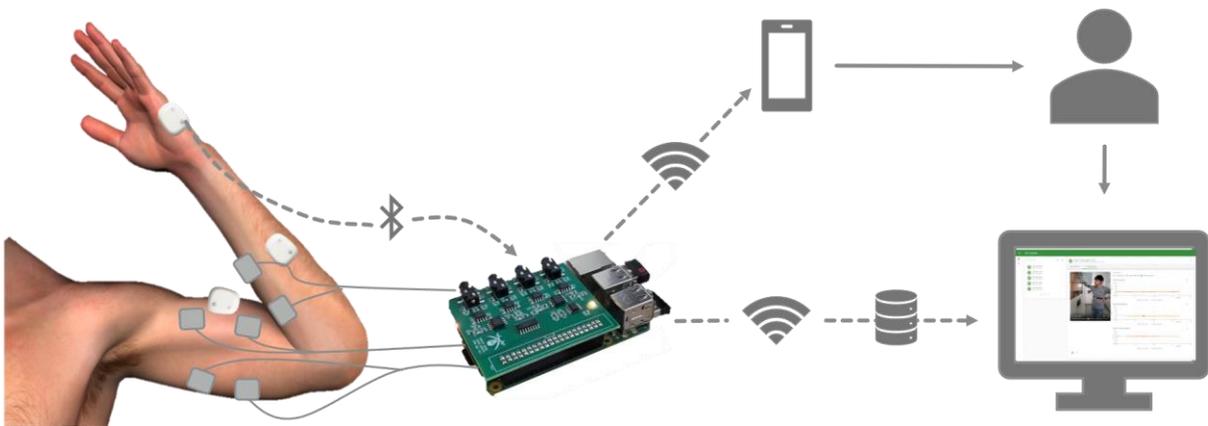


Figura 5: Esquema de componentes del sistema desarrollado en el proyecto.

En cuanto a la arquitectura del software del sistema, en la figura 6 se observa un diagrama que representa los componentes de este.

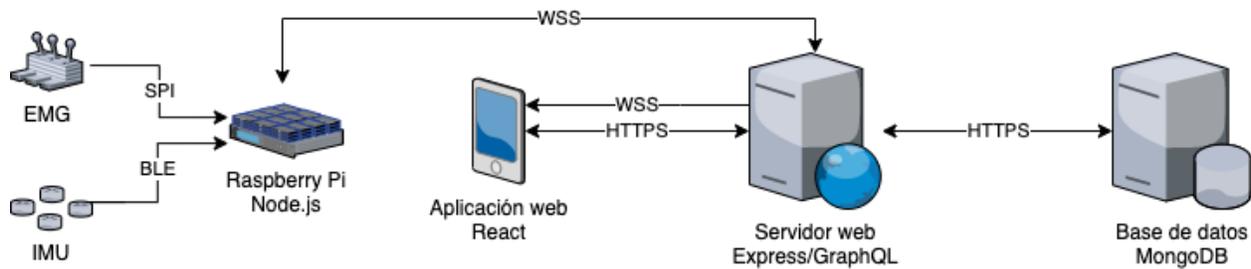


Figura 6: Arquitectura del software del sistema.

La plataforma de gestión y visualización de datos de EPT corresponde a una aplicación web, accesible a través de cualquier dispositivo con navegadores de uso común (Chrome, Safari, Firefox), la cual obtendrá datos del servidor común con los elementos periféricos del sistema (EMG, MMR y Raspberry Pi). Esta plataforma permite visualizar los estudios y sus tareas asociadas, navegar a través de los videos, mostrando los ángulos medidos y las posturas peligrosas detectadas para cada articulación, y registrar nuevos estudios. La plataforma web permite gestionar los trabajadores (ingresar nuevos trabajadores y crear múltiples registros para cada sujeto). Permite además visualizar los registros hechos para cada sujeto, observando el video de la medición, las señales de electromiografía y la reconstrucción de los rangos de movimiento de la extremidad superior. La plataforma también permite seleccionar ventanas de interés para realizar el análisis descrito a continuación, el cual se enfoca en determinar tiempo de exposición a factores de riesgo de movimiento forzado, movimiento sostenido y esfuerzo muscular.

La aplicación web fue programada en el lenguaje JavaScript, utilizando el framework ReactJS de Facebook, en conjunto a las librerías Recharts para los gráficos, React-Router para la navegación y Material.ui para implementar el lenguaje visual Material Design de Google. La aplicación es una SPA (Single Page Application). Esto quiere decir que la página completa jamás recarga, sino que solamente se recargan las secciones que varían según las acciones del usuario. Así, las interacciones entre el usuario y la aplicación son más fluidas, favoreciendo la usabilidad. Además, esto minimiza la cantidad de datos que se transmiten tras cada interacción.

La aplicación web está alojada en una red de entrega de contenido llamada Netlify. Este es un servicio que se encarga de enviar la aplicación web a los usuarios cuando ingresan a <https://achs-mediciones.netlify.app/>. Netlify permite establecer un flujo de trabajo de integración continua. Esto significa que cada vez que se realizan cambios y son agregados al repositorio Git correspondiente, Netlify detecta estos cambios y reconstruye la aplicación. La documentación y código necesario para instalar los componentes del sistema estarán disponible en un repositorio para su instalación en los servidores locales de la institución.

El servidor web recibe los datos enviados desde las aplicaciones web y móvil y los almacena en la base de datos, además de transmitirlos de vuelta cuando sea necesario. Es un servidor Debian, donde un proceso NodeJS se encarga de recibir las peticiones. Todo el código

del servidor fue programado en JavaScript, utilizando el framework Express. La comunicación entre las componentes del sistema se realiza a través de una capa GraphQL.

La detección de factores de riesgo se realiza en este servidor al momento de recibir datos desde la aplicación móvil, ejecutando una rutina ES6. Adicionalmente, los videos son almacenados en este servidor y, ante una petición a una ruta especial, servidos por partes. Esto fue requisito para poder visualizarlos sin problemas en la aplicación web.

Los datos son almacenados en un servidor externo, gracias al servicio especializado de almacenamiento distribuido mongoDB Atlas. De esta manera, la carga del servidor web se concentra en responder a las solicitudes a GraphQL. El motor de la base de datos es MongoDB, donde la información es almacenada de manera no relacional (NoSQL). Se escogió este motor para permitir mayor flexibilidad en la estructura de los documentos, considerando los requisitos del proyecto.

4.2 Resultados de Pilotaje

Se registraron 7 sujetos adultos sanos (5 Mujeres) entre 22 y 50 años (promedio 28 años). Dada la contingencia nacional, los registros fueron realizados en lugares distintos a las instalaciones del BNI: 4 registros fueron realizados en el gimnasio de Kinesiología de la Universidad Finis Terrae, mientras que los 3 registros restantes fueron realizados en el domicilio del sujeto. La Tabla 1 representa la caracterización etarea, de sexo, cargas y borg referidas por los sujetos.

