



## **Informe final**

**“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”**

**ACHS 210-2017**

**Entidad ejecutora: Instituto de Neurociencia Biomédica  
Innovador: Hachi Manzur Valdivia  
marzo 2019**

**Santiago de Chile**

Este trabajo fue adjudicado en el marco de los Proyectos de Investigación e Innovación en Prevención de Accidentes y Enfermedades Profesionales de la Superintendencia de Seguridad Social (Chile) y fue financiado por la Asociación Chilena de Seguridad, a través de la Fundación Científica y Tecnológica (FUCYT-ACHS), con recursos del Seguro Social de la Ley N°16.744 de Accidentes del Trabajo y Enfermedades Profesionales del año 2017.

## ANTECEDENTES DEL INNOVADOR

Nombre: Hachi Manzur Valdivia M.D., Ph.D.		RUT: 13.827.954-5
Dirección: Independencia 1027, Facultad de Medicina U. Chile	Teléfono (fijo y celular) +56229789595 +56991911790	e-mail hemanzur@gmail.com
Título profesional: Médico Cirujano		
Especialización: Ph.D. en Ciencias Biomédicas U. Chile. Magíster en Neurociencias U. Chile. Postdoctoral Fellow en National Institutes of Health (NIH) EE.UU. Especialista en estudios de electrofisiología in vivo en animales despiertos en movimiento.		
Institución: Universidad de Chile		
<ul style="list-style-type: none"> <li>● Medicina Universidad de Chile (2005)</li> <li>● Magíster en Neurociencias, Facultad de Medicina Universidad de Chile. Proyecto: <i>“Age-dependent increases in apoptosis/necrosis ratios in human lymphocytes exposed to oxidative stress.”</i> Journal of Gerontology.</li> <li>● Ph.D. en Ciencias Biomédicas, Universidad de Chile, <i>“Synchronization across sensory cortical areas by electrical microstimulation is sufficient for behavioral discrimination”</i> Cereb. Cortex</li> <li>● Postdoctoral Fellow NIH, USA. Proyecto: <i>“Temporal backpropagation of basal forebrain neuronal activity during associative learning reveals stepwise expansion of the reward prediction model”</i>. COSYNE; SfN.</li> <li>● Instituto de Neurociencia Biomédica (BNI): investigador.</li> <li>● Residente de Neurología, Universidad Católica de Chile.</li> <li>● Experiencia docente: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Monitor de trabajo prácticos de fisiología, Facultad de Medicina, Universidad de Chile. (2007 - 2010).</li> <li>○ <i>“Python for data analysis”</i>. National Institutes of Health.</li> <li>○ <i>“Análisis de datos usando Python”</i>. Facultad de Medicina, Universidad de Chile.</li> </ul> </li> </ul>		

## EQUIPO DE TRABAJO

NOMBRE	TÍTULO PROFESIONAL Y ROL EN EL EQUIPO	ESPECIALIZACIÓN	INSTITUCIÓN
<b>Hachi Manzur</b>	Médico Cirujano U. de Chile  Investigador responsable	Magíster en Neurociencias. Ph.D. en Ciencias Biomédicas. Postdoctoral Fellow en <i>National Institutes of Health</i> (NIH) EE.UU.  Especialista en estudios de electrofisiología in vivo en animales despiertos en movimiento.	U. de Chile
<b>Pablo Burgos</b>	Kinesiólogo U. de Chile  Investigador alterno	PhD. en Ciencias Biomédicas  Postdoctoral Fellow en Universidad de Oregon, Laboratorio de Control Motor.	U. de Chile
<b>Javier Carrasco</b>	Kinesiólogo  Co-investigador	Mg(c) en Informática Médica  Análisis de la conducta motora	U. de Chile
<b>Alejandro Lavado</b>	Ingeniero Civil en Computación  Co-investigador	Mg en Ciencias, mención computación  Especialista en desarrollo de herramientas de informática médica	U. de Chile
<b>Sebastián Reyes</b>	Ing. Agrónomo PUCV.  Coordinador de contrato. Encargado de transferencia.	Máster en Gestión de la Ciencia y la Innovación <sup>(1)</sup> . Diplomado en Gestión de la investigación y transferencia de conocimiento <sup>(1)</sup> . Diplomado en Innovación Empresarial <sup>(2)</sup> .  Especialista en desarrollo de innovaciones y modelos de negocio.	<sup>(1)</sup> U. Politécnica de Valencia  <sup>(2)</sup> UTFSM

## RESUMEN

El presente informe corresponde al insumo final a entregar en el marco del proyecto denominado *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. ACHS-210-2017*”, adjudicado por el Instituto de Neurociencia Biomédica a través del investigador Hachi Manzur en la convocatoria de proyectos de innovación SUSESO 2017.

El objetivo general del proyecto fue validar el 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.

Los objetivos específicos del proyecto fueron los siguientes:

- Evaluar sensores inerciales existentes en el mercado y seleccionar los más adecuados a las condiciones de uso en los EPT en Chile, considerando la relación costo/efectividad.
- Desarrollar un software de reconocimientos de patrones de movimiento repetitivo para articulaciones de muñeca, codo y hombro.
- Validar la combinación de hardware comercial y software desarrollado a medida para reconocer patrones de movimiento repetitivo como factores de riesgos en EPT.

Como resultado del proyecto, se cumplieron los objetivos planteados y se ha conseguido actualmente contar con una versión final de un sistema de medición cuantitativa de movimiento repetitivo como factor de riesgo en la calificación de patologías músculo-esqueléticas de extremidades superiores

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

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

	Página
INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES	6
DEFINICIÓN DEL PROBLEMA O DESAFÍO	7
DEFINICIÓN DE LOS USUARIOS O DOLIENTES Y MASA CRÍTICA PARA LA VIABILIDAD DE LA SOLUCIÓN	11
REVISIÓN DE LA LITERATURA O EXPERIENCIA RELEVANTES	12
ETAPAS DEL DISEÑO DE LA INNOVACIÓN	20
DESARROLLO DE LA INNOVACIÓN	27
RESULTADOS: DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS, DE ACUERDO A OBJETIVOS	28
CONCLUSIONES	34
REFERENCIAS	35
ANEXOS AL INFORME	37

## INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

Según establece el Decreto Supremo Nº109 de 1968 del Ministerio del Trabajo y Previsión Social, se consideran como enfermedades profesionales a las lesiones de los órganos del movimiento, incluyendo trastornos de la circulación y sensibilidad, así como lesiones del sistema nervioso periférico, causadas de manera directa por agentes de riesgo específicos, tales como movimiento, vibración, fricción y compresión continuos, a los que se ve expuesto el trabajador en el desempeño de su quehacer laboral. Dicho decreto establece además que estas enfermedades pueden causar incapacidad temporal o permanente.

Anualmente, las enfermedades músculo-esquelética son el principal tipo de diagnósticos de las denuncias por enfermedades profesionales en Chile. La calificación de este tipo de enfermedades se realiza mediante el procedimiento de Estudios de Puesto de Trabajo (EPT)

El presente proyecto se enfoca en la validación del uso de sensores inerciales, como una herramienta complementaria en este tipo de estudios.

## DEFINICIÓN DEL PROBLEMA O DESAFÍO

### Problema

La circular 3241 de julio de 2016 de SUSESO, que instruye a los organismos administradores del seguro de la ley N° 16.744 sobre el protocolo de normas de calificación del origen de las enfermedades denunciadas como profesionales, establece las siguientes las patologías musculoesqueléticas como enfermedades profesionales:

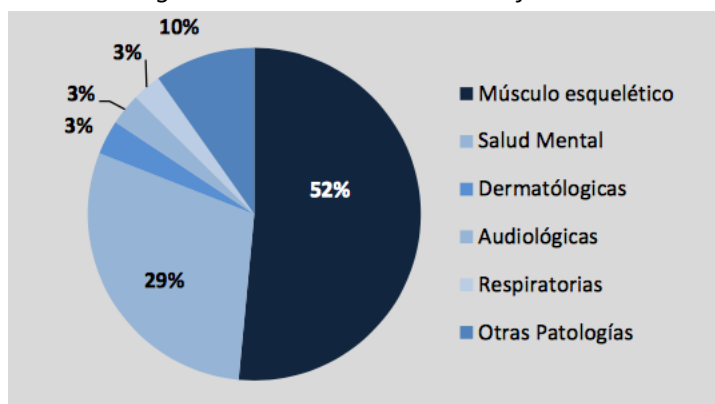
*Tabla.1.* Patologías musculoesqueléticas determinadas como enfermedades profesionales.

Segmento	Glosa de Diagnóstico
<b>Dedos</b>	Dedo en gatillo
<b>Muñeca</b>	Tendinitis de extensores de muñeca
	Tendinitis de flexores de muñeca
	Tendinitis de De Quervain
	Síndrome de Túnel Carpiano
<b>Codo</b>	Epitrocleitis
	Epicondilitis
<b>Hombro</b>	Tendinopatía de manguito rotador (MR)
	Tendinitis bicipital (TB)
	Bursitis Subacromial

Fuente: SUSESO. Compendio de Normas del Seguro Social de Accidentes del Trabajo y Enfermedades Profesionales. 2018.

Según el informe de estadísticas de Seguridad Social de SUSESO 2017, durante 2016 se diagnosticaron 7.232 enfermedades profesionales en Chile, registrándose una tasa de enfermedades profesionales diagnosticadas de 0,15 por cada 100 trabajadores protegidos y un promedio de 51 días perdidos por este tipo de enfermedades. Respecto a la distribución de los diagnósticos de las denuncias por enfermedades profesionales en 2016 (*Fig. 1.*), se aprecia que el principal tipo corresponden a denuncias por enfermedades músculo-esqueléticas (52%), seguida enfermedades mentales (29%), concentrando ambas más del 80% de las denuncias por enfermedades profesionales.

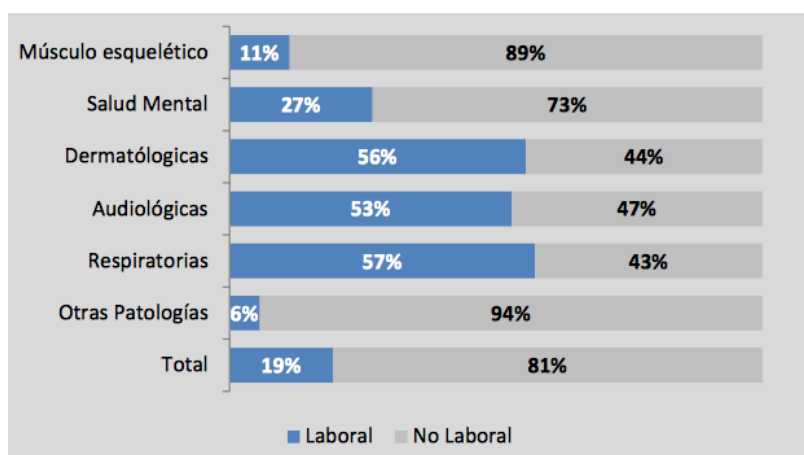
Fig. 1. Distribución de los diagnósticos del total de DIEP calificadas. Mutualidades, 2016.



Fuente: SUSESO. Informe de estadísticas de Seguridad Social. 2017.

En contraste, en el mismo documento, al analizar la calificación de las denuncias por enfermedades músculo-esqueléticas (Fig. 2.), durante 2016 sólo el 11% de estas patologías fueron calificadas como laborales, porcentaje inferior al promedio del total de todas las denuncias (19%). Todas las demás denuncias de patologías determinadas (no incluye a “otras patologías”) fueron calificadas como laborales en un mayor porcentaje, las respiratorias en un 57%, las dermatológicas en un 56%, las audiológicas en un 53% y las de salud mental en un (27%).

Fig. 2. Diagnóstico de todas las DIEP calificadas y calificación laboral/no laboral. Mutualidades, 2016.



Fuente: SUSESO. Informe de estadísticas de Seguridad Social. 2017.

En base a las estadísticas de SUSESO, podemos concluir que la mayor cantidad de diagnósticos se relacionan con enfermedades musculo-esqueléticas, pero sólo una baja proporción de ellos son calificados finalmente como enfermedades laborales. Esta situación se registra año a año en los informes estadísticos de SUSESO. Cabe preguntarse entonces si efectivamente esta situación es un hecho real dada la naturaleza de las lesiones y entornos laborales; o si por el contrario, se debe a que hacen falta más y mejores herramientas para la detección de factores de riesgos laborales que



los relacionen con enfermedades musculo-esqueléticas, existiendo una sub-dimensión del problema. Cualquiera sea el escenario, el contar con mejores herramientas cuantitativas en 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.

### **Estado del arte: Estudios de Puestos de Trabajo (EPT)**

El Compendio de Normas del Seguro Social de Accidentes del Trabajo 2018, establece el protocolo de patologías musculo-esqueléticas superiores (MEES), junto a los formatos específicos para 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 por observación de un profesional terapeuta ocupacional, kinesiólogo u otro con formación en ergonomía y su duración es aproximadamente 1 hora en todo el proceso; en ellos se desarrolla una entrevista y se registran (o a veces simulan) movimientos asociados a una tarea y tareas que desempeña el trabajador y 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 posturales, frecuencias de movimiento, movimientos asociados y tiempo de exposición efectivo (menos de 2 horas al día, 2 a 4 horas al día y más de 4 horas al día); pero 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 tiempos de pausas”; así, el tiempo de exposición es una estimación en base a la EPT ya que no existe una medición cuantitativa durante una jornada laboral completa o a lo menos media jornada.

## **Aportes del proyecto a la resolución del problema**

El contar con mediciones cuantitativas utilizando sensores inerciales ayudará a obtener EPT más precisos, que, sumadas a los diagnósticos médicos, ayudarán a determinar de forma más precisa la existencia o no de una relación de causalidad de factores de riesgo de movimiento repetitivo laboral para diversas patologías musculo-esqueléticas.

Se espera que en el corto plazo, el uso de sensores inerciales en estudios de prevención y calificación de enfermedades laborales mediante estudios de puesto de trabajo (EPT) sea reconocido como una buena práctica que entrega información cuantitativa a los profesionales expertos en áreas de ergonomía.

A mediano plazo, se espera que la totalidad de los estudios de puesto de trabajo (EPT) del país puedan ser implementados con estos sensores inerciales a modo de tener información cuantitativa del movimiento repetitivo, postura forzada y postura mantenida, mejorando la calificación actual de los EPT y utilizando algoritmos de reconocimiento. De esta forma, se espera que el proyecto pueda colaborar en la generación de confianzas respecto a la calificación de enfermedades laborales entre todos los actores del sistema: SUSESO, mutualidades, empresas y trabajadores, y así ser reconocida como una buena práctica en salud laboral chilena a nivel mundial.

## **DEFINICIÓN DE LOS USUARIOS O DOLIENTES Y MASA CRÍTICA PARA LA VIABILIDAD DE LA SOLUCIÓN**

Se observa que la implementación de sistemas basados en datos cuantitativos para la calificación de enfermedades laborales músculo-esqueléticas, aporta al establecimiento de confianza entre todos los stakeholders del sistema: Superintendencia, empresas, mutualidades y personas.