La fuerza promedio inicial de los sujetos fue de un 73% de su contracción voluntaria máxima, alcanzando durante las últimas repeticiones un 80% de su contracción voluntaria máxima. Esto refleja la alta demanda de la tarea y la necesidad de ir aumentando la actividad muscular a medida que se progresa en las repeticiones. El Borg inicial de los sujetos fue cuantificado previo a la exposición a la carga externa. El Borg final fue cuantificado posterior a la última repetición realizada por cada sujeto.

Tabla 1: Caracterización etaria y de género en relación a variables impuestas durante la realización de la tarea.

Sujeto	Sexo	Edad	N° Repeticiones	Carga (Kg)	Borg Inicial	Borg final
1	M	23	18	10	1	8
2	F	22	15	8	1	8
3	F	22	12	7	1	8
4	F	22	16	7	1	8
5	M	28	20	10	1	7
6	F	50	16	6	1	8
7	F	31	16	6	1	8

Dado el protocolo de registro previamente descrito, es necesaria la elección de ventanas de interés para el análisis, descripción y comparación de métricas que reflejan esfuerzo muscular. Así, dada la repetitividad de la tarea, se seleccionó mediante el registro de los sensores inerciales la ventana total de interés (Figura 7), la cual tiene una relación temporal con la actividad electromiográfica.

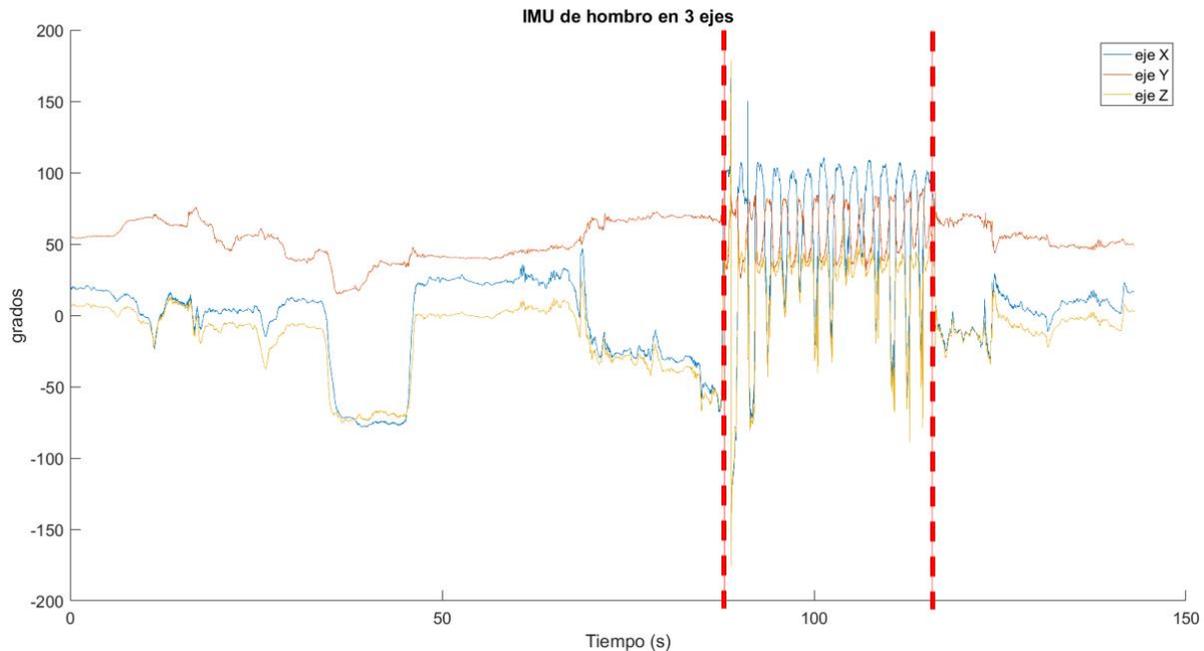


Figura 7: Ejemplo de la actividad cinemática, expresada en grados articulares, donde se encuentra todo el protocolo de registro. Las líneas rojas segmentadas reflejan la ejecución de la tarea.

En razón de poder comparar estados de menor y mayor esfuerzo muscular es que se escogieron momentos de contracción iniciales y finales dentro de toda la ventana de la tarea (Ver figura 8). Dado que el Borg final fue reportado como “muy intenso” (ver tabla 1) es que se homologó la parte final de la tarea como de alto esfuerzo, mientras que la parte inicial de la tarea como punto de comparación. Para evaluar el uso de electromiografía para la parametrización de la actividad muscular y su posible uso complementario con la escala de Borg, se determinaron 8 métricas en el dominio del tiempo y la frecuencia capaces de reflejar el esfuerzo y fatiga muscular (Tabla 1).

En el dominio del tiempo, el promedio, también denominado *Average rectified value*, muestra un aumento significativo al comprar inicio y final de la tarea. De la misma forma, la raíz cuadrada media (RMS, root mean square) de las mismas ventanas de tiempo muestran resultados significativos similares. Es así como ambas variables muestran una tendencia a diferenciar entre diferentes niveles de esfuerzo, logrando un aumento significativo si es esfuerzo de un Borg 8 con una carga sobre el 70% de la contracción voluntaria máxima (CVM). Ahora bien, los valores crudos en relación a mV parecen no entregar una real magnitud de las diferencias a la hora de la lectura clínica. Por este hecho, se realizó una normalización de la actividad electromiográfica en las ventanas de tiempo iniciales y finales en relación a la CVM del músculo bíceps (Figura 8). Como es de esperar, ya que es una conversión algebraica, se mantuvieron aumentos significativos en RMS y promedio normalizados en la etapa final de la tarea, sin embargo la información adicional es que tanto la etapa inicial como final de la tarea presentan promedios de CVM mayores al 70%, lo cual aumenta a medida que incrementan las repeticiones, llegando a más de un 80% de la CVM. Por último, un factor ergonómico relevante

es el tiempo que se mantiene una contracción por sobre el 30% de la CVM. Es así como se calculó el tiempo de exposición electromiográfico para cada ventana, el cual consiste en entregar un porcentaje de tiempo en el que se cumpla este factor en relación a la ventana escogida (6 segundos en este caso). De esta forma, el tiempo de exposición aumenta a medida que existe mayor fatiga y esfuerzo muscular, sin embargo esta tendencia no es significativa al comparar el inicio y el final de la tarea, alcanzando porcentajes de tiempo mayores al 50% de exposición.

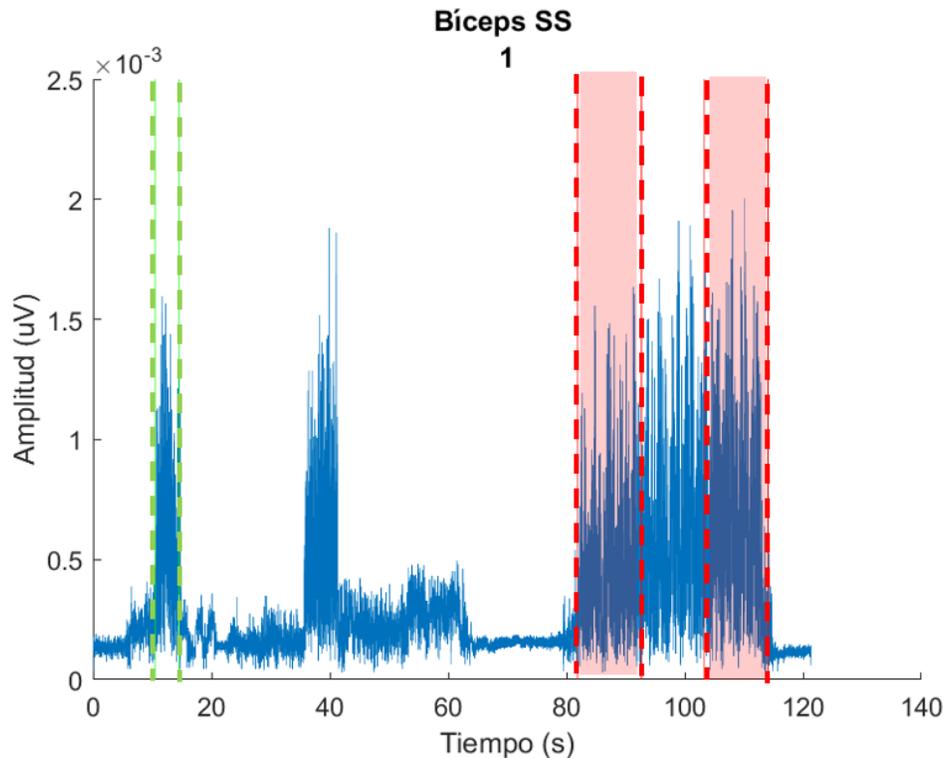


Figura 8: Ejemplo de actividad electromiográfica pre-procesada representativa de toda la duración del protocolo de registro. Entre las líneas segmentadas en verde se representa la ventana de análisis de la CVM de bíceps. Los segmentos marcados en rojo, son las ventanas comparativas como inicio y final de la tarea.

En el dominio de la frecuencia, los parámetros sugeridos más representativos de la fatiga y esfuerzo muscular son el promedio del poder del espectro de frecuencias (Promedio Frecuencia, Tabla 2) y la frecuencia media del poder espectral (mediana del poder, Tabla 2). Sin embargo, en nuestra muestra no encontramos diferencias significativas en estos parámetros. En relación al poder máximo del espectro de frecuencias, fue un indicador que aumentó al final de la tarea y que estadísticamente podría ser utilizado como parte de la parametrización en la denominación de esfuerzo y fatiga.

Tabla 2: Resultados generales de las métricas comparando ventanas de inicio y final de la actividad electromiográfica.

Métricas EMG	Inicio		Final		p-valor
	X	DE	X	DE	
Dominio del tiempo					
RMS (mV)	0.0069	0.0019	0.0077	0.0015	0.02*
Promedio (mV)	0.0061	0.0014	0.0068	0.0012	0.02*
RMS norm (%CVM)	77.9	14.3	86.8	15.9	0.02*
Promedio norm (%CVM)	74.8	14.4	82.5	15.9	0.03*
Tiempo de exposición (% ventana)	50.8	14.2	59.1	11.9	0.09
Dominio de frecuencia					
Poder Máximo	0.0048	0.0012	0.0051	0.0014	0.03*
Mediana del Poder	1*10e-7	1.1*10e-7	1.1*10e-7	1*10e-7	0.7
Promedio Frecuencia	90.9	16.1	88.8	14.3	0.5
Mediana Frecuencia	21	4.3	20.2	4.9	0.2

X: Promedio; DE: Desviación estándar; RMS: Root mean square; norm: normalizado
 * p-valor menor a 0.05

En resumen, fuimos capaces de obtener las métricas de electromiografía propuestas para la obtención de marcadores de esfuerzo y fatiga muscular. De manera inicial, la mayor parte de las métricas en el dominio del tiempo fueron capaces de asociarse a momentos de alta demanda de esfuerzo muscular, relacionándose a mayor actividad electromiográfica. Además, el poder espectral podría apoyar la idea de una mayor actividad muscular en un estadio de mayor esfuerzo

muscular. Esto se suma, a la entrega de métricas de fácil lectura para clínicos como son los parámetros normalizados y los tiempos de exposición, los cuales representan un buen estimado gráfico del esfuerzo muscular aumentado relacionado a un alto valor de la escala Borg.

5.- DISCUSIÓN

5.1.- Aportes del proyecto

El presente proyecto entrega un prototipo que resuelve la adquisición simultánea de señales de sensores inerciales para la reconstrucción cinemática de la extremidad superior y señales de electromiografía para objetivar el esfuerzo muscular de los movimientos realizados. Los cambios implementados consolidan la plataforma EPT, integrando la electromiografía para 4 grupos musculares, utilizando sensores más estables y concentrando la transmisión y procesamiento de las señales en la Raspberry Pi, que eventualmente permitiría integrar más sensores y de otro tipo.

El análisis de las señales, automatizado en la plataforma y lo suficientemente flexible para seleccionar diferentes ventanas de interés a través de la interfaz de visualización, fue orientado a determinar el tiempo de exposición de diferentes factores de riesgo basados en la norma chilena, los cuales asistirán a los ergonomistas en los EPT y a los comités calificadoros con información complementaria y objetiva para determinar si una persona padece enfermedades laborales.

5.2.- Nivel de logros de objetivos

Si bien el proyecto tuvo que extenderse en dos ocasiones debido a la contingencia (Pandemia COVID-19), el objetivo general y los específicos de este fueron cumplidos a cabalidad. Se realizó un rediseño del sistema, se diseñó y desarrolló una placa para adquisición de señales de electromiografía simultánea con el uso de sensores inerciales, incluyendo gestión, visualización y análisis de las señales orientado a detectar tiempos de exposición a factores de riesgo ergonómico.

5.3.- Resultados frente a antecedentes

De manera general, nuestros resultados del pilotaje van en línea con los antecedentes obtenidos de métricas establecidas de esfuerzo y fatiga muscular. Es así como, en el dominio del tiempo, se espera que tanto el promedio de la señal electromiográfica como el RMS aumente a medida que aumenta el tiempo de activación muscular o el número de repeticiones [17]. Esto se condice con los parámetros de normalización, los cuales son una conversión con referencia en la CVM, por lo que el porcentaje de actividad muscular es elevado y es relacionado al Borg referido por los sujetos. Además, el tiempo de exposición, catalogado como actividad muscular mayor al 30% de la CVM, muestra un aumento sostenido dado por las repeticiones. En conjunto, las métricas en el dominio del tiempo van en línea con lo planteado en la literatura como esfuerzo y fatiga muscular [17]-[18].

De manera interesante, los parámetros en el dominio de la frecuencia no son totalmente coincidentes con la literatura. Nosotros encontramos aumentos en el poder máximo del espectro y disminución en el promedio y la mediana del espectro de frecuencia, estos últimos parámetros

son esperables dado el mayor tiempo de activación muscular [17]-[18], sin embargo, un aumento en el poder máximo podría estar reflejando mayor compensación de músculos adyacentes que contribuyen y compensan la actividad dinámica. Como es esperable, los parámetros de la frecuencia no son del todo concluyentes dado que en las ventanas de tiempo no existe una contracción constante ni tampoco una contracción unitaria, lo que puede favorecer métricas dispares.