Dado las particularidades del modelo chileno, si bien se reconoce como usuarios de sistemas como el que se plantea en nuestro proyecto a las mutualidades chilenas e ISL; son finalmente las empresas que prestan servicios a las mutualidades en la toma de Estudios de Puestos de Trabajo (EPT) quienes se reconocen como usuarios finales, y específicamente como usuarios finales, a los profesionales del ámbito de la ergonomía que acuden a las empresas a realizar dichos EPT.

Por esta razón, durante la ejecución del proyecto se mantuvo relación con estos profesionales mediante ACHS y ESACH, a modo de ir recogiendo información para desarrollar el sistema lo más cercano a la realidad de toma de estos EPT. Así también, la actividad final del proyecto se dedicó íntegramente a la validación de la solución final con un grupo de profesionales de ESACH dedicados a tomar los ETP en la región metropolitana, con las conclusiones de estas pruebas se realizaron correcciones finales de usabilidad al sistema.

## REVISIÓN DE LA LITERATURA O EXPERIENCIA RELEVANTES

### 1. Definición de movimiento repetitivo

Durante la ejecución de una actividad laboral, una persona está inserta en un sistema complejo, caracterizado por la interacción de distintos factores físicos, ambientales, mentales y organizacionales. El interés de este proyecto se enfoca principalmente en los factores físicos, particularmente el de movimiento repetitivo.

Los factores físicos están constituidos por las exigencias del puesto de trabajo que demanda un esfuerzo adaptativo fisiológico, reflejado en mayor gasto energético y modificaciones del metabolismo. En este ámbito, se incluyen también la carga biomecánica. La carga biomecánica se define como el conjunto de requerimientos físicos originados por el movimiento mecánico, especialmente del aparato locomotor, representados fundamentalmente por el manejo manual de carga, posturas (mantenidas y/o forzadas) y movimientos repetitivos.

Los movimientos repetitivos se observan en tareas reiterativas donde la persona está constantemente repitiendo el mismo ciclo de trabajo y/o las mismas acciones técnicas e involucran el mismo grupo o grupos musculares sinérgicos (ISO 11228-3: 2007)

Los criterios para determinar si una tarea es repetitiva derivan de los conceptos utilizados por la normativa internacional para este factor de riesgo. Estos pueden ser considerados repetitivos si los patrones motores observados se realizan por más del 50% de tiempo de la duración de un ciclo de la tarea; y altamente repetitivo, si están insertos en un ciclo menor a 30 segundos. Sin embargo existen limitaciones en esta definición respecto al tiempo acumulativo total de ejecución y descanso para producir riesgo de lesiones músculo esqueléticas. (Córdova, V. Cerda, E & Rodríguez, C., 2010)

### 2. Métodos y procedimientos para la evaluación de factores de riesgo asociado al trabajo con movimientos repetitivos de la extremidad superior.

Para que sean adecuadas las actividades o propuestas de prevención de patologías musculoesqueléticas relacionadas al trabajo, debe existir una forma de identificación del riesgo o factores que producen lesiones. En general se describen 3 diferentes tipos de evaluaciones para identificar estos factores. (Córdova, V. Cerda, E & Rodríguez, C., 2010)

- a) **Informes de autoevaluación:** Se obtiene datos de factores físicos y psicológicos a través de entrevistas y cuestionarios. Es de bajo costo y es aplicable a una amplia gama de situaciones o entornos de trabajo. Interpretar estos resultados requiere de una numerosa muestra y requiere de interpretación de experto. Algunas investigaciones concluyen que el nivel de

exposiciones de los factores a través de esta medición es imprecisa y sujeta a interpretación. (Balogh et al., 2004; David, 2005)

- b) **Métodos de observación:** Es un método simple en la cual se evalúa de forma sistemática en tiempo real la exposición a factores de riesgo en el puesto laboral, el evaluador registra en plantillas predefinidas la información obtenida. Además, se agrega el análisis de video la cual permite obtener más información sobre los agentes o factores al que se encuentra expuesto el trabajador. Es un método de bajo costo que requiere de tiempo y de un conocimiento técnico. (David, 2005; Mathiassen, Liv, & Wahlström, 2013)
- c) **Métodos de medición directa:** Este método utiliza sensores posicionados directamente a los trabajadores para obtener parámetros biométricos relacionados a los factores a los que se ve expuesto el trabajador en el puesto laboral. (David, 2005) Este es el método que refiere mayor validación en la evaluación de factores de riesgo de lesión musculoesquelética comparado con otros métodos. (Kilbom, 1994)

Los **métodos de observación** han sido desarrollados para que el evaluador observe sistemáticamente la exposición en el puesto de trabajo y registre sus características en plantillas predefinidas para determinar el riesgo presente en las tareas. Estas metodologías evalúan diferentes factores físicos en el trabajo, destacándose factores de riesgo biomecánicos tales como manipulación manual de cargas, movimientos repetitivos y posturas mantenidas y forzadas. A modo de ejemplo, en la tabla 1 se señalan algunas de las principales metodologías utilizadas para la evaluación de condiciones de trabajo, aceptadas por la comunidad internacional. (Córdova, V. Cerda, E & Rodríguez, C., 2010)

Tabla 2. Factores evaluados por los distintos métodos

Metodología	Postura	Carga/Fuerza	Frecuencia Movimiento	Duración	Descanso	Vibración	Otros	Referencia
<b>OWAS</b>	X	X						Karhu et al. 1977
<b>RULA</b>	X	X	X					McAtamney y Corlett. 1993
<b>Ecuación NIOSH</b>	X	X	X	X	X		X	Waters et al. 1993
<b>OCRA</b>	X	X	X	X	X	X	X	Occhipinti 1998
<b>REBA</b>	X	X	X				X	Hignett y McAtamney 2000
<b>MAC</b>	X	X	X				X	Monnington et al. 2003

Fuente: Superintendencia de pensiones. Guía técnica para la evaluación el trabajo pesado. 2010.

A continuación, se presenta una lista de metodologías disponibles para la evaluación de factores de riesgo asociados al trabajo con movimiento repetitivos de la extremidad superior extraído de la “Norma técnica de identificación y evaluación de factores de riesgo de trastornos musculoesqueléticos relacionados al trabajo (TMERT)”

Tabla 3. Métodos y procedimientos de evaluación prospectados.

Método	Características principales	Tipo de respuesta	Parte del cuerpo evaluada
OWAS	Análisis postural de diferentes segmentos corporales. Considera la frecuencia y duración de las posturas.	Cuantitativa	Cuerpo entero
RULA	Análisis codificado rápido de posturas que también considera fuerza y frecuencia. El resultado es un puntaje vinculado con categorías de acción que orientan la prevención.	Cuantitativa	Extremidad superior
REBA	Similar a RULA, considera además la carga o fuerza, el tipo de agarre o actividad muscular, posturas estáticas o dinámicas.	Cuantitativa	Cuerpo entero
PLIBEL	Lista de verificación para la identificación de diferentes factores de riesgo para distintos segmentos corporales. Incluye postura forzada, movimientos, equipamiento y otros aspectos organizacionales.	Cuantitativa	Cuerpo entero
STRAIN INDEX	Método detallado para evaluar mono tarea. Considera los siguientes factores de riesgo: Intensidad del esfuerzo, duración del esfuerzo por ciclo, esfuerzos por minuto, postura mano/muñeca y duración de la tarea por día.	Cuantitativa	Extremidad Superior Distal
QEC	Método rápido que estima el nivel de exposición considerando diferentes posturas, fuerza, carga manejada, duración de la tarea con puntajes asociados a su interacción.	Cuantitativa	Cuerpo entero
OSHA CHECK LIST	Lista de verificación que considera repetición, posturas forzadas, fuerza, algunos factores agravantes y organizacionales.	Cuantitativa	Extremidad Superior

UPPER LIMB EXPERT TOOL	Método de screening que evalúa la “carga de trabajo”. Considera repetición, fuerza, posturas forzadas, duración de la tarea y otros factores agravantes.	Semi-Cuantitativa	Extremidad Superior
OCRA INDEX	Método detallado que considera los siguientes factores de riesgo: frecuencia de acciones técnicas, repetición, posturas forzadas fuerza, factores agravantes, periodos de recuperación y duración de la tarea.	Cuantitativa	Extremidad Superior
OCRA CHECKLIST	Método semi-detallado que considera en forma simplificada los mismos factores de riesgo de OCRA INDEX (frecuencia de acciones técnicas, repetición, posturas forzadas fuerza, factores agravantes, periodos de recuperación y duración de la tarea). Es aplicable también para trabajos con multitarea.	Cuantitativa	Extremidad Superior

*Fuente: MINSAL. Norma Técnica para la Identificación y Evaluación de factores de riesgo de TMERT-EESS. 2012.*

La metodología recomendada por la guía técnica para evaluación del trabajo pesado para la medición de **movimiento repetitivo** es el OCRA.(Córdova, V. Cerda, E & Rodríguez, C., 2010) y que las otras metodologías se consideran como complementarias. A continuación se detalla las metodologías utilizadas en investigaciones relacionadas al estudio de riesgo de lesión musculoesquelética por movimiento repetitivo.

**OCRA index y OCRA Check list:** Puede tomar hasta 3 horas aplicarlo, debe ser aplicado por expertos. El análisis considera la puntuación de acciones técnicas dinámicas y estáticas de miembros superior y cuantificar el esfuerzo realizado en el puesto de trabajo. Considera el tiempo de exposición en el entorno laboral y la orientación de los segmentos articulares de miembro superior y cuan forzada es esta posición. La lista de chequeo describe un puesto de trabajo y estima el riesgo intrínseco, como si un trabajador lo utilizara toda la jornada laboral, por lo tanto, determina que puesto de trabajo presenta por sus características estructurales y organizativas un riesgo ausente, leve, medio o elevado, independiente de la presencia o no de trabajadores.

Además la revisión de la literatura de artículos que utilizan IMUs en puesto de trabajo habitualmente realizan los siguientes métodos observacionales asociados. (Peppoloni, Filippeschi, Ruffaldi, & Avizzano, 2016)



**Strain index:** Parte de la premisa que no es la exposición lo riesgoso, si no que depende de la cantidad con que se presentan dichos factores o variables durante los periodos de trabajo. Tiene las siguientes etapas: Observación de la tarea y recolección de datos, asignar la clasificación, determinar los factores multiplicadores, calcular el strain index, interpretar los resultados.

El strain index se obtiene de la multiplicación de seis variables consideradas, obteniéndose un puntaje. El puntaje determina el nivel de riesgo de la tarea. Este puntaje depende de la intensidad del esfuerzo, la duración del esfuerzo por ciclos, esfuerzos por minuto, postura de muñeca, velocidad del esfuerzo y la duración de las tareas por día.

*Fig. 2. Stain Index*

$$SI = IE \times DE \times EM \times PM \times VE \times DD$$

Donde:

IE = Intensidad del Esfuerzo

DE = Duración del Esfuerzo por ciclos

EM = Esfuerzo por Minutos

PM = Postura de Muñeca

VE = Velocidad del Esfuerzo

DD = Duración de las Tareas por Día

**ISO 11228-3:2007 Ergonomía - Manejo Manual. Parte 3 Manipulación de bajas cargas a alta frecuencia:** Es una guía de identificación y evaluación de los factores de riesgo asociados a tareas de alta frecuencia de ejecución y manejo de cargas de baja magnitud. Es una lista de chequeo que permite obtener un riesgo observado para posteriormente aplicar una metodología más específica.

**Rapid Upper Limb Assessment (RULA):** Esta metodología evalúa el riesgo considerando el análisis de extremidades superiores y separadamente el análisis de los segmentos Cuello- Tronco - Piernas. Se propone elegir la peor postura observada y/o referida por el trabajador en la tarea analizada la cual sea caracterizada por una postura mantenida o de alta carga. Finalmente, se obtiene un puntaje que determina el nivel de riesgo de generar patología musculoesquelética.

**Rapid Entire Body Assessment (REBA):** El análisis a través de esta metodología permite obtener información sobre las posiciones adoptadas de las extremidades superiores, extremidades inferiores, del tronco y del cuello. Es sensible a la tarea que tengan cambios posturales repentinos debido a manipulaciones de carga ya que considera dentro del puntaje el peso de la carga, si esta debe ser mantenida o cargada por tiempo prolongados o que se repita el movimiento en un tiempo determinado. El puntaje final entrega información sobre la necesidad inmediata o no de realizar modificaciones al puesto laboral del trabajador.

Dentro de los **métodos directos**, se miden parámetros biométricos los cuales se encuentran relacionados a la cinemática articular, dinamometría, ritmo cardíaco, consumo de oxígeno y

electromiografía entre otros. La guía técnica de manejo manual de carga considera este método como complementario al OCRA (Córdova, V. Cerda, E & Rodríguez, C., 2010).

El análisis cinemático permite estudiar el movimiento de los segmentos corporales. Los parámetros obtenidos son los ángulos o posiciones y sus derivadas como la velocidad y aceleración por ejemplo. El análisis cinemático se puede realizar con distintos sistemas como la electrogoniometría, cámaras optoelectrónicas y sistemas basados en Sensores inerciales (IMUs, Inertial Measurement Units).

Los electrogoniómetros permiten el análisis de movimientos en dos dimensiones los cuales se aplican directamente en el segmento mediante protocolos predefinidos, la información es en base a la excursión angular y alineación del segmento en dos planos de movimiento, frecuencia de movimiento, velocidad y aceleración.

Los sistemas de cámaras optoelectrónicas para la captura de movimientos en tres dimensiones se basan en cámaras, marcadores activos o pasivos y software que localizan estos marcadores en un espacio tridimensional precalibrado donde se determina el movimiento del segmento en base a un sistema de coordenadas. Es el gold estándar en el estudio biomecánico y permite establecer las mismas variables que el electrogoniómetro pero en 3D.

### **3. IMU para movimiento repetitivo, ventajas y desventajas**

Los sensores inerciales o IMUs (Inertial measurement unit) típicamente contienen un acelerómetro, un giroscopio y magnetómetro. Permite obtener valores de la aceleración lineal, velocidad angular y campo magnético (brújula) del dispositivo que se encuentra en pequeños estuches que pueden ser posicionados en el cuerpo humano de forma no invasiva. Esta tecnología se encuentra siendo implementada en el campo de la evaluación y del monitoreo del movimiento humano (Filippeschi et al., 2017).

Una de las ventajas con respecto a los sistemas optoelectrónicos los cuales sufren de oclusión de los marcadores, por lo que pierden en ciertos movimientos la captura del marcador y son limitados a espacios determinados por el campo de visión de las cámaras utilizadas. (Filippeschi et al., 2017). Los sensores inerciales permiten obtener información de la velocidad estimada, posición y orientación de un segmento para reconstruir un modelo o postura. Estos se han aplicado en mediciones de marcha, estabilidad postural estática y dinámica, movilidad de miembro superior, monitoreo de actividades de vida diaria y pruebas clínicas (Losa, Picerno, Paolucci, & Morone, 2016; Mancini, Chiari, Holmstrom, Salarian, & Horak, 2016).

A continuación, se describe algunos ejemplos de uso en el contexto de medición de movimiento repetitivo y factores de riesgo de patología musculoesquelética en contexto laboral:

Álvarez y cols. presentan un prototipo de medición angular de miembro superior que se pueda utilizar en laboratorio y en el contexto real de trabajo. La medición en contexto de trabajo es

realizada para medir el riesgo de movimiento repetitivo y posturas mantenidas. Este estudio utiliza 4 sensores inerciales de 9 grados de libertad marca XSens posicionados en mano, antebrazo, brazo y espalda. El prototipo incluye una Webcam que permite sincronizar el video con los datos adquiridos de los IMUs. Se obtienen variables de aceleración, velocidad angular y campo magnético y se realiza un análisis espectral por medio de la transformada de Fourier cada 14 segundos de datos (Álvarez, Alvarez, González, & López, 2016).

Peppoloni y cols. utilizan la medición con sensores inerciales, para determinar el riesgo de patología musculoesquelética relacionada al trabajo en combinación a Electromiografía en una población de trabajadores en el puesto laboral de cajero de supermercado. Con los datos capturados por los sensores obtienen de forma inmediata con software los puntajes de RULA y Strain Index. Pruebas observacionales descritas anteriormente en el informe. De esta forma determinan el riesgo de patología musculoesquelética (Peppoloni et al., 2016).

Existen trabajos de mediciones con sensores inerciales los cuales introducen un práctico e innovador sistema para la evaluación ergonómica de la actividad de un trabajador en tiempo real, los cuales automáticamente a través de un software y sincronización de una computadores y los sensores, obtiene puntajes de factores de riesgo por posturas mantenidas o movimientos repetitivos sobre un modelo biomecánico que permite evaluar según los criterios del RULA (Vignais et al., 2013). Además, entregan una retroalimentación inmediata al trabajador o usuario para que cambie el comportamiento postural y del movimiento de la tarea (Vignais et al., 2013).

Las ventajas de uso de los IMUs es la estabilidad del muestreo a diferencia de las cámaras que pueden perder los marcadores. Además poseen las ventajas de simplificar la instalación de los sensores y la calibración previa a los registros

Las desventajas de uso de los IMUs es la influencia del campo electromagnético (Álvarez et al., 2016), la generación de un modelo anatómico asociado a la cinemática de los sensores. Adicionalmente existe un error acumulativo que en la actualidad se disminuye por el uso de filtros de Kalman (Sabatini, 2011).

## ETAPAS DEL DISEÑO DE LA INNOVACIÓN

Durante la ejecución del proyecto, se llevaron a cabo las 6 actividades planteadas, enfocándose en el desarrollo de software centrado en el usuario, tanto de la app de smartphone para captura de datos como la plataforma web de reconocimiento. El detalle de actividades es la siguiente:


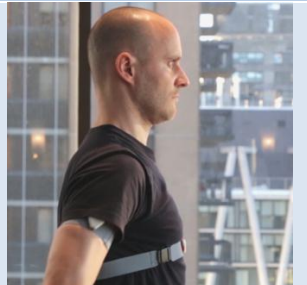
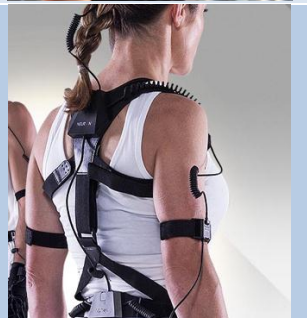
- **Actividad 1: Revisión de dispositivos sensores inerciales de bajo costo existentes en el mercado.**

Los sensores inerciales de bajo costo considerados para ser comparados con el estándar (Xsens MTw Awinda) debían cumplir con los siguientes criterios de inclusión, que se pudo recopilar de la información técnica disponible:

- Ser altamente robustos en la calidad de la señal y mediciones
- Permitan extraer los datos de forma sencilla para su procesamiento y cuenten con kits de desarrollo (SDK) para terceros.
- Tener autonomía de funcionamiento de a lo menos 4 horas (media jornada laboral), para proporcionar mediciones de mayor duración al de un EPT actual.
- Portables, para no limitar movimiento en labores normales de los trabajadores estudiados, ya sea mediante tecnología completamente inalámbrica o una presencia mínima de cableado.
- Poseer una buena relación costo/efectividad, para poder ser usado de forma extensiva por las mutualidades. No se considerarán equipos sobre 3.000 dólares por el kit completo de desarrollo para extremidades superiores (6 sensores) y software.

De esta forma, los sensores prospectados se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 4. Sensores inerciales prospectados inicialmente.

Marca	Modelo	Características	
Xsens	MTw Awinda	<p>Modelo estándar más utilizado en investigación, del alto costo y precisión. Será comparado con otros sensores inerciales de menor valor.</p> <p>Sistema de múltiples sensores inerciales inalámbricos que transmiten vía protocolo cerrado Awinda directamente a un receptor conectado a un pc. El precio de un KIT completo de desarrollo (6 sensores) y software, bordea los 6 millones de pesos.</p>	
Notch	Notch	<p>Sistema de múltiples sensores inerciales inalámbricos que transmiten vía bluetooth a un teléfono celular Android o los almacenan en cada sensor mediante tarjetas microSD. El precio de un kit completo de desarrollo (6 sensores) y software alcanza los 400 dólares.</p>	
Noitom	Perception Neuron	<p>Sistema de múltiples de sensores inerciales conectados por cable a un Hub, el que transmite vía Wi-Fi a un PC los datos o los almacena en una tarjeta microSD ubicada dentro del mismo Hub. El precio de un KIT completo de desarrollo (32 sensores) y software alcanza los 1.500 dólares.</p>	

Fuente: Elaboración propia a partir de información de catálogos online y cotizaciones.

Posteriormente, fueron adquiridos otros Kits de sensores (Mbient Lab, YostLabs) que no superaron las pruebas de usabilidad.

- **Actividad 2. Revisión de diferentes métodos y procedimientos para la evaluación de factores riesgo asociados al trabajo con movimientos repetitivos de la extremidad superior.**

Se realizó una extensa revisión de diversas fuentes científicas de métodos de evaluación para establecer estos parámetros. El resumen de ella se presenta en la siguiente tabla:

*Tabla 5. Métodos y procedimientos de evaluación prospectados.*

Método	Características principales	Tipo de respuesta	Parte del cuerpo evaluada
OWAS	Análisis postural de diferentes segmentos corporales. Considera la frecuencia y duración de las posturas.	Cuantitativa	Cuerpo entero
RULA	Análisis codificado rápido de posturas que también considera fuerza y frecuencia. El resultado es un puntaje vinculado con categorías de acción que orientan la prevención.	Cuantitativa	Extremidad superior
REBA	Similar a RULA, considera además la carga o fuerza, el tipo de agarre o actividad muscular, posturas estáticas o dinámicas.	Cuantitativa	Cuerpo entero
PLIBEL	Lista de verificación para la identificación de diferentes factores de riesgo para distintos segmentos corporales. Incluye postura forzada, movimientos, equipamiento y otros aspectos organizacionales.	Cuantitativa	Cuerpo entero
STRAIN INDEX	Método detallado para evaluar mono tarea. Considera los siguientes factores de riesgo: Intensidad del esfuerzo, duración del esfuerzo por ciclo, esfuerzos por minuto, postura mano/muñeca y duración de la tarea por día.	Cuantitativa	Extremidad Superior Distal
QEC	Método rápido que estima el nivel de exposición considerando diferentes posturas, fuerza, carga manejada, duración de la tarea con puntajes asociados a su interacción.	Cuantitativa	Cuerpo entero
OSHA CHECK LIST	Lista de verificación que considera repetición, posturas forzadas, fuerza, algunos factores agravantes y organizacionales.	Cuantitativa	Extremidad Superior
UPPER LIMB EXPERT TOOL	Método de screening que evalúa la “carga de trabajo”. Considera repetición, fuerza, posturas forzadas, duración de la tarea y otros factores agravantes.	Semi-Cuantitativa	Extremidad Superior

OCRA INDEX	Método detallado que considera los siguientes factores de riesgo: frecuencia de acciones técnicas, repetición, posturas forzadas fuerza, factores agravantes, periodos de recuperación y duración de la tarea.	Cuantitativa	Extremidad Superior
OCRA CHECKLIST	Método semi-detallado que considera en forma simplificada los mismos factores de riesgo de OCRA INDEX (frecuencia de acciones técnicas, repetición, posturas forzadas fuerza, factores agravantes, periodos de recuperación y duración de la tarea). Es aplicable también para trabajos con multitarea.	Cuantitativa	Extremidad Superior

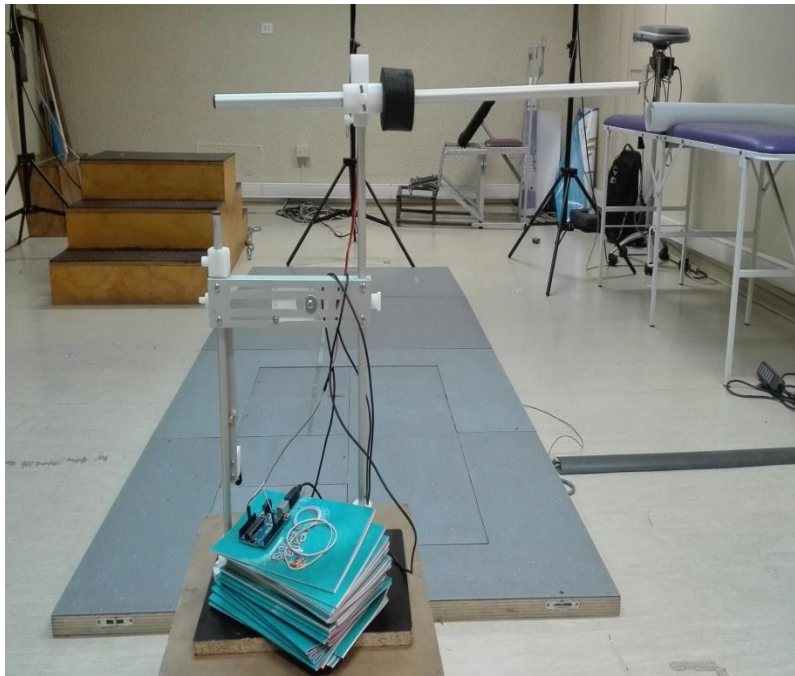
Fuente: MINSAL. Norma Técnica para la Identificación y Evaluación de factores de riesgo de TMERT-EESS. 2012.

Conjuntamente, se realizó un análisis en detalle de las normativas y protocolos de EPT chilenos, factores de riesgo, movimientos y ejercicios que se buscan reconocer durante la observación. Se realizaron mediante entrevistas con profesionales que realizan EPT y revisión de las últimas versiones del formato de EPT y protocolo TMERT-EESS.

- **Actividad 3. Evaluación de dispositivos sensores inerciales para detección de movimientos repetitivos de articulaciones de muñeca, codo y hombro en condiciones de controladas.**

Se realizaron pruebas de laboratorio controladas para comparar una serie de parámetros relevantes de los sensores seleccionados, comparando los sensores de la marca Xsens (gold standard actual) con respecto a los sensores inerciales de las marcas Notch y Noitom. Para este fin, se construyó un brazo un brazo mecánico controlado por un servo programado en microcontrolador Arduino. Este brazo logra realizar un movimiento controlado, conocido y reproducible en el tiempo en un eje determinado, el que posteriormente fue registrado por los distintos sensores inerciales y cámaras optoelectrónicas para así comprar los distintos registros de los sensores comerciales.

*Fig. 3. Detalle del brazo mecánico construido*



Se definieron los siguientes seis parámetros a considerar en la evaluación comparativa de sensores inerciales: máxima tasa de muestreo, precisión, relación señal/ruido, tasa de fallos, pérdida de señal y facilidad de uso

Como conclusión de la actividad 3, se seleccionó en sensor inercial marca Notch para continuar el desarrollo. El informe en detalle se anexa al informe.



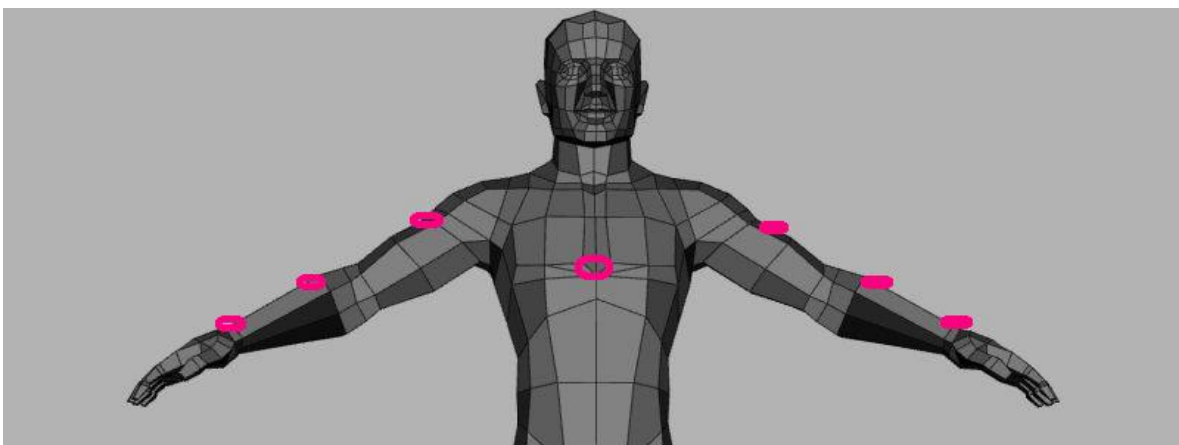
- **Actividad 4. Estudio de disminución del número de sensores para detección de movimientos repetitivos de articulaciones de muñeca, codo y hombro en condiciones de controladas.**

Se realizarán pruebas en condiciones controladas donde se disminuyó progresivamente la cantidad de sensores inerciales en ambas extremidades superiores, desde 3 unidades en cada brazo (control), a 2 unidades y 1 unidad, en distintas ubicaciones. Mediante movimientos estandarizados de repetición para articulaciones de muñeca, codo y hombro, se evaluará si es posible o no la detección de movimientos repetitivos específicos para muñeca y/o codo y/o hombro con menos de 3 sensores, lo que consecuentemente disminuiría los costos operativos de su implementación en EPT y simplificaría su aplicación en condiciones reales.

La experimentación con los sensores, nos demostró que es necesario la colocación de un sensor en el pecho ya que así se recoge la orientación del torso, para modelar de mejor forma la posición de las extremidades respecto a él.

Si bien se pueden utilizar menos de 3 sensores en cada extremidad (ver anexo, reporte actividad 4), por consideraciones prácticas de pérdida de información posicional de cada segmento debido a la necesidad de modelamientos, hizo que desistieramos de disminuir los sensores cuando se requieran EPT de más de una articulación (muñeca, codo, hombro). Así para EPT de una articulación, podrían usarse 5 sensores (1 en el pecho y 2 por cada extremidad superior), pero para tener registro de las tres articulaciones a la vez, necesariamente deben utilizarse 7 sensores.

*Fig. 4. Ubicación de los 7 sensores en modelo de cuerpo humano para analizar movimiento de extremidades superiores*



- **Actividad 5. Desarrollo de software de reconocimiento de patrones de movimiento repetitivo.**

Para desarrollar esta actividad, se realizó una colaboración de nuestro equipo de trabajo en algoritmos de análisis de señales y la contratación servicios externos de una empresa de desarrollo de software, para desarrollar un producto con altos estándares informáticos. Así, nuestro equipo pudo desarrollar la app en Android y la plataforma web, la empresa contratada integró los algoritmos en la plataforma.