Por último, existen una serie de factores limitantes que hay que tener en cuenta al momento de observar e intentar utilizar los datos del pilotaje. En primer lugar, al solo ser un pilotaje que evalúa la factibilidad del equipo en función a su utilidad posible de métricas comparativas a esfuerzo, es que se hace necesario el reclutamiento de mayor número de sujetos para intentar dar paso a una validación de métricas y caracterización de las mismas. A su vez, es necesario la validación propia del equipo para tener factibilidad de valoraciones comparables con otras mediciones. Ambas limitaciones se alejan de la propuesta inicial pero son factibles de realizar ante una futura implementación. Es así, como la visualización y análisis forman parte de un bosquejo de representación de esfuerzo muscular, sin embargo, es necesaria la confirmación mediante métodos estadísticos más robustos para asegurarnos de poder entregar mediante electromiografía datos representativos de esfuerzo y fatiga muscular.

6.- CONCLUSIÓN

Dada la propuesta inicial planteada, la EMG cumple como herramienta complementaria a la escala Borg para la medición de esfuerzo muscular, ya que existen parámetros consistentes capaces de diferenciar entre estados diferenciados de esfuerzo muscular. En concomitancia, fue factible la generación de hardware y software capaces de incorporar análisis cinemáticos y electromiográficos para la la medición de esfuerzo muscular, lo cual además presenta factibilidad de ser implementado de apoyo para mediciones de EPT.

7.- REFERENCIAS

- [1] Superintendencia de Seguridad Social, "Estadísticas de Seguridad Social," 2018.
- [2] G. A. V Borg, "Physical Performance and Perceived Exertion," *Stud. Psychol. Paedagog. Ser. Altera, Investig. XI*, p. 63, 1962.
- [3] G. Borg and H. Löllgen, "Borg's perceived exertion and pain scales," *Dtsch. Z. Sportmed.*, vol. 52, no. 9, p. 252, 2001.
- [4] B. GA, "Psychophysical bases of perceived exertion," *Med. Sci. Sports Exerc.*, pp. 377–381, 1982.
- [5] A. Venhorst, D. Micklewright, and T. D. Noakes, "Perceived Fatigability: Utility of a Three-Dimensional Dynamical Systems Framework to Better Understand the Psychophysiological Regulation of Goal-Directed Exercise Behaviour," *Sport. Med.*, vol. 48, no. 11, pp. 2479–2495, 2018.
- [6] Y. Meckel, S. Zach, A. Eliakim, and M. Sindiani, "The interval-training paradox: Physiological responses vs. subjective rate of perceived exertion," *Physiol. Behav.*, vol. 196, no. August, pp. 144–149, 2018.
- [7] I. E. Allen and C. A. Seaman, "Likert Scales and Data Analyses," *Qual. Prog.*, pp. 64–65, 2007.
- [8] I. Douven, "A Bayesian perspective on Likert scales and central tendency," *Psychon. Bull. Rev.*, vol. 25, no. 3, pp. 1203–1211, 2018.
- [9] S. Jamieson, "Likert scales: how to (ab)use them," *Med. Educ.*, vol. 38, no. 12, pp. 1217–1218, 2004.
- [10] W. E. Mehling, C. Price, J. J. Daubenmier, M. Acree, E. Bartmess, and A. Stewart, "The Multidimensional Assessment of Interoceptive Awareness (MAIA)," *PLoS One*, vol. 7, no. 11, 2012.
- [11] K. Drummond *et al.*, "Measuring Global Self-Esteem: Construct Validation of a Single-Item Measure and the Rosenberg Self-Esteem Scale," *Schizophr. Res.*, vol. 27, no. 1, pp. 608–630, 2012.
- [12] S. D. Gosling, P. J. Rentfrow, and W. B. Swann, "A very brief measure of the Big-Five personality domains," *J. Res. Pers.*, vol. 37, no. 6, pp. 504–528, Dec. 2003.
- [13] G. Norman, "Likert scales, levels of measurement and the 'laws' of statistics," *Adv. Heal. Sci. Educ.*, vol. 15, no. 5, pp. 625–632, 2010.
- [14] S. Huber, K. Moeller, and H.-C. Nuerk, "Dissociating Number Line Estimations from Underlying Numerical Representations," *Q. J. Exp. Psychol.*, vol. 67, no. 5, pp. 991–1003, May 2014.
- [15] S. Dehaene, "The neural basis of the Weber-Fechner law: a logarithmic mental number line.," *Trends Cogn. Sci.*, vol. 7, no. 4, pp. 145–147, Apr. 2003.
- [16] S. Grondin, "From physical time to the first and second moments of psychological time.," *Psychological bulletin*, vol. 127, no. 1. pp. 22–44, Jan-2001.
- [17] Merletti R, Parker P. Electromyography: Physiology, Engineering, and Non-Invasive Applications. Wiley-IEEE Press. 2004.
- [18] Cifrek M, Medved V, Tonković S, Ostojić S. Surface EMG based muscle fatigue evaluation in biomechanics. *Clin Biomech.* 24(4):327-40, 2009.

8.- ANEXOS

Anexo 1: Consentimiento informado aprobado por el Comité de Ética de la Universidad de Chile.

Anexo 2: Instructivo de uso del equipo.

ACTA DE APROBACIÓN DE PROYECTO

(Documento en versión 2 corregida 28.05.2018)

Con fecha 09 de junio de 2020, el Comité de Ética de Investigación en Seres Humanos de la Facultad de Medicina, Universidad de Chile, integrado por los siguientes miembros:

Dr. Manuel Oyarzún G., Médico Neumólogo, Presidente
Dra. Lucia Cifuentes O., Médico Genetista, Vicepresidente Subrogante
Sra. Claudia Marshall F., Educadora, Representante de la comunidad.
Dra. Grisel Orellana, Médico Neuropsiquiatra
Prof. Julieta González B., Bióloga Celular
Dra. Maria Angela Delucchi Bicocchi, Médico Pediatra Nefrólogo.
Dr. Miguel O’Ryan, Médico Infectólogo
Dra. Maria Luz Bascuñán Psicóloga PhD, Prof. Asociado
Sra. Karima Yarmuch G., Abogada
Srta. Javiera Cobo R., Nutricionista, Secretaria Ejecutiva

Ha revisado el Proyecto de Investigación titulado: **USO DE ELECTROMIOGRAFÍA DE SUPERFICIE COMO HERRAMIENTA COMPLEMENTARIA EN ESTUDIOS DE PUESTOS DE TRABAJO (EPT) EN CHILE, PARA LA MEDICIÓN OBJETIVA DE ESFUERZO MUSCULAR COMO FACTOR DE RIESGO EN LA CALIFICACIÓN DE PATOLOGÍAS MÚSCULO-ESQUELÉTICAS DE EXTREMIDADES SUPERIORES.** Cuyo investigador responsable es el Sr. Joaquin Herrero, quien desarrolla labores en el Instituto de Neurociencias Biomédicas, Facultad De Medicina, Universidad De Chile.