Se diseñó un flujo de proceso dentro del sistema a modo de integrar la app y la plataforma, los datos obtenidos de la app (de sensores y de video) se comprimen en un formato que luego la plataforma reconoce para procesarlos.

*Fig. 5. Flujo de proceso dentro del sistema*



- **Actividad 6. Validación de la combinación de sensores inerciales y software para la detección de movimientos repetitivos.**

Por temas técnicos consensuados con ACHS y ESACH, se descartó la evaluación en esta etapa de trabajadores en entorno real, sino que se optó por realizar estas pruebas de usabilidad con personal ergónomos de ESACH quienes realizan los EPT en la región metropolitana, simulando diversas tareas y pasando por todo el proceso de toma de datos, carga de datos y generación de reportes.

En esta actividad se validó la combinación de hardware y software mediante la usabilidad por parte de los profesionales que realizan estos EPT, en términos procedimentales y de uso en su trabajo, posteriormente, se realizaron correcciones al sistema para facilitar la interacción con estos usuarios. El reporte en detalle de la actividad 6 se encuentra en los anexos al informe.

## **DESARROLLO DE LA INNOVACIÓN**

Las actividades se desarrollaron a tiempo hasta el final del proyecto, habiendo terminado la totalidad de las 6 actividades propuestas durante el plazo establecido de 16 meses. Así, hoy contamos con un 100% de ejecución del proyecto.

### **Aspectos éticos.**

Para dar cautela a que todas las pruebas con sujetos en laboratorio y/o ambientes de trabajo den cumplimiento a la Ley N° 20.584 de derechos y deberes del paciente, además de la Ley N° 19.628 de protección de datos de carácter personal; con fecha 8 de mayo de 2018 se logró la aprobación del comité de ética de la Facultad de Medicina de la Universidad de Chile, dicho documento se incorpora en los anexos al informe.

## RESULTADOS: DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS, DE ACUERDO A OBJETIVOS

### El producto

El producto final se compone de una combinación de hardware comercial y software desarrollado a medida, que permite la medición cuantitativa de movimientos repetitivos para establecer factores de riesgo en Estudios de Puesto de Trabajo (EPT), ayudando a precisar la consecuente la calificación o no como enfermedad laboral de patologías músculo-esqueléticas de extremidades superiores.

### Partes que componen el sistema

1. Sensores Inerciales comerciales: se optó por la adquisición de sensores inerciales, para esto se compraron en el mercado sensores inerciales cuyo kit de desarrollo para extremidades superiores (7 sensores), no superara los 3000 USD. Actualmente, si bien el sistema en su conjunto opera con los sensores marca Notch Inc., está diseñado para aceptar diversos protocolos de sensores, siendo independiente de la marca comercial.
2. Aplicación de toma de datos: corresponde al desarrollo realizado por nuestro equipo informático, que creó una *app* a medida en Android, generada a partir del SDK entregado por el fabricante de sensores inerciales Notch, esta *app* registra en video el EPT y almacena de forma sincronizada al video la data de los 7 sensores inerciales. Conjuntamente, visualiza un modelo corporal para determinar la correcta posición y calibración la calibración de sensores.
3. Plataforma web de reconocimiento de factores de riesgo: Plataforma desarrollada a medida donde se cargan los datos de sensores y video de cada siniestro y EPT y mediante algoritmos de reconocimiento, se detectan los siguientes factores de riesgo: movimientos repetitivos, posturas forzadas y posturas mantenidas. Posterior al análisis, la plataforma entrega un informe cuantitativo de los factores de riesgo que fueron reconocidos.

Fig. 6. App funcional. Recoge data de sensores inerciales y video en los EPT.

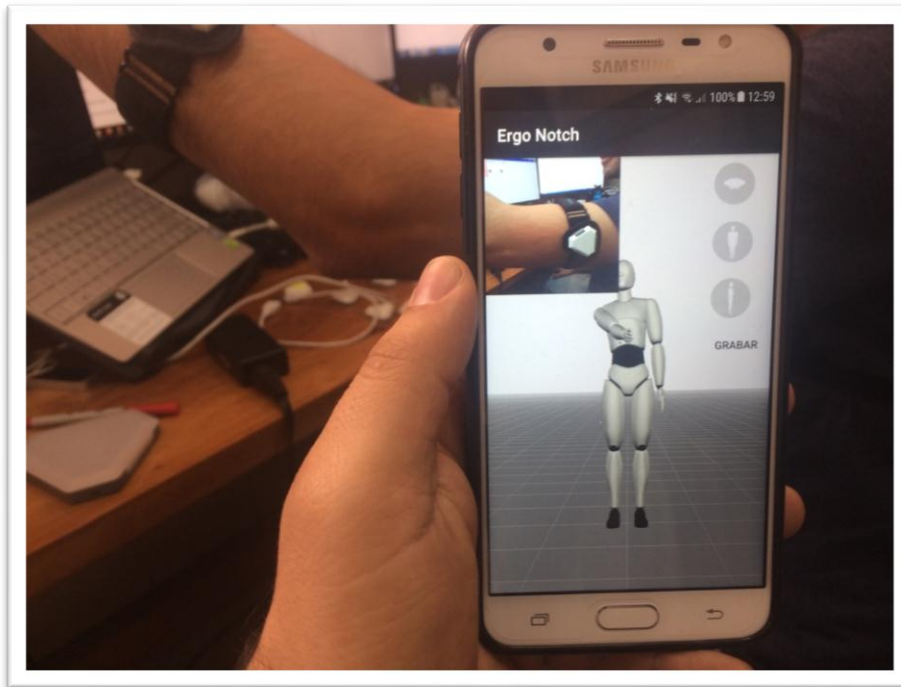


Fig. 7. Inicio de sesión en la plataforma de procesamiento de sensores y video.

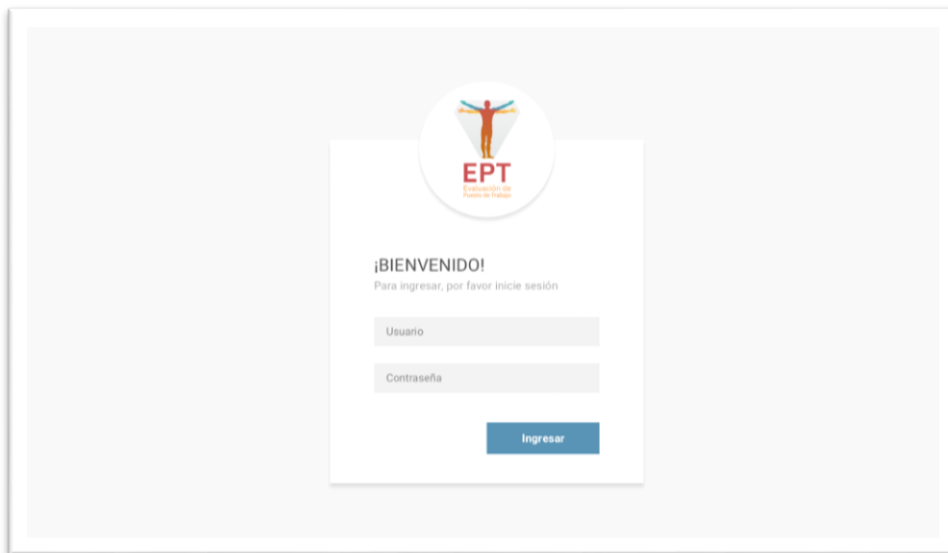


Fig. 8. Registro de cada EPT por trabajador en la plataforma

NOMBRE	R.U.T.	EMPRESA	FECHA DE REGISTRO	TIPO DE EPT		
Juan Pablo Pérez Jorquera	16.393.126-k	Agrosuper	20 de marzo a las 11:24 hrs.	Hombro		
Andrea Antonia Plaza Arancibia	12.443.665-1	Banco de Chile	2 de enero a las 17:44 hrs.	Muñeca		
Luis Andrés Mariplán Leliva	08.221.333-5	LAN	30 de julio a las 12:00 hrs.	Codo		
Javiera Silvana Pérez Zúñiga	15.661.260-8	Easy	7 de octubre a las 10:00 hrs.	Codo		
María Ignacia López Arriarán	14.224.440-2	La Polar	2 de marzo a las 15:14 hrs.	Muñeca		
Juan Esteban Cerda López	10.764.221-1	Lever	5 de abril a las 17:15 hrs.	Hombro		

Fig. 9. Detalle por trabajador en la plataforma

**DATOS DEL TRABAJADOR**  
Juan Pérez Jeria - Agrosuper

**Datos del trabajador**

Codo - 05/05/18

Hombro - 20/05/18

Mano/muñeca - 12/06/18

**Añadir EPT**

**Nombre**  
Juan Pérez Jeria

**Empresa**  
Agrosuper

**R.U.T.**  
18.393.226-k

**Lateralidad**  
Seleccionar...

Fig. 10. Detalle por tareas de cada trabajador en la plataforma


The screenshot displays a web interface for task management. At the top left is the EPT logo (Escuela de Promoción de Trabajadores). The main header shows the worker's name 'Juan Pérez Jeria - Agrosuper' and the task title 'HOMBRO - 20/05/2018'. On the left, a vertical sidebar contains a list of dates: '05/05/18', '20/05/18' (highlighted in orange), and '12/06/18'. Below these are buttons for 'Barrer', 'Cargar equipamie...', 'Subir escaleras', and 'Añadir EPT'. The main content area is divided into two sections. The top section, titled 'ID siniestro' and 'Fecha', contains a text input with '001234220' and a date dropdown menu set to 'DD/MM/AA'. The bottom section, titled 'Añadir microlabor', features a text input for 'Nombre...' and a green 'Añadir' button. To the right, a table titled 'Microlabores' lists tasks with 'Barrer', 'Cargar equipamiento', and 'Subir escaleras', each with 'Editar' and 'Eliminar' icons.

ID siniestro		Fecha	
001234220		DD/MM/AA	

Añadir microlabor		Microlabores	
Nombre...	Barrer	Editar	Eliminar
<input type="button" value="Añadir"/>	Cargar equipamiento	Editar	Eliminar
	Subir escaleras	Editar	Eliminar

Fig. 11. Detalle de resultados de detección de patrones de movimientos riesgosos en la plataforma


👤 🗨️

**HOMBRO - 20/05/2018 - MICROLABOR N°2**

Juan Pérez Jeria - Agrosuper

Datos del trabajador

05/05/18

20/05/18

Microlabor N°1

Microlabor N°2

Microlabor N°3

Mano/muñeca - 12/06/18

➕ Añadir EPT

**Observaciones**

El paciente presenta serie de complicaciones.

**Mismo paciente**

Si ▼

**Lateralidad**

Zurda ▼

**Tipo de sensor**

Notch ▼

📺 Cargar video

📄 Cargar data sensores

**Segmento**

Descargar PDF

Hombro ▼

**Análisis**

00:00 02:23

Repetición 5 por min.

Pronosupinación: 00:05 - 00:28

Flexión: 01:20 - 01:31

Postura forzada

No se encuentra postura forzada

Postura mantenida 2 por min.

Desviación radial: 01:03 - 01:24

Angulo: 28°

**Segmento**

Descargar PDF

Codo ▼

**Análisis**

00:00 02:23

Repetición 5 por min.

Pronosupinación: 00:05 - 00:28

Flexión: 01:20 - 01:31

Postura forzada 5 por min.

Pronosupinación: 00:05 - 00:28

Postura mantenida 2 por min.

Desviación radial: 01:03 - 01:24

Angulo: 28°

**Segmento**

Descargar PDF

Muñeca ▼

**Análisis**

00:00 02:23

Repetición 5 por min.

Pronosupinación: 00:05 - 00:28

Flexión: 01:20 - 01:31

Postura forzada

No se encuentra postura forzada

Postura mantenida 2 por min.

Desviación radial: 01:03 - 01:24

Angulo: 28°



### **Nivel de logro de objetivos**

Al finalizar este proyecto, tanto el objetivo general del proyecto como los objetivos específicos fueron cumplidos a cabalidad. Se validó el uso de sensores inerciales como herramienta complementaria en Estudios de Puestos de Trabajo (EPT) de la siguiente forma:

A partir de una revisión del estado del arte en 2017, se realizó una evaluación de sensores inerciales existentes en el mercado y se seleccionó el más adecuado a las condiciones de uso en los EPT en Chile, considerando la relación costo/efectividad.

Se desarrollaron software de reconocimientos de patrones de movimiento repetitivo para articulaciones de muñeca, codo y hombro: una *app* de captura de datos y una la plataforma de reconocimiento.

Se validó la combinación de hardware comercial y software desarrollado a medida para reconocer patrones de movimiento repetitivo como factores de riesgos en EPT, tanto con ergónomos externos, como con prestadores de servicios de ACHS.

## **CONCLUSIONES**

Finalizado el proyecto proyecto se ejecutaron todas las actividades para poder cumplir con los objetivos planteados, se cuenta con un producto final compuesto de una combinación de hardware y software validado con usuarios finales. Todas las actividades fueron ejecutadas oportunamente en los plazos de ejecución proyectados.

Actualmente, se acaba de dar inicio a un segundo proyecto de continuación, que busca mejorar las capacidades de reconocimiento de la plataforma, así como también dotarla de capacidades predictivas.

## REFERENCIAS

- Álvarez, D., Alvarez, J. C., González, R. C., & López, A. M. (2016). Upper limb joint angle measurement in occupational health. *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering*, 19(2), 159–170.
- Balogh, I., Ørbaek, P., Ohlsson, K., Nordander, C., Unge, J., Winkel, J., ... Malmö Shoulder/Neck Study Group. (2004). Self-assessed and directly measured occupational physical activities--influence of musculoskeletal complaints, age and gender. *Applied Ergonomics*, 35(1), 49–56.
- Córdova, V. Cerda, E & Rodríguez, C. (2010). *Guía Técnica para la Evaluación del Trabajo Pesado*. (S. de Pensiones, Ed.). Superintendencia de Pensiones.
- David, G. C. (2005). Ergonomic methods for assessing exposure to risk factors for work-related musculoskeletal disorders. *Occupational Medicine*, 55(3), 190–199.
- Filippeschi, A., Schmitz, N., Miezal, M., Bleser, G., Ruffaldi, E., & Stricker, D. (2017). Survey of Motion Tracking Methods Based on Inertial Sensors: A Focus on Upper Limb Human Motion. *Sensors*, 17(6). <https://doi.org/10.3390/s17061257>
- Losa, M., Picerno, P., Paolucci, S., & Morone, G. (2016). Wearable inertial sensors for human movement analysis. *Expert Review of Medical Devices*, 13(7), 641–659.
- Kilbom, A. (1994). Assessment of physical exposure in relation to work-related musculoskeletal disorders--what information can be obtained from systematic observations? *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, 20 Spec No, 30–45.
- Mancini, M., Chiari, L., Holmstrom, L., Salarian, A., & Horak, F. B. (2016). Validity and reliability of an IMU-based method to detect APAs prior to gait initiation. *Gait & Posture*, 43, 125–131.
- Mathiassen, S. E., Liv, P., & Wahlström, J. (2013). Cost-efficient measurement strategies for posture observations based on video recordings. *Applied Ergonomics*, 44(4), 609–617.
- Ministerio de Salud. *Norma Técnica para la Identificación y Evaluación de factores de riesgo de TMERT-EESS.2012*. (online)  
<https://www.minsal.cl/portal/url/item/cbb583883dbc1e79e040010165014f3c.pdf>
- Peppoloni, L., Filippeschi, A., Ruffaldi, E., & Avizzano, C. A. (2016). A novel wearable system for the online assessment of risk for biomechanical load in repetitive efforts. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 52, 1–11.