El Comité revisó los siguientes documentos del estudio:

- Proyecto Concursable SUSESO
- Curriculum Vitae del Investigador
- Consentimiento Informado
- Carta Compromiso del investigador para comunicar los resultados del estudio una vez finalizado este

El proyecto y los documentos señalados en el párrafo precedente han sido analizados a la luz de los postulados de la Declaración de Helsinki, de las Pautas Éticas Internacionales para la Investigación Biomédica en Seres Humanos CIOMS 2016, y de las Guías de Buena Práctica Clínica de ICH 1996.



Sobre la base de esta información el Comité de Ética de Investigación en Seres Humanos de la Facultad de Medicina de la Universidad de Chile se ha pronunciado de la siguiente manera sobre los aspectos del proyecto que a continuación se señalan:

- a) Carácter de la población a estudiar (cautivo/no cautiva; investigación terapéutica/no terapéutica): Población cautiva.
- b) Utilidad del proyecto: Objetivar evaluación de puestos de trabajo para determinar trastornos musculoesqueléticos (TME).
- c) Riesgos y beneficios: Riesgos: los propios del uso de electrodos de superficie (ardor, enrojecimiento, otros). Beneficios: objetivar riesgo en puestos de trabajo desde un enfoque TME.
- d) Protección de los participantes (asegurada por el Consentimiento Informado): Si.
- e) Notificación oportuna de reacciones adversas: Si.
- f) Compromiso del investigador responsable en la notificación de los resultados del estudio al finalizar el proyecto: Si.
- g) Requiere seguimiento Visita en terreno: Si _____ No Tiempo estimado:
Nº de vistas:

Por lo tanto, el comité estima que el estudio propuesto está bien justificado y que no significa para los sujetos involucrados riesgos físicos, psíquicos o sociales mayores que mínimos.

Este comité también analizó y aprobó los correspondientes documentos de Consentimiento Informado en su versión modificada recibida el 20 de Mayo 2020, que se adjunta firmado, fechado y timbrado por este CEISH.

Sin perjuicio de lo anterior, según lo establecido en el artículo 10 bis del D.S Nº 114 de 2011, del Ministerio de Salud que aprueba el reglamento de la ley Nº 20.120; es preciso recordar que toda investigación científica en seres humanos deberá contar con la autorización expresa del o de los directores de los establecimientos dentro de los cuales se efectúe, la que deberá ser evacuada dentro del plazo de 20 días hábiles contados desde la evaluación conforme del CEISH, siendo de responsabilidad del investigador enviar a este Comité una copia de la misma dentro del plazo señalado.



En virtud de las consideraciones anteriores el Comité otorga la aprobación ética para la realización del estudio propuesto, dentro de las especificaciones del protocolo.

Se extiende este documento por el periodo de **3 años** a contar desde la fecha de aprobación prorrogable según informe de avance y seguimiento bioético.

Lugar de realización del estudio:

- Instituto de Neurociencias Biomédicas, Facultad De Medicina, Universidad De Chile.

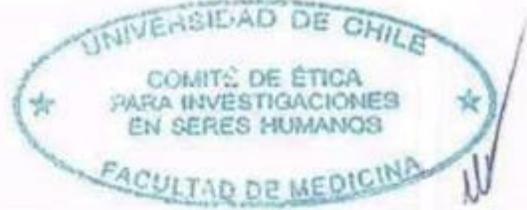


Srta. Javiera Cobo Riveros
Secretaria Ejecutiva CEISH

Santiago, 25 de Mayo de 2020.

09 JUN2020

Proyecto: N° 202-2019
Archivo acta: N° 220



UNIVERSIDAD DE CHILE
COMITÉ DE ÉTICA
PARA INVESTIGACIONES
EN SERES HUMANOS
FACULTAD DE MEDICINA

CONSENTIMIENTO INFORMADO

Uso de electromiografía de superficie como herramienta complementaria en Estudios de Puestos de Trabajo (EPT) en Chile, para la medición objetiva de esfuerzo muscular como factor de riesgo en la calificación de patologías músculo-esqueléticas de extremidades superiores

PATROCINANTE: SUSESO – Proyectos de Investigación e Innovación en prevención de Accidentes del Trabajo y Enfermedades Profesionales

Nombre del Investigador principal: Joaquín Herrero Silva

R.U.T.: 17.224.779-2

Institución: Instituto de Neurociencia Biomédica

Teléfonos: +569 7463 9438

Invitación a participar: Le estamos invitando a participar en el proyecto de investigación "*Uso de electromiografía de superficie como herramienta complementaria en Estudios de Puestos de Trabajo (EPT) en Chile, para la medición objetiva de esfuerzo muscular como factor de riesgo en la calificación de patologías músculo-esqueléticas de extremidades superiores*", debido a que califica como sujetos para la realización de pilotaje del desarrollo tecnológico realizado en este proyecto, los cuales consisten en personas sanas, mayores de 18 años. Actualmente, las evaluaciones de puesto de trabajo son realizadas con herramientas observacionales, las cuales determinan riesgo de enfermedades laborales. Este proyecto complementará esta evaluación mediante la medición de actividad muscular para determinar el esfuerzo que realizan las personas en sus actividades de trabajo, sobre la base de proyectos anteriores que han desarrollado aplicaciones digitales para modelar el movimiento del brazo con sensores de movimiento.

Objetivos: Esta investigación tiene por objetivo el uso de electromiografía de superficie como complemento a la medición de esfuerzo muscular en Estudios de Puesto de Trabajo. Este estudio piloto incluirá a un número total de ocho participantes voluntarios.

Procedimientos: Si Ud. acepta participar en nuestro estudio, será reclutado en día y hora a acordar para asistir al Instituto de Neurociencias Biomédicas (BNI). El equipo de investigadores instalará sobre la piel del brazo y antebrazo una serie de sensores adhesivos que permitirán medir su actividad muscular y su rango de movimiento, los cuales se conectan inalámbricamente a nuestro computador. Para lograrlo, su piel deberá ser limpiada localmente mediante el paso de un apósito humedecido con una solución de alcohol y agua, con el fin de retirar el exceso de grasa en la piel. Es posible que se necesite rasurar el área de ubicación de los electrodos. Posterior a la instalación, usted deberá realizar una actividad repetida en el tiempo, la cual consiste en levantar su brazo y flexionar su codo. El kinesiólogo le solicitará estos ejercicios, los cuales verán desafiado su esfuerzo muscular a la actividad y que usted deberá repetir al menos 5 veces. Una vez finalizada la medición, los sensores serán retirados cuidadosamente para evitar la erosión de la piel. El equipo de investigadores le entregarán las recomendaciones necesarias para evitar cualquier tipo de ardor o enrojecimiento de la piel. Todo el proceso no durará más de 40 minutos.

Tratamiento propuesto y justificación del uso de placebo: Este proyecto no contempla tratamiento ni placebo.

09 JUN2020



Riesgos: El uso de electrodos superficiales y el posible rasurado en la piel puede acompañarse de los siguientes efectos indeseados: ardor, enrojecimiento y/o picazón de la zona cubierta por el electrodo, jamás dolor. Los movimientos realizados durante la prueba no deben causar dolor, pero es probable que generen cansancio momentáneo. Se mantendrá registro digital de los efectos indeseados que se presenten de manera inmediata o tardía. Cualquier otro efecto que Ud. considera que puede derivarse del uso de electrodos de superficie o de los movimientos realizados, deberá comunicarlo a Joaquín Herrero Silva en el teléfono +569 7463 9438.