Sabatini, A. M. (2011). Kalman-filter-based orientation determination using inertial/magnetic sensors: observability analysis and performance evaluation. *Sensors*, 11(10), 9182–9206.

Superintendencia de Pensiones. Guía técnica para la evaluación el trabajo pesado 2010 (online). [https://www.spensiones.cl/portal/institucional/594/articles-12791\\_guia\\_tecnica\\_evaluacion.pdf](https://www.spensiones.cl/portal/institucional/594/articles-12791_guia_tecnica_evaluacion.pdf)

Superintendencia de Seguridad Social. Informe de estadísticas de Seguridad Social 2017 (online). [http://www.suseso.gob.cl/607/articles-496701\\_archivo\\_01.pdf](http://www.suseso.gob.cl/607/articles-496701_archivo_01.pdf)

Vignais, N., Miezal, M., Bleser, G., Mura, K., Gorecky, D., & Marin, F. (2013). Innovative system for real-time ergonomic feedback in industrial manufacturing. *Applied Ergonomics*, 44(4), 566–574.

## **ANEXOS AL INFORME**

**Anexo 1. Carta aprobación de Comité de Ética de la Facultad de Medicina de la Universidad de Chile.**



1/2

**UNIVERSIDAD DE CHILE - FACULTAD DE MEDICINA**  
**COMITÉ DE ÉTICA DE INVESTIGACIÓN EN SERES HUMANOS**

**ACTA DE APROBACIÓN**  
**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN SERES HUMANOS**

(Documento en versión 1 corregida 15.01.2018)

Con fecha 08 de Mayo de 2018, 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  
Dr. Hugo Amigo C., PhD., Especialista en Salud Pública, Vicepresidente  
Prof. Gina Raineri B., Abogado y Enfermera-Matrona, Mg. Bioética, Secretaria Ejecutiva  
Dra. Lucia Cifuentes O., Médico Genetista  
Sra. Claudia Marshall F., Educadora, Representante de la comunidad.  
Dra. Grisel Orellana, Médico Neuropsiquiatra  
Prof. Julieta González B., Bióloga Celular  
Dra. María Angela Delucchi Bicocchi, Médico Pediatra Nefrólogo.  
Dr. Miguel O'Ryan, Médico Infectólogo  
Prof.ª Maria Luz Bascuñán Psicóloga PhD, Prof. Asociado.

Ha revisado el Proyecto de Investigación titulado: "**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**". Y cuyo investigador responsable es el Prof. Hachi Manzur Valdivia, quien desempeña funciones en el Instituto de Neurociencia Biomédica, Facultad de Medicina, Universidad de Chile.

El Comité revisó los siguientes documentos del estudio:

- *Proyecto de investigación in extenso.*
- *CV del investigador responsable y de los Co-investigadores.*
- *Carta de aceptación de las autoridades de las instituciones en que se realizará el estudio*
- *Consentimiento Informado.*
- *Carta compromiso del investigador para comunicar los resultados del estudio una vez finalizado éste.*

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 estudiada: No cautiva, no terapéutica
- b) Utilidad del Proyecto: Sí
- c) Riesgos y Beneficios: Balanceados, riesgo bajo
- d) Protección de los participantes (asegurada por el Consentimiento Informado): Sí
- e) Notificación oportuna de reacciones adversas: No Aplica

Teléfono: 29789536 - Email: [comiteceish@med.uchile.cl](mailto:comiteceish@med.uchile.cl)





- f) El investigador responsable se ha comprometido a entregar los resultados del estudio a este Comité al finalizar el proyecto: Sí
- g) Requiere seguimiento Site Visit : Si  No  X Tiempo estimado\_Nº de visitas

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 04 de Mayo de 2018, que se adjunta firmado, fechado y timbrado por este CEISH.

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 un año a contar desde la fecha de aprobación prorrogable según informe de avance y seguimiento bioético.

Lugar de realización del estudio: Instituto de Neurociencia Biomédica, Facultad de Medicina, Universidad de Chile.

Santiago, 08 de Mayo de 2018.

UNIVERSIDAD DE CHILE  
COMITÉ DE ÉTICA  
PARA INVESTIGACIONES  
EN SERES HUMANOS  
FACULTAD DE MEDICINA  
**Dr. Hugo Amigo Cartagena**  
Vicepresidente CEISH

Archivo Proyecto Nº 190-2017  
Acta Nº021

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

08 MAY 2018

**Anexo 2. Informe final de Actividad 3.**

**Informe final de actividad 3:**

**Proyecto: “Uso de sensores inerciales como herramienta complementaria en Estudios de Puesto de Trabajo (EPT) en Chile, para la medición cuantitativa de movimiento repetitivo como factor de riesgo en la calificación de patologías músculo-esquelética de extremidades superiores”**

**Código: ACHS-210-2017**

**Autores: Hachi Manzur Valdivia.  
Pablo Burgos Concha.  
José Carrasco Plaza.**



## **Introducción.**

El presente proyecto busca validar mediciones cuantitativas de sensores inerciales de menor costo en extremidades superiores como un complemento a los Estudios de Puesto de Trabajo (EPT), a modo de ayudar a la determinación objetiva de la existencia de factor de riesgo por movimientos repetitivos, específicamente en articulaciones de muñeca, codo y hombro. Para lograr esto, buscaremos validar el uso de sensores inerciales comerciales en extremidades superiores para estos fines, a modo de registrar patrones de movimientos repetitivos por intervalos de tiempo más prolongados que la EPT y donde el trabajador no se sienta observado como ocurre actualmente.

Actualmente en Chile, el alto precio de los sensores inerciales de grado clínico es una barrera para utilizar esta tecnología de forma masiva, he ahí la importancia de validar sensores de menor costo respecto a la tecnología estándar (Xsens MTw Awinda)

### **Actividad 3. Evaluación de dispositivos sensores inerciales para detección de movimientos repetitivos de articulaciones de muñeca, codo y hombro.**

A la fecha, se han ejecutado 3 de las 6 actividades del proyecto. La actividad 3 busca completar el siguiente objetivo específico del proyecto. *“Evaluar sensores inerciales existentes en el mercado y seleccionar los más adecuados a las condiciones de uso en los EPT en Chile, considerando la relación costo/efectividad.”*

Los parámetros considerados en la evaluación comparativa de sensores inerciales fueron:



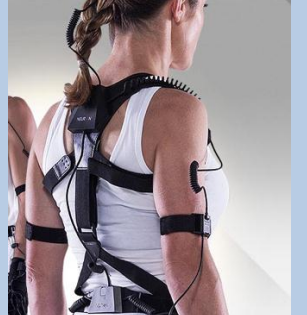
- Máxima tasa de muestreo
- Precisión
- Relación señal/ruido
- Tasa de fallos
- Pérdida de señal
- Facilidad de uso

Se realizaron pruebas de laboratorio controladas para determinar los parámetros anteriores con los sensores seleccionados, comparando los sensores de la marca Xsens con respecto a los sensores inerciales de las marcas Notch y Noitom.

### Metodología experimental

#### Sensores.

Tabla 1. Sensores inerciales prospectados.

Marca	Modelo	Características	
Xsens	MTw Awinda	Modelo estándar más utilizado en investigación, del alto costo y precisión. Será comparado con otros sensores inerciales de menor valor.  Sistema de múltiples sensores inerciales inalámbricos que transmiten vía protocolo cerrado Awinda directamente a un receptor conectado a un pc. El precio de un KIT completo de desarrollo (6 sensores) y software, bordea los 6 millones de pesos.	
Notch	Notch	Sistema de múltiples sensores inerciales inalámbricos que transmiten vía bluetooth a un teléfono celular Android o los almacenan en cada sensor mediante tarjetas microSD. El precio de un kit completo de desarrollo (6 sensores) y software alcanza los 400 dólares.	
Noitom	Perception Neuron	Sistema de múltiples de sensores inerciales conectados por cable a un Hub, el que transmite vía Wi-Fi a un PC los datos o los almacena en una tarjeta microSD ubicada dentro del mismo Hub. El precio de un KIT completo de desarrollo (32 sensores) y software alcanza los 1.500 dólares.	

Fuente: Elaboración propia a partir de información de catálogos online y cotizaciones.

Xsens: Entrega datos de aceleración lineal, aceleración angular, campo magnético y grados con respecto a una referencia o posición inicial. Xsens tiene una tasa de captura de 120 Hz. puede modificarse hasta un máximo de 1000Hz La batería tiene una autonomía de 6 horas aproximadamente. Entrega datos en tiempo real y en formato csv con las variables antes mencionadas. Cada Xsens se posiciona en un segmento corporal a través de amarras.

Notch: Entrega datos de aceleración lineal y angular filtrando el efecto de la gravedad. Además, entrega grados con respecto a una referencia o posición inicial. Notch tiene una tasa de captura modificable entre un rango de 5 a 500 Hz en la aplicación al configurar la posición de los sensores. Al adquirir la licencia, se puede acceder a las opciones de desarrollador (SDK) la cual permite modificar o crear una aplicación con el uso de los sensores inerciales Notch. La batería de cada Notch tiene una autonomía que depende de la frecuencia de captura y del espacio de memoria. Los datos son exportados en formato csv y en un video que se visualiza en la aplicación en celular y de escritorio la cual crea un modelo en tres dimensiones de los movimientos realizados. Cada Notch se posiciona con amarras a segmentos corporales determinadas en la configuración de la aplicación. La autonomía de batería y espacio de memoria dependen de la frecuencia de captura.

Tabla 2. Autonomía de batería y espacio de memoria dependiendo de la frecuencia de captura.

Frecuencia de captura	Tiempo máximo de captura
40 Hz	80 minutos
100 Hz	30 minutos
500 Hz	6 minutos

Noitom: Entrega datos de posición, velocidad, aceleración lineal, aceleración angular, cuaterniones y grados con respecto a una referencia o posición lineal. Noitom puede capturar a 120Hz al tener 17 sensores conectados como máximo. Posee la opción de desarrollador (SDK) para modificar o crear una aplicación con el uso de los sensores. Tiene la opción de estar conectado directamente al computador y otra conectada al Hub la cual requiere de una batería externa y de una tarjeta de memoria. La autonomía de la batería depende de la cantidad de celdas y del tamaño de la tarjeta de memoria. Se deben visualizar los datos capturados posterior a ser exportados en el software Axis Neuron. También, se puede exportar los datos en formato “.calc” y en un video que puede ser visualizado solo en el programa Axis Neuron.

### **Laboratorio donde se llevaron a cabo las pruebas.**

Se utilizó el laboratorio de marcha del departamento de Kinesiología de la Universidad de Chile para medir la cinemática de un brazo con movimiento determinado por un servo con marcadores y cámaras optoelectrónicas. Esta medición con marcadores es una medición complementaria en la comparación de los sensores.

### **Gold Standard.**

La medición con cámaras optoelectrónicas es el Gold Standard para determinar con exactitud las variables cinemáticas que han sido utilizados en análisis de movimiento en contexto clínico, por ejemplo, para medir la marcha de un sujeto sano o con algún

diagnóstico de enfermedad neurológica, carrera en un deportista, movimientos de extremidades superiores, entre otros. Por esta razón, fue considerada la comparación contra este dispositivo de medición óptica (Modelo BTS Bioengineering SMART-D).

## Brazo mecánico.

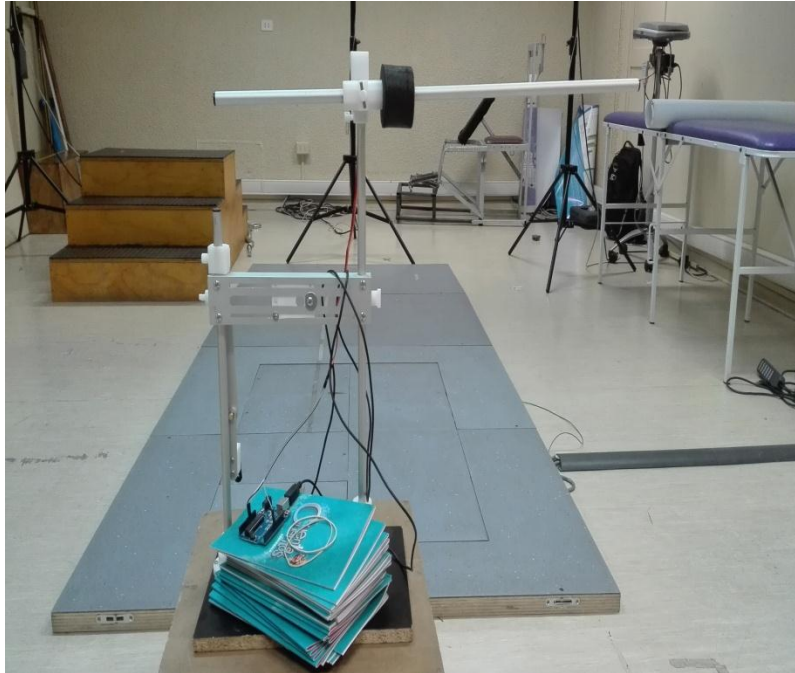


Figura 1. Brazo-Servo

Se desarrolló un brazo mecánico (Figura 1) controlado por un servo programado en microcontrolador Arduino (microcontrolador atmega328, Arduino Uno R3). Posee una base, un brazo fijo y un brazo móvil. El brazo móvil se encuentra adosado al servo. El servo nos entrega la capacidad de realizar un movimiento controlado, conocido y reproducible en el tiempo en un eje determinado, el que posteriormente fue registrado por los distintos sensores inerciales y cámaras optoelectrónicas.

El servo está programa para realizar un movimiento de  $90^\circ$  y mantenerse por 5 segundos en esa posición. Posteriormente realiza un movimiento hasta los  $30^\circ$  con respecto al brazo fijo. Por último, realiza un movimiento controlado entre  $90^\circ$  y  $30^\circ$  por 10 veces de forma seguida y comienza nuevamente el ciclo.

## Código.

Este código utilizado en el microcontrolador Arduino fue el siguiente:

```
// 22 / 12 / 2018
// Autor José Carrasco
// Windows 8.1

#include <Servo.h> // import Servo library

Servo myservo; // create servo object to control a servo
               // twelve servo objects can be created on most boards

int pos = 0; // variable to store the servo position
int x = 0;

void setup()
{
  myservo.attach(9); // attaches the servo on pin 9 to the servo object
}

void loop()
{

  myservo.write(80); // 90° aprox from the base arm
  delay(5000); // five seconds of pause
  myservo.write(140); // 30° aprox from the base arm
  delay(5000); // five socond of pause

  for(x = 0; x <= 10; x += 1) // 10 times
  {
    for(pos = 70; pos <= 140; pos += 1) // goes from 0 degrees to 180 degrees
    {
      // in steps of 1 degree
      myservo.write(pos); // tell servo to go to position in variable 'pos'
      delay(15); // waits 15ms for the servo to reach the position
    }
    for(pos = 140; pos >= 70; pos -= 1) // goes from 180 degrees to 0 degrees
    {
      myservo.write(pos); // tell servo to go to position in variable 'pos'
      delay(15); // waits 15ms for the servo to reach the position
    }
  }
}
```

### Uso de marcadores.

Para que las cámaras del BTS Bioengineering SMART-D (figura 2) detecten el movimiento, se utilizan marcadores (figura 3) que luego son analizados en un sistema cartesiano de tres dimensiones. El brazo fijo tiene tres marcadores al igual que el brazo móvil.

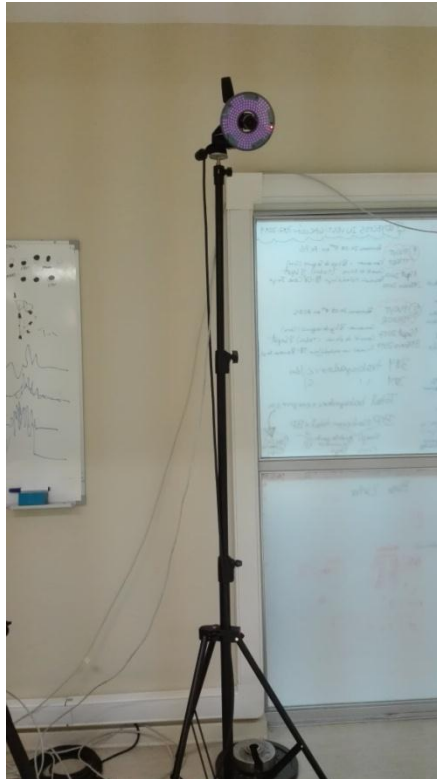


Figura 2. Cámaras BTS Bioengineering

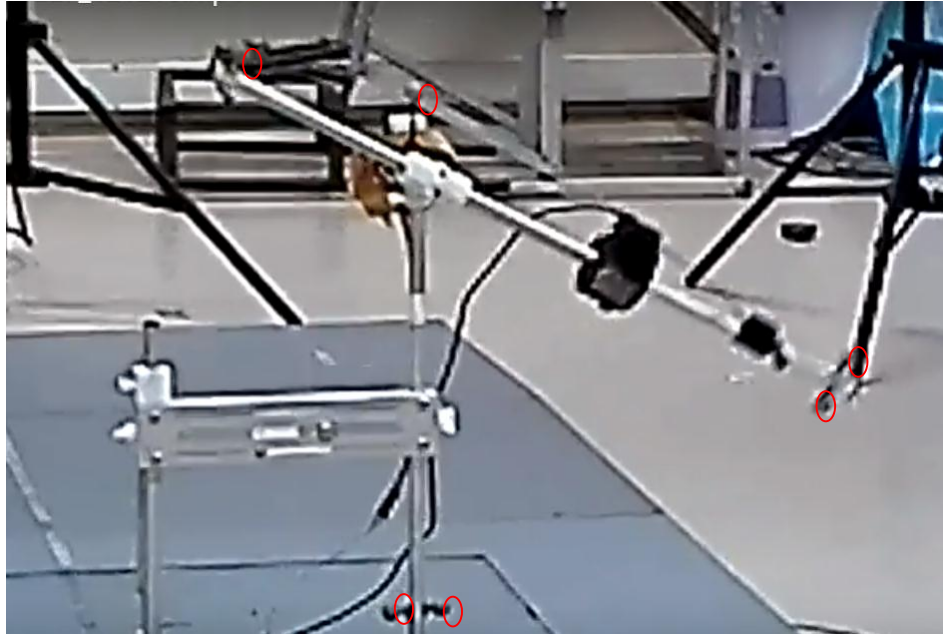


Figura 3. Posición de los marcadores.

Fueron obtenidas las coordenadas de cada marcador y los ángulos fueron procesados por el software SMART-Analyzer. Los datos se exportan en un archivo ".emt". Con el Software MATLAB se realiza gráficos de los marcadores, procesamiento de señales y métodos de comparación.

El servo solo tiene movimiento en un grado de libertad, en un plano en específico. Solo se comparan los grados entregados por el sistema BTS, y los sensores inerciales.



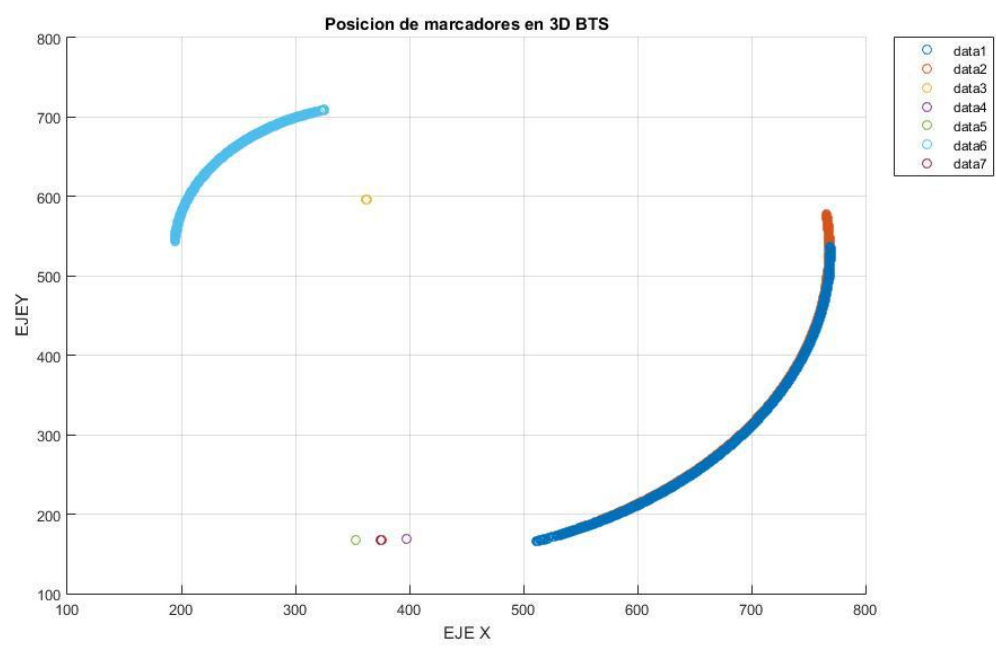
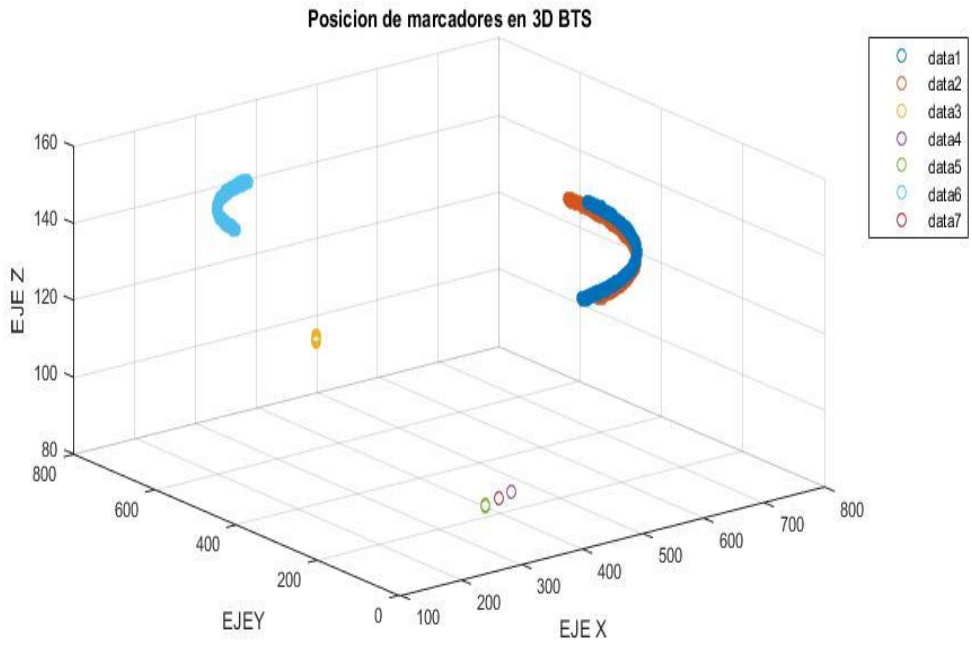


Figura 4. Posición de los marcadores capturas por sistema BTS.

## Resultados.

A continuación, se muestra los resultados del movimiento del brazo adosado al servo, con las distintas mediciones anteriormente detalladas con el sistema BTS, Xsens, Notch y Noitom. Se determina el inicio y fin de un ciclo de movimiento. Esto permite comparar sus resultados y ver la diferencia entre los distintos sistemas de medición. El resultado de la Figura 5 se encuentra los resultados de los grados de cada sensor con respecto al mismo punto de referencia, el brazo fijo.

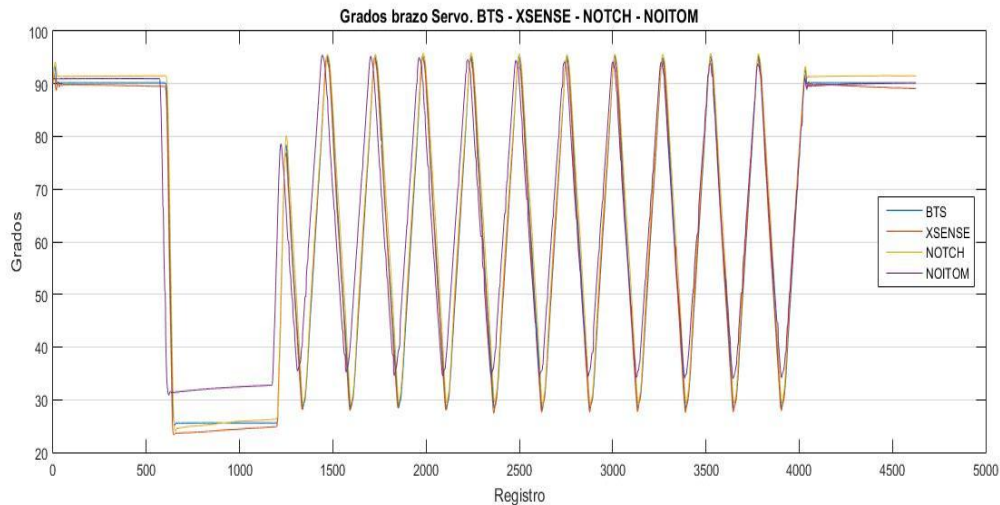
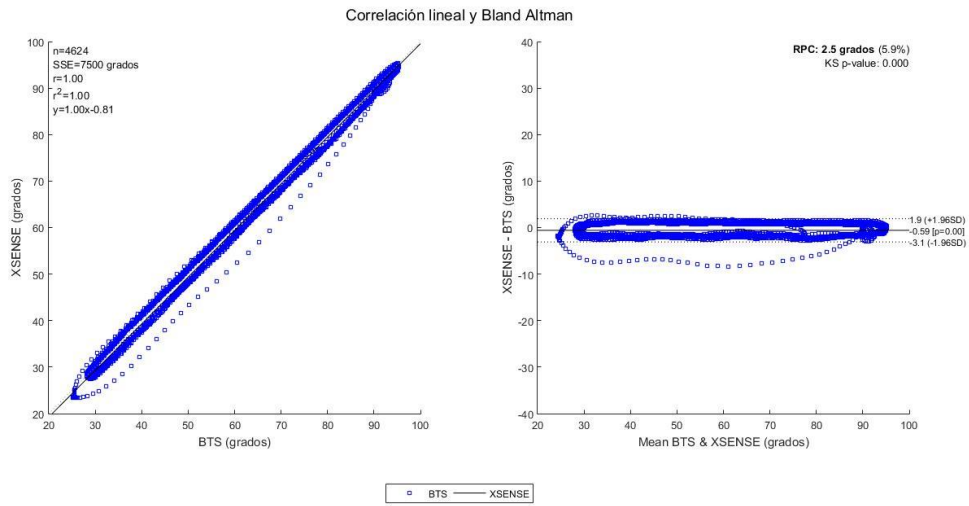


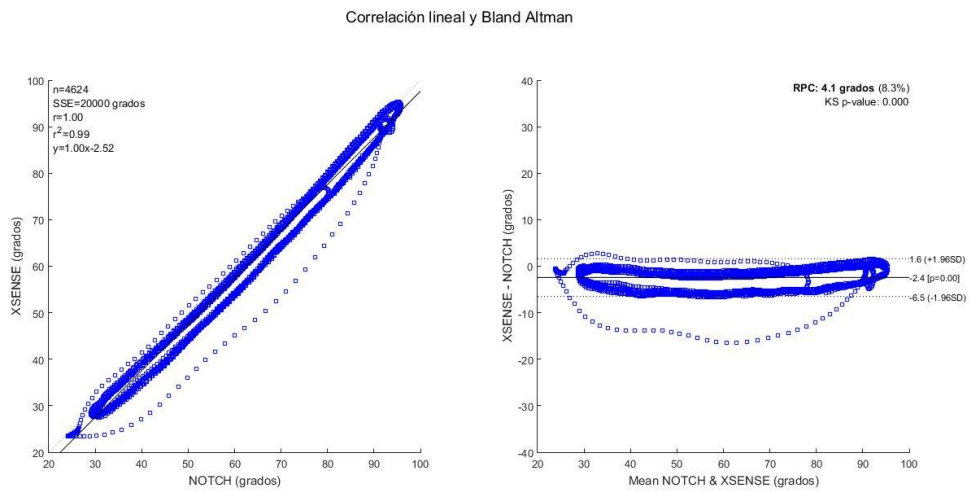
Figura 5. GRADOS DEL BTS – XSens – Notch - Noitom

Para determinar qué sistema de sensores inerciales tiene menor diferencia o error se utilizó una metodología estadística Bland-Altman. Este determina el grado de acuerdo entre dos metodologías de medición para una misma variable a través del cálculo y la desviación estándar de la diferencia entre los dos métodos. El resultado es un gráfico de dispersión que en el eje X representa la diferencia entre los valores de los dos métodos, y el eje Y es el promedio de los valores de los dos métodos. Los valores deben encontrarse entre los límites de acuerdo, que son  $\pm 2$  desviaciones estándar del promedio de la diferencia de los valores entre métodos.

## BTS -XSENSE



## XSENSE – NOTCH



## XSENSE – NOITOM

Correlación lineal y Bland Altman

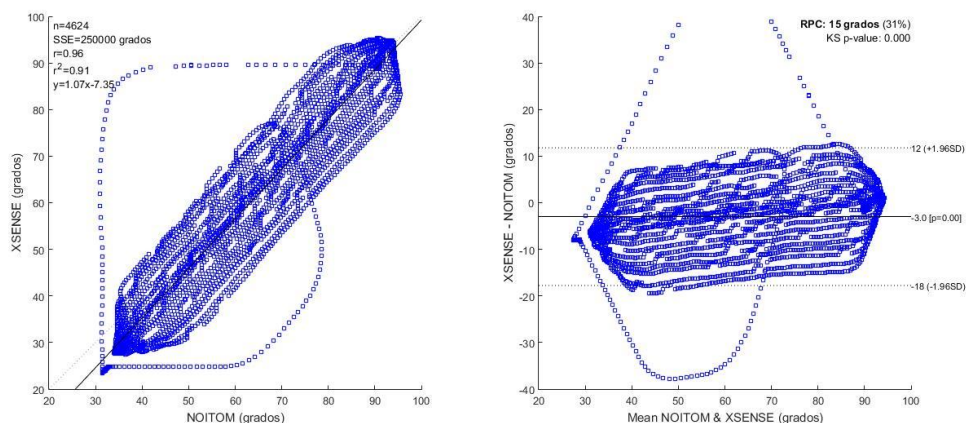


Figura 6. Correlación lineal y Bland-Altman para los sensores

A nivel de precisión de la medición de grados de movimiento, el sistema de sensores inerciales Noitom es el que más desviación estándar posee en la diferencia de valores obtenidos comparado con el Xsens, esto quiere decir que es el que menos grado de acuerdo tiene con respecto al sistema validado de análisis de movimientos con sensores inerciales.