Costos: La medición con electrodos de superficie es sin costo alguno para Ud. durante el desarrollo de este proyecto.

Beneficios: Además del beneficio que este estudio significará para el progreso del conocimiento y la mejor evaluación de puestos de trabajo de futuros trabajadores y pacientes, su participación en este estudio le traerá los siguientes beneficios: podrá conocer el grado de activación muscular durante los movimientos de su extremidad, además, se entregarán recomendaciones inmediatas acerca de movimientos potencialmente peligrosos para su extremidad dada la evaluación de nuestro equipo.

Compensación: Ud. no recibirá ninguna compensación económica por su participación en el estudio.

Confidencialidad: Toda la información derivada de su participación en este estudio será conservada en estricta confidencialidad, lo que incluye el acceso de los investigadores o agencias supervisoras de la investigación, mediante resguardos digitales de la información (acceso con clave a plataformas de almacenamiento de datos). Cualquier publicación o comunicación científica de los resultados de la investigación será completamente anónima.

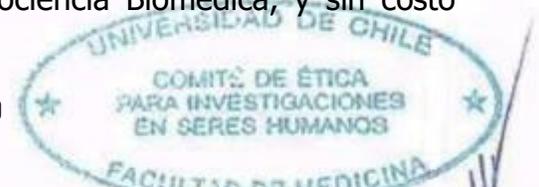
Usos potenciales de los resultados de la investigación, incluyendo los comerciales: La plataforma digital en desarrollo servirá a las mutuales de seguridad como herramienta para complementar los estudios de puestos de trabajo que se realizan para determinar riesgo de enfermedades laborales de la extremidad superior. Posterior a la fase de pilotaje y de continuar la línea de investigación, la plataforma desarrollada podría ser utilizada por cualquier mutualidad y entidades aseguradora y ser comercializada.

Información adicional: Ud. será informado si durante el desarrollo de este estudio surgen nuevos conocimientos o complicaciones que puedan afectar su voluntad de continuar participando en la investigación.

Voluntariedad: Su participación en esta investigación es totalmente voluntaria y se puede retirar en cualquier momento comunicándolo al investigador, sin que ello signifique modificaciones en el estudio. De igual manera el investigador podrá determinar su retiro del estudio si consideran que esa decisión va en su beneficio.

Complicaciones: En el improbable caso de que Ud. presente complicaciones directamente dependientes de la aplicación de electrodos de superficie (sobre la piel) y los movimientos que le solicite el kinesiólogo, Ud. recibirá el tratamiento médico completo de dicha complicación, financiado por el Instituto de Neurociencia Biomédica, y sin costo

09 JUN2020



alguno para Ud. o su sistema previsional. Esto no incluye las complicaciones propias de su estado de salud actual.

Derechos del participante: Usted recibirá una copia íntegra y escrita de este documento firmado. Si usted requiere cualquier otra información sobre su participación en este estudio o bien conocer los resultados puede comunicarse con:

Investigador: Joaquín Herrero Silva, +569 7463 9438.

Autoridad de la Institución: Claudio Hetz

Otros Derechos del participante

En caso de duda sobre sus derechos debe comunicarse con el Presidente del "Comité de Ética de Investigación en Seres Humanos", Dr. Manuel Oyarzún G., Teléfono: 2-978.9536, Email: comiteceish@med.uchile.cl, cuya oficina se encuentra ubicada a un costado de la Biblioteca Central de la Facultad de Medicina, Universidad de Chile en Av. Independencia 1027, Comuna de Independencia.

Conclusión:

Después de haber recibido y comprendido la información de este documento y de haber podido aclarar todas mis dudas, otorgo mi consentimiento para participar en el proyecto "Uso de electromiografía de superficie como herramienta complementaria en Estudios de Puestos de Trabajo (EPT) en Chile, para la medición objetiva de esfuerzo muscular como factor de riesgo en la calificación de patologías músculo-esqueléticas de extremidades superiores"

Nombre del Participante RUT:	Firma	Fecha
Nombre Director Instituto Neurociencias Biomédicas (BNI)	Firma	Fecha
Nombre Investigador RUT:	Firma	Fecha

09 JUN 2020





Anexo 2: Instructivo de Uso Prototipo Proyecto ACHS 243-2019

1. Descripción del Sistema

El sistema se compone de un centro de procesamiento (Raspberry Pi y placa de EMG), el cual captura, procesa y transmite las señales de los sensores; de sensores inerciales (cables y hub de carga incluidos) y sensores de electromiografía (cables y electrodos incluidos).



Cuenta además con una plataforma para registrar, analizar y visualizar las señales capturadas.



2. Requerimientos y recomendaciones para uso del Sistema

Para utilizar el sistema en su configuración actual, es necesario contar con:

- Conexión a internet (puede ser señal Wi-Fi, pero es recomendable conexión por cable)
- Pantalla con conexión HDMI
- Cable HDMI
- Mouse y teclado con conexión USB
- Fuente de energía (para Raspberry Pi y pantalla)
- Cinta adhesiva dérmica

Para utilizar el sistema en su configuración actual, recomendamos:

- Realizar grabaciones de máximo 2 minutos.
- Asegurarse que los sensores estén cargados. Cargue posterior a 3 horas de uso.
- Si el sistema no registra bien, revise el estado del servidor y de la conexión a internet.
- Si el sistema no registra bien reinicie la conexión en la aplicación Terminal de la Raspberry e inicie el proceso de registro nuevamente.
- Utilice toda la cinta adhesiva dérmica necesaria para fijar los sensores inerciales y de electromiografía.

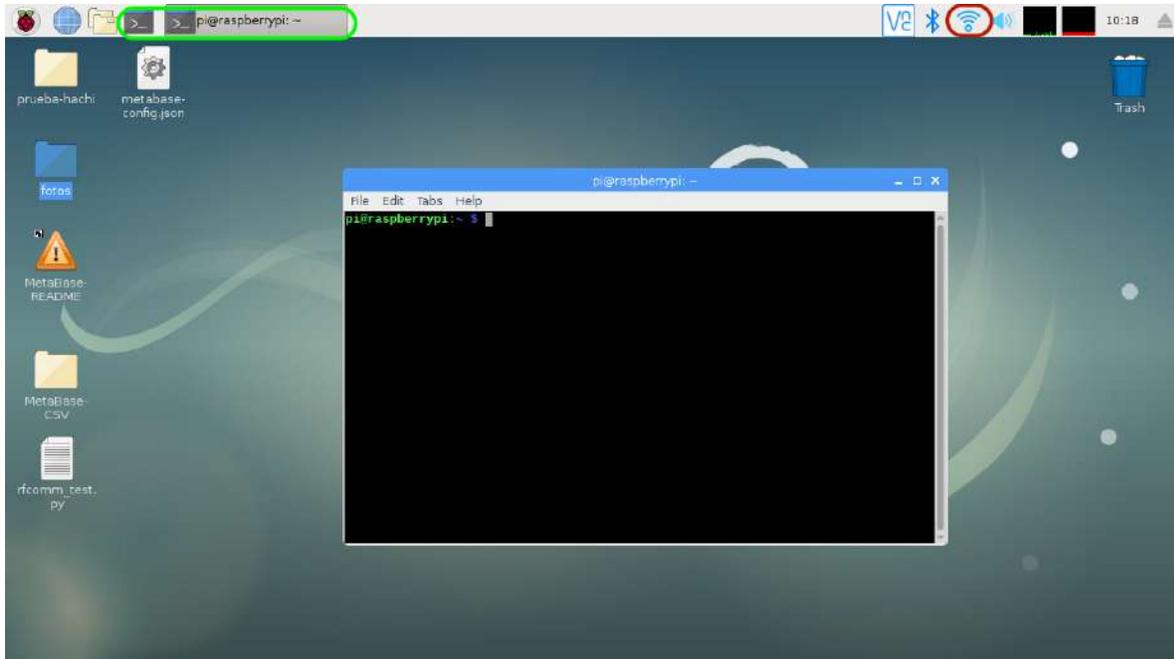
3. Instrucciones para el uso del Sistema

a. Conexión a red energía y pantalla

Conecte la Raspberry Pi a una fuente de energía y conecte a la pantalla con el cable HDMI, esta se encenderá automáticamente. Conecte el mouse y teclado a los puertos USB. Conecte el sistema a una red de internet por WI-Fi o por cable (rojo).

b. Conexión de sensores

Una vez encendida la Raspberry, abra la aplicación "Terminal" (verde).



En la línea de comandos escriba los siguientes comandos, estos iniciarán la conexión con los sensores inerciales y la conexión con el servidor para transmitir las señales que se visualizarán en la plataforma web.

Comando 1: Ubicarse en carpeta donde se encuentra el programa
`cd Apps/metawear-ept/`

Comando 2: Iniciar programa para conexión
`sudo npm run conectar --max-old-sapce-size=4096`

La aplicación mostrará mensajes de éxito de conexión con los sensores inerciales. Se deben conectar por lo menos 4 sensores para que el programa se ejecute correctamente. Se desplegará el mensaje de éxito de conexión. Si la conexión falla, debe reiniciar el proceso de conexión. Algunos problemas comunes que pueden interrumpir una conexión correcta:

- Sensores sin carga
- Sistema sin conexión a internet o con conexión débil
- Servidor fuera de línea

```
pi@raspberrypi: ~/Apps/metawear-ept
File Edit Tabs Help
pi@raspberrypi:~ $ cd Apps/metawear-ept/
pi@raspberrypi:~/Apps/metawear-ept $ sudo npm run conectar --max-old-space-size=4096

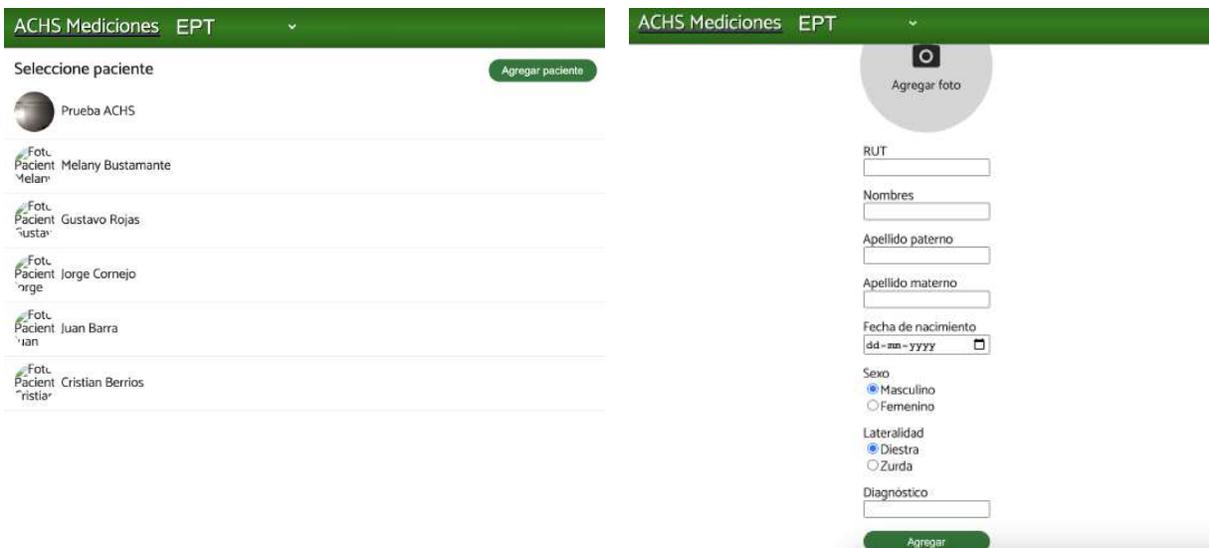
> metabase-hub@1.2.0 conectar /home/pi/Apps/metawear-ept
> sudo npm start -- --config metabase-config.json

> metabase-hub@1.2.0 start /home/pi/Apps/metawear-ept
> electron . "--config" "metabase-config.json"

info: Conectando con dispositivo mac=C2:5E:C8:B4:99:E4
info: Conectando con dispositivo mac=D6:FB:AC:46:5F:20
info: Conexión con servidor WSS exitosa
info: Conectando con dispositivo mac=D2:98:7B:51:EA:A1
info: Conectando con dispositivo mac=E9:15:4C:CC:78:08
info: Ya me conecté con 4 dispositivos
info: Configurando dispositivos
info: Recibiendo datos desde dispositivos
info: Presiona [Enter] para salir...
```

Si la conexión es correcta, en la plataforma de registro se observará la información de los sensores de electromiografía y el modelo en 3 dimensiones que representa las señales de los sensores inerciales.

Para acceder a la plataforma de registro, ingrese a link¹ de la aplicación web, acceda a la medición de un sujeto o agregue un nuevo sujeto (agregar paciente) y agregue un nuevo registro de sujeto (Completar datos del sujeto).



¹ Debe acceder al link donde se disponibilice la aplicación en servidores locales de ACHS.