Como conclusión de los resultados de las comparaciones de las mediciones. La que tiene menos error comparado con el sistema de sensores inerciales Xsens es el equipo de la marca Notch.

El sistema Noitom tiene un mayor error en las mediciones, además de esto existe un desfase en las mediciones y una señal con “drift”, un pendiente que entrega una ganancia en las mediciones continuas lo cual se traduce en un error acumulativo en el tiempo.

### Selección de dispositivo.

Para la toma de decisión sobre cual dispositivo tiene Se evaluaron 6 variables de desempeño relevantes en el uso de estos dispositivos, medidas en una escala de 1 a 5. Todas las variables tienen igual ponderación.

Con respecto al máximo tasa de muestreo, la mínima cantidad de frecuencia que se requiere para capturar o medir un movimiento es de 120Hz con lo que respecta a metodología científica. Cada uno de los sistemas cumple con el requerimiento mínimo. Es importante tener en cuenta que Notch tiene la ventaja de poder modificar estas frecuencias de captura lo cual nos permite grabar por más tiempo y manipular la autonomía de las baterías de cada Notch y aprovechar el espacio de almacenamiento máximo de cada sensor.

Con respecto a la precisión, los datos obtenidos del análisis de Bland-Altman permiten observar primero que los datos del Xsens tienen un grado de acuerdo fuerte con respecto al sistema de BTS que es el Gold Standard para mediciones cinemáticas en análisis de movimiento clínico. Esto se encuentra reportado en la literatura científica y valida el uso de los sensores Xsens como opción. Entre Notch y Noitom, el sistema Notch es el que más grado de acuerdo tiene con respecto a Xsens, siendo más preciso que el sistema de la marca Noitom.

A nivel de la relación señal/ruido y complementado con la tasa de fallos, Notch y Noitom pueden llegar a tener señales contaminadas debido a los sistemas electrónicos del entorno causando que la medición se detenga o que los sistemas obliguen a recalibrar para continuar con la medición. El sistema Notch detecta cuando existe ruido para recalibrar o alejarse de objetos que produzcan ruido electromagnético en los sensores como por ejemplo computadoras, teclado, mouse, luces, etc. Noitom también detecta estos ruidos, sin embargo, si se utiliza el sistema con Hub para grabar sin estar conectado al computador, este ruido se detecta solo cuando se exporte la medición.

Finalmente, respecto a la facilidad de uso, hay diferencias en el diseño entre los dispositivos que repercuten en la movilidad y facilidad de colocar los sensores en el cuerpo. Notch y Xsens tienen amarras las cuales pueden ser posicionadas los sensores en los segmentos con bastante facilidad. Al ser comunicación inalámbrica, el posicionamiento y sincronización es sencillo. Configurar una cantidad de sensores para crear o capturar un movimiento con los sensores Notch es sencillo y flexible. Noitom tiene guantes especiales para posicionar los sensores en muñecas y un “armazón” para los hombros, tórax, lumbar y el segmento sacro, además de que los cables para conectar y sincronizar cada sensor al Hub agregan un artefacto de movimiento en las señales capturadas y puede causar “tirones” de los cables si hay entornos u objetos que sobresalgan aumentando la posibilidad de dañar el equipo. Los sensores de la empresa Noitom, si desea capturar la información del hombro, debes de todas formas utilizar el “armazón” de tronco completo lo cual disminuye la flexibilidad y sencillez de los registros. Notch en cambio, es un equipo completamente inalámbrico.

Tabla 3. Puntajes

	Xsens	Notch	Noitom
<b>Máxima tasa de muestreo</b>	5	5	5
<b>Precisión</b>	5	4	3
<b>Relación señal/ruido</b>	4	2	2
<b>Tasa de fallos</b>	4	4	5
<b>Pérdida de señal</b>	5	4	2
<b>Facilidad de uso</b>	3	5	3
<b>Total</b>	26	24	20

## **Conclusión**

Se selecciona el sensor de la marca Notch al poseer el mayor puntaje global entre los sensores inerciales evaluados contra Xsens, destacando un grado de precisión muy similar a XSens y su facilidad de uso.

**Anexo 3. Informe final de Actividad 4.**

**Informe final de actividad 4:**

**Proyecto: “Uso de sensores inerciales como herramienta complementaria en Estudios de Puesto de Trabajo (EPT) en Chile, para la medición cuantitativa de movimiento repetitivo como factor de riesgo en la calificación de patologías músculo-esquelética de extremidades superiores”**

**Código: ACHS-210-2017**

**Autores: Pablo Burgos Concha.  
José Carrasco Plaza.**

## Antecedentes

Durante la investigación y desarrollo del proyecto, se consultó con los usuarios futuros de esta herramienta. El día 20 de Marzo de 2018 fue realizada una reunión para presentar los avances con el equipo de evaluación de puesto de trabajo de la ACHS. Parte de las necesidades reportadas no solo va dirigido a la detección de movimiento repetitivo como factor de riesgo en sus evaluaciones de puesto de trabajo, recalcaron y destacaron el uso de este proyecto para la evaluación y medición de posturas mantenidas y posturas forzadas a nivel de miembro superior.

Por lo tanto, parte de esta actividad consideró no solo determinar movimientos repetitivos de miembro superior utilizando una menor cantidad de sensores. También analiza la posibilidad de utilizar una menor cantidad de sensores para determinar ángulos para postura mantenida y forzada de las articulaciones de muñeca, codo y hombro.

En la revisión bibliográfica realizada en las primeras actividades, para medir el ángulo de una articulación, requiere de marcadores o información de la disposición en el espacio de los segmentos que componen la articulación. (Abu-Faraj, Harris, Smith, & Hassani, 2015). En este caso, para determinar el grado de movimiento de la articulación del hombro requiere de información del segmento del cingulo pectoral y del brazo, para la articulación del codo requiere de la información espacial del segmento brazo y del antebrazo. Finalmente, para la articulación de la muñeca requiere de información espacial del segmento antebrazo y mano.

Para predecir ángulos de las articulaciones, la evidencia científica permite realizarlo solo en tareas cíclicas. (Kutilek & Farkasova, 2011)

Para determinar los ángulos de las articulaciones de interés para el proyecto, debe existir cada uno de los sensores en cada segmento. (Filippeschi et al., 2017), a menos que exista una definición de estados ya conocidos (Biswas et al., 2015)

Para movimiento repetitivo su análisis y clasificación ya se ha trabajado umbrales de detección de ciclos. (Lu & Ferrier, 2004) aunque el trabajo esté realizado en un gesto deportivo en el karate, los autores comentan la utilización y potencialidad de esta herramienta en el área de la ergonomía.

Lo realizado en este reporte es la medición de un movimiento de hombro con características de movimiento repetitivo y observar si puede ser detectado por otros sensores inerciales posicionados en el segmento mano. Para detectar movimiento repetitivo, del segmento hombro, este por continuidad del segmento debe poder sensar el movimiento desde la mano.



## Experimento

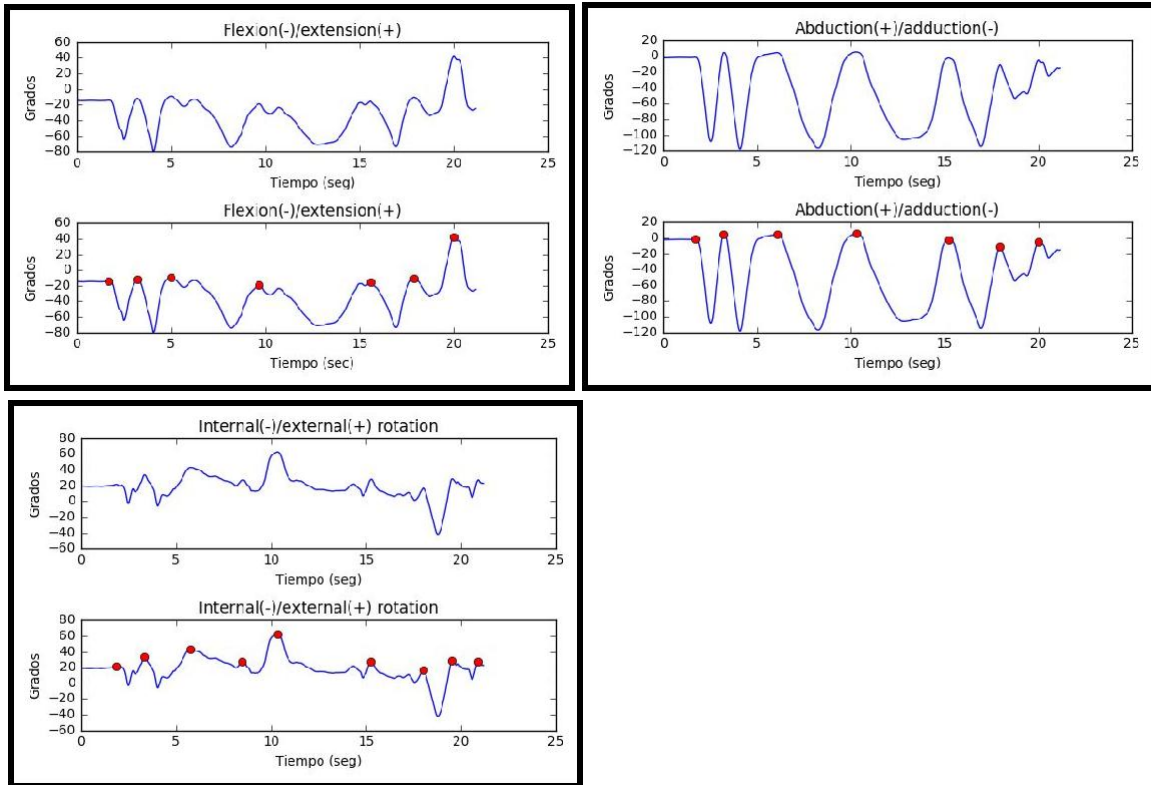
Se realizó una medición de un sujeto sano sin patologías musculoesqueléticas. La prueba consistió en un movimiento controlado en posición bípeda con la siguiente instrucción “permanecer en el lugar y mueve tu hombro desde posición neutra a 90 grados de separación en el plano frontal manteniendo el codo entre flexión de 90 grados y 30 grados en el plano sagital y mantener en posición neutra la muñeca”. El sujeto practicó la tarea 2 veces antes de grabar con 4 sensores inerciales NOTCH. La posición de los sensores es uno en la línea media del esternón, el segundo en la línea media de la cara anterior del brazo derecho y es posicionado 4 través de dedos sobre la fosa cubital, el tercero en la cara lateral del antebrazo derecho sobre el estiloides radial y por último un sensor en la cara lateral del segundo metacarpo en la mano derecha (debe mantener oposición del pulgar). Los datos fueron capturados y procesados en la aplicación Android Notch Companion y en Python. Esta disposición de los sensores nos permite obtener las siguientes variables:

- Angulos
  - Hombro derecho
    - Flexión / Extensión
    - Separación / Aproximación
    - Rotación Medial / Lateral
  - Codo derecho
    - Flexión / Extensión
    - Supinación / Pronación
  - Muñeca derecho
    - Flexión palmar / Flexión Dorsal
    - Radialización / Ulnarización
- Sensores
  - Mano derecho
    - Aceleración [ Eje X, Eje Y, Eje Z]
    - Giroscopio [Eje X, Eje Y, Eje Z]

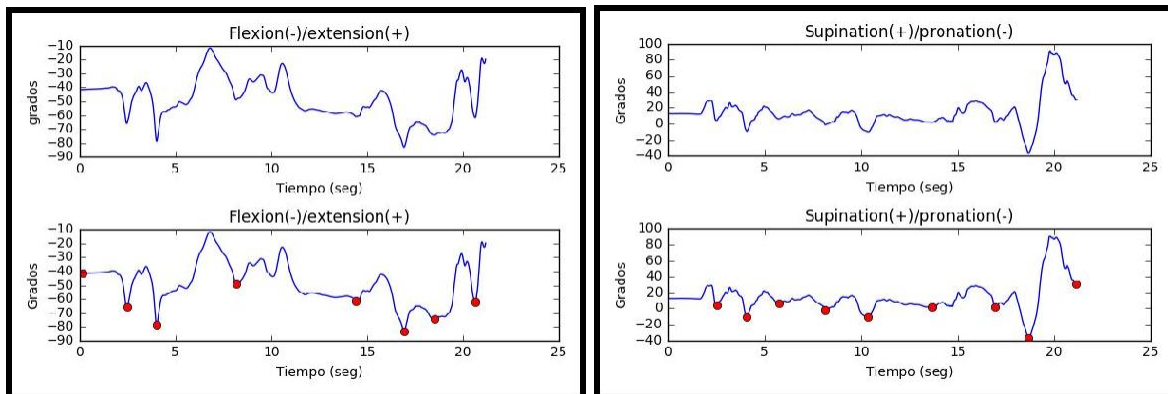
La frecuencia de captura utilizada fue de 50 Hz. Los datos de ángulos, aceleración y velocidad angular son procesadas y se detectan los peak de cada uno de los movimientos con una función `scipy.signal.argrelm` que detecta máximos o mínimos relativos en un segmento en específico en las distintas variables del movimiento ya antes descrito.