Joaquin Herrero
Hombre, diestro, 37 años

Agregar registro

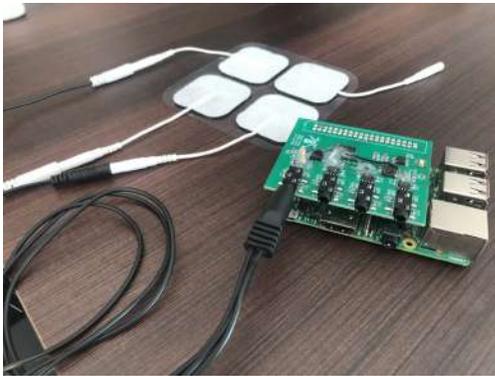
DIAGNÓSTICO

HISTORIAL

✓ EPT
hace 5 meses

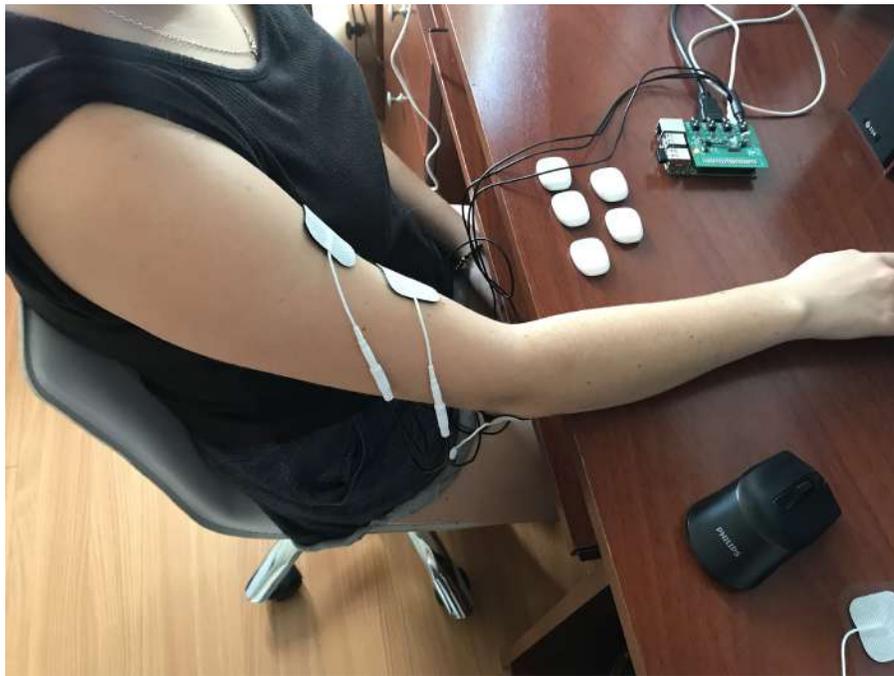
✓ EPT
hace 5 meses

c. Instalación de sensores

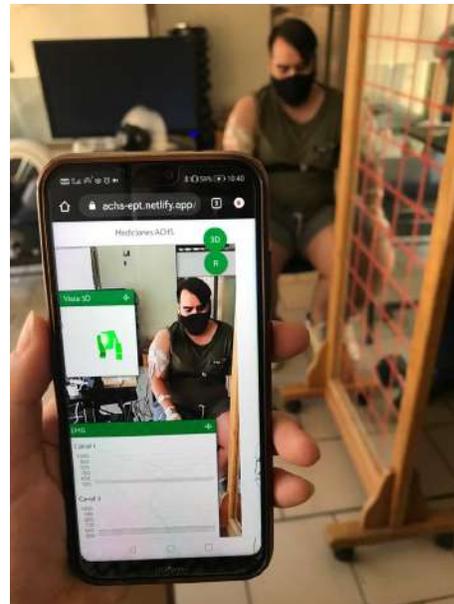


Conecte los canales de electromiografía a la placa de electromiografía. Como se ve en la imagen a la izquierda, el canal 1, es el canal más alejado de las entradas USB. Hay 4 entradas de canales disponibles.

Conecte los electrodos a los cables y ubíquelos en los grupos musculares que desea medir. Use como referencia de ubicación la guía disponible en: http://seniam.org/sensor_location.htm



Ubique los sensores inerciales en una superficie horizontal al frente del sujeto a medir. Ubíquelos con el punto de referencia orientados hacia la izquierda del sujeto. Una vez ubicados presione el botón R en la plataforma de captura (verde), con lo que se resetean los sensores a la posición inicial.



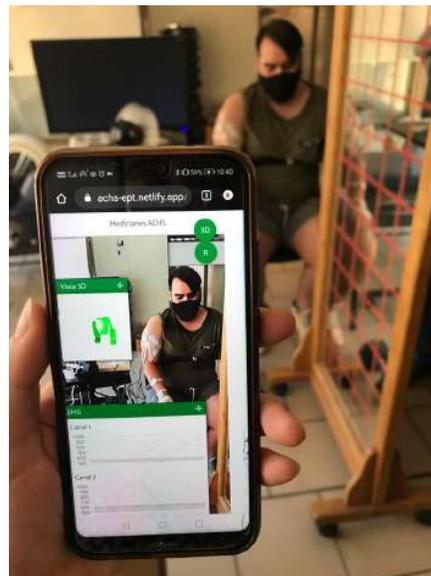
Mueva los sensores para identificar a qué segmento (tronco, brazo, antebrazo y mano) corresponde cada uno. Una vez identificado cada sensor, ubíquelos en la extremidad superior derecha. Como referencia, el sistema asume una posición inicial como la que se muestra en la foto.



El sujeto debe asumir la misma posición o lo más cercano posible a ella. Ubique los sensores en cada segmento (tronco, brazo, antebrazo y mano) con el punto de referencia orientados hacia craneal.



Una vez ubicado los sensores, se debe verificar que se replica el movimiento en el modelo 3D de la plataforma de registro.



d. Inicio de registro

Presione el botón “Grabar” para iniciar la medición del movimiento o tarea a evaluar. Durante la medición se debe observar la actividad muscular y la reconstrucción del movimiento en el modelo 3D. Una vez finalizada la medición, haga click en detener. Espere unos segundos y revise la aplicación en la Raspberry Pi. Una vez vea un mensaje similar al de la siguiente imagen, los datos han sido guardados en el servidor y la medición ha sido exitosa:

Botón Grabar



Mensaje éxito de medición

```
File Edit Tabs Help pi@raspberrypi: ~/Apps/r
info: Failed to reconnect (Failed to initialize
15:4c:cc:78:08
info: Failed to reconnect (Failed to initialize
fb:ac:46:5f:20
info: Attempting to reconnect mac=e9:15:4c:cc:78
info: Attempting to reconnect mac=d6:fb:ac:46:5f
info: Reconnected to device mac=e9:15:4c:cc:78:08
info: Reconnected to device mac=d6:fb:ac:46:5f:20
enviando a strapi... 600099e658ae4e3cb2a7bacd
Datos EMG: 6506
Datos IMU: 56016
total de datos 484355
warn: Connection lost mac=d2:98:7b:51:ea:a1
info: Attempting to reconnect mac=d2:98:7b:51:ea:a1
info: Failed to reconnect (Failed to initialize SDK)
98:7b:51:ea:a1
info: Attempting to reconnect mac=d2:98:7b:51:ea:a1
info: Reconnected to device mac=d2:98:7b:51:ea:a1
{ data: { upload: { id: '600099e658ae4e3cb2a7bacf' }
  id: '600099e658ae4e3cb2a7bacd',
  uploadId: '600099e658ae4e3cb2a7bacf' }
Datos enviados exitosamente.
Presione ENTER para terminar sesión.
```

e. Visualización de registro

Una vez finalizado el registro, en la visualización del historial del sujeto se pueden localizar las mediciones realizadas. Ingrese a una medición haciendo click en uno de ellos. Se desplegará una pantalla como la siguiente, donde se observan las señales de electromiografía, cinemática de la extremidad y el video del movimiento o tarea realizada. Haciendo click en el botón analizar, se puede pasar a la interfaz de análisis, donde se puede escoger una ventana de análisis y observar los parámetros de resumen de la ventana escogida. También, es posible descargar los datos de EMG e IMU desde sus respectivos botones.