# Discusión de Resultados

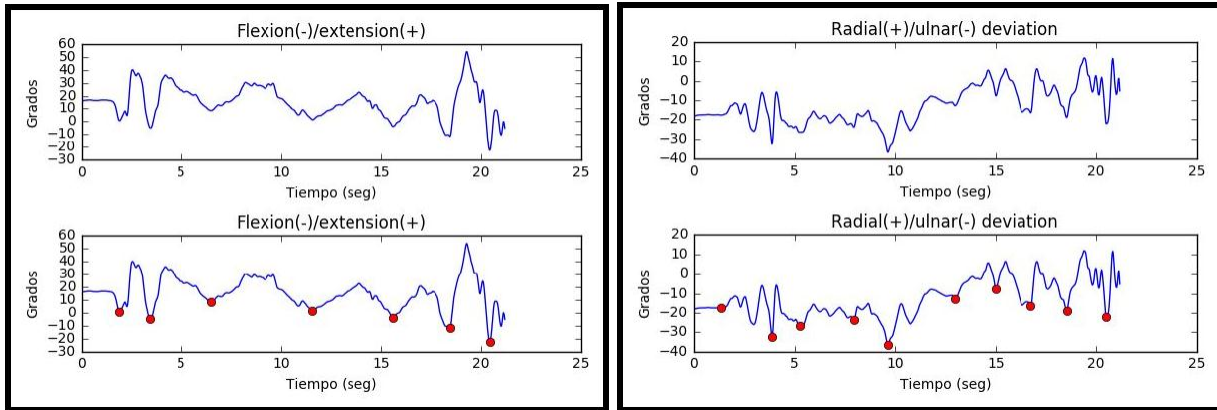
## Ángulos de hombro derecho



## Ángulos de codo derecho

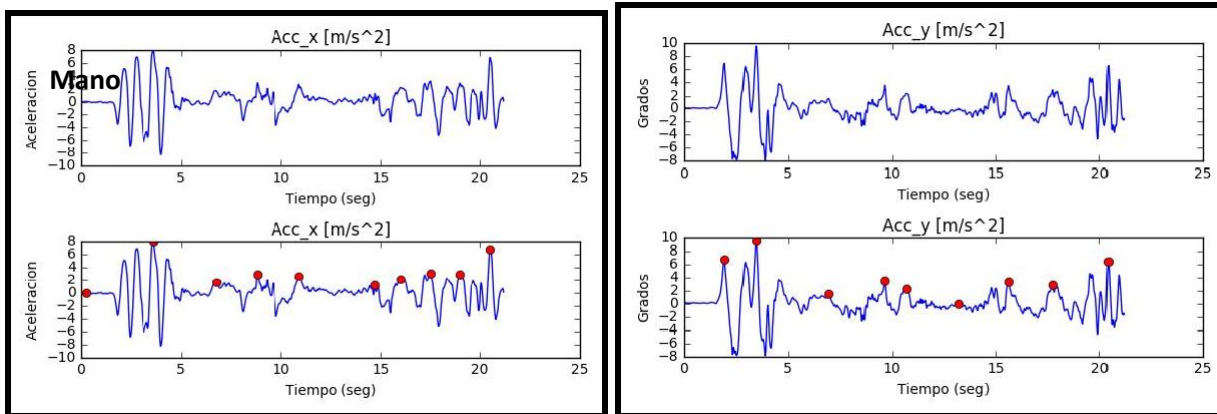


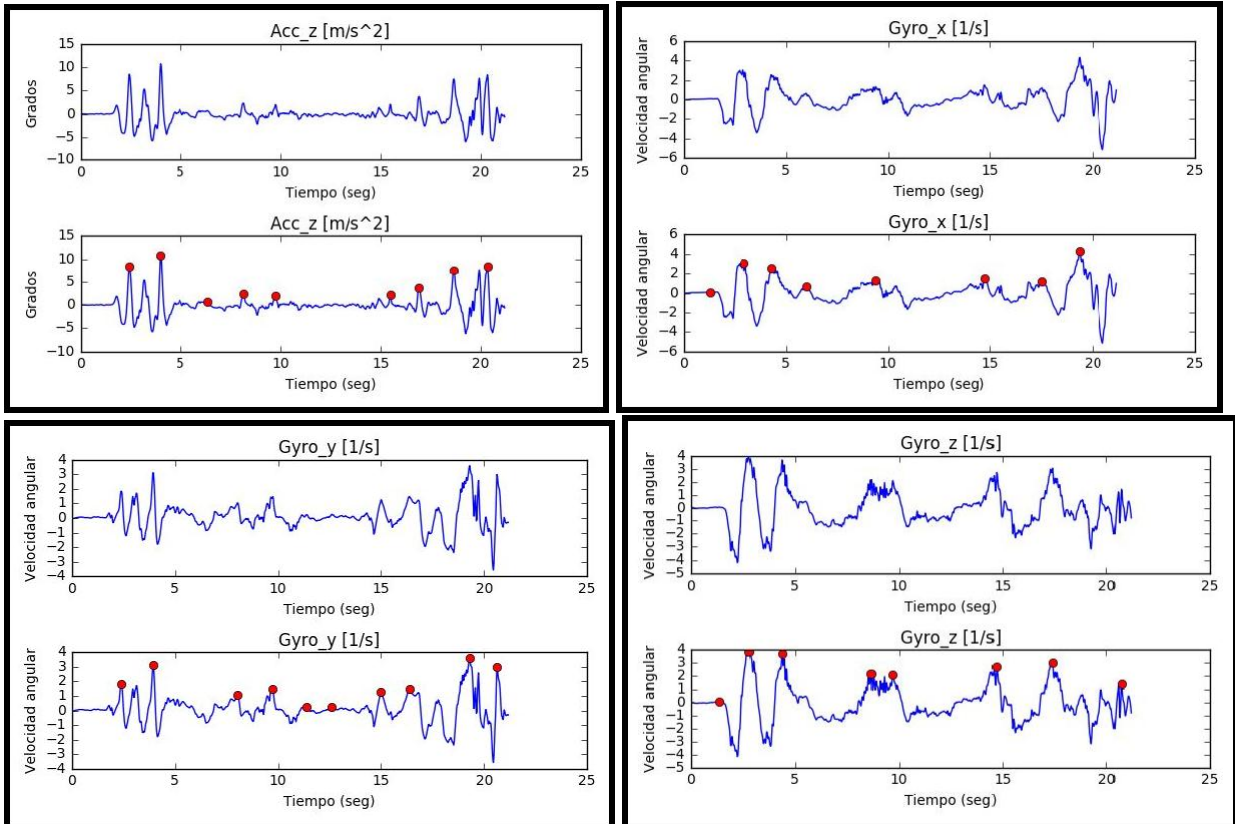
## Ángulos muñeca derecha



## Datos sensores

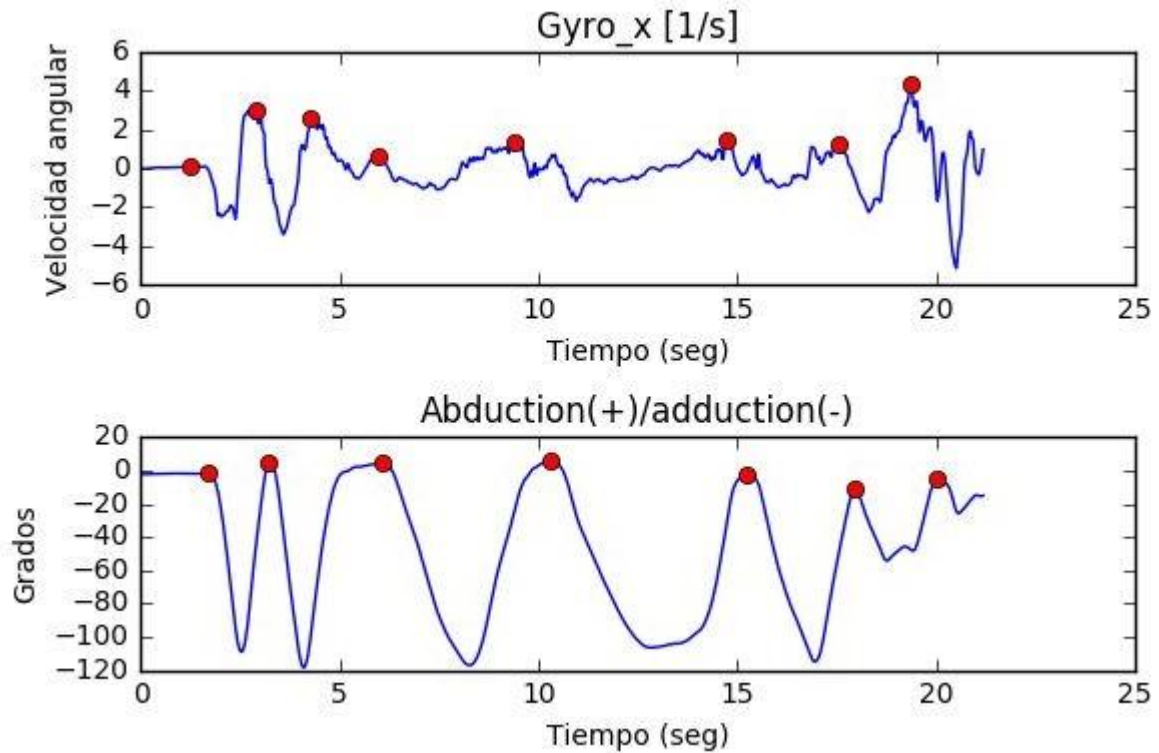
### inerciales





Una de las primeras observaciones que se realizan es que existen movimientos de las articulaciones del hombro, codo y muñeca en los distintos planos de movimientos, aún cuando parte de la instrucción del movimiento es que se realice fijando el movimiento de la articulación del codo y de la muñeca.

La variabilidad del movimiento dependerá del movimiento seleccionado y del propio sujeto. La función logra detectar de forma simple una posible cantidad de ciclos.



Se observa que existe una relación de los peak encontrados de los movimientos de hombro derecho en el plano frontal y los datos de velocidad angular del sensor de la mano derecha. Lo cual permite la posibilidad de que con 1 sensor en la mano detectar los ciclos de movimiento de miembro superior y si estos se repiten o vuelven a detectar en un periodo menor a 30 segundos, se podría catalogar como movimiento repetitivo de miembro superior sin especificar el segmento o articulación que está siendo expuesto al factor de riesgo.

## Referencias

Abu-Faraj, Z. O., Harris, G. F., Smith, P. A., & Hassani, S. (2015). Human gait and Clinical Movement Analysis. In *Wiley Encyclopedia of Electrical and Electronics Engineering* (pp. 1–34).

Biswas, D., Cranny, A., Gupta, N., Maharatna, K., Achner, J., Klemke, J., ... Ortmann, S. (2015). Recognizing upper limb movements with wrist worn inertial sensors using k-means clustering classification. *Human Movement Science, 40*, 59–76.

Filippeschi, A., Schmitz, N., Miezal, M., Bleser, G., Ruffaldi, E., & Stricker, D. (2017). Survey of Motion Tracking Methods Based on Inertial Sensors: A Focus on Upper Limb Human Motion. *Sensors, 17*(6). <https://doi.org/10.3390/s17061257>

Kutilek, P., & Farkasova, B. (2011). Prediction of lower extremities' movement by angle-angle diagrams and neural networks. *Acta of Bioengineering and Biomechanics / Wroclaw University of Technology, 13*(2), 57–65.

Lu, C., & Ferrier, N. J. (2004). Repetitive motion analysis: segmentation and event classification. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 26*(2), 258–263.

**Informe final de actividad 6:**

**Proyecto: “Uso de sensores inerciales como herramienta complementaria en Estudios de Puesto de Trabajo (EPT) en Chile, para la medición cuantitativa de movimiento repetitivo como factor de riesgo en la calificación de patologías músculo-esquelética de extremidades superiores”**

**Código: ACHS-210-2017**

**Autores: Pablo Burgos Concha.  
José Carrasco Plaza.  
Alejandro Lavado**

## **Producto**

Notch es un sistema de captura de movimiento con sensores inerciales la cual contiene un sensor de acelerómetro, un giroscopio y un magnetómetro. Los sensores Notch vienen en un kit con un conjunto de sensores, con un cargador de batería, amarras y porta sensores para ser posicionados en los diferentes segmentos del cuerpo humano la cual permite obtener la relación espacial por segmento corporal la cual se traduce en el cálculo del ángulo de una articulación en función del tiempo. El dato del ángulo en relación al tiempo permite obtener información de la postura y del movimiento realizado por una persona. Esta información capturada por los sensores Notch puede ser procesada en un smartphone. Notch permite realizar pruebas con su aplicación para celulares llamada Notch companion la cual requiere de un celular con sistema operativo Android y iOS de iPhone como también entrega un SDK que permite personalizar el desarrollo de una aplicación la cual utilice estos sensores.

La empresa a cargo del desarrollo de los sensores más una suscripción anual permite acceder al SDK con un template y licencias la cual permite personalizar los procesos de sincronización, captura de los datos y calibración de los dispositivos.

### **Aplicación Evaluación de Puesto de Trabajo desarrollado con el SDK de Notch**

La aplicación desarrollada permite realizar captura en tiempo real con acceso grabar un video con la cámara del celular de forma sincronizada. En esta ocasión solo se programó para 5 sensores los cuales representan los segmentos Tórax, Brazos y Antebrazos lo que permite obtener información de los ángulos de las articulaciones del complejo hombro y codo. De la articulación del hombro se obtiene los movimientos de Flexión y Extensión en el plano sagital, Abducción y aducción en el plano frontal y rotación lateral y medial en el plano transversal. La articulación del codo entrega información de la flexión y extensión y de la pronación y supinación del antebrazo.

La aplicación sincroniza los sensores encendidos con el celular por un protocolo de comunicación bluetooth 4.0. Configuración y calibración de los sensores. Configurar los sensores para posicionar en el trabajador los sensores para finalmente capturar un video y los datos de los sensores de forma simultánea.

Se desarrollo una plataforma online (actualmente sitio de desarrollo <https://ept.dev.nursoft.cl/login>) la cual permite tener un usuario asociado a cada evaluador o ergónomo que realice una Evaluación de Puesto de Trabajo. Cada uno organiza y puede agregar datos de un trabajador, información acerca de su Evaluación de puesto de trabajo y subir en línea el video grabado en la aplicación de Evaluación de puesto de trabajo y los datos de los sensores. Posterior a subir los datos de los sensores, la plataforma ingresa estos ángulos en un algoritmo de detección de factores de riesgo de lesión musculoesquelética la cual determina si existen posturas forzadas, posturas mantenidas o movimientos repetitivos en una articulación. En estos momentos el algoritmo está en desarrollo.

### **Capacitación ESACH**



ESACH es la empresa de servicios filial de la Asociación Chilena de Seguridad. En conjunto a Francisca Vásquez, Administradora de Contratos de ESACH coordinamos una capacitación con los kinesiólogos que realizan las Evaluaciones de Puesto de Trabajo, con el objetivo de determinar si el sistema de aplicación con los sensores y la plataforma se ajusta al quehacer de los evaluadores, si lo pueden usar posterior al periodo de capacitación, que problemas podemos presentar para realizar las modificaciones adecuadas y determinar si el sistema puede ser usado en una etapa de piloto en terreno.

La capacitación de fase no presencial comienza con el envío de un video y un manual de usuario. El video consta del proceso de como usar los sensores, como posicionarlos en una persona y como capturar un video más los datos del sensor. Además tiene explicado paso a paso cómo ocupar la plataforma. (Link: [https://youtu.be/1pP2Kk\\_inR8](https://youtu.be/1pP2Kk_inR8))

Se planifica 2 días de capacitación de forma presencial de 1 hora con 30 minutos por día.

El primer día es de acercamiento a los sensores, la aplicación del celular y la plataforma online. En el cual se enseña a utilizar la aplicación en conjunto a los sensores, como encenderlos, sincronizar, calibrar y capturar un video sincronizado con los datos de los sensores para finalmente transferir los datos guardados en el celular a un computador.

Acercamiento a la plataforma en el cual deben ingresar un usuario, los datos del trabajador, datos de la EPT y de la tarea para finalmente subir el video con los datos de los sensores en la plataforma.

La capacitación tiene el siguiente orden.

#### Día 1

1. Identificar materiales y aplicación
2. Encender y apagar los sensores Notch
3. Proceso de sincronización con aplicación
4. Proceso de calibración
5. Posicionamiento de amarras y sensores
6. Configurar posición inicial
7. Captura de video y datos de los sensores
8. Transferencia de video y datos de los sensores desde el celular al computador.
9. Conexión a plataforma de desarrollo
10. Ingreso de datos del trabajador, EPT y tarea
11. Subir archivos a la plataforma de video y datos de los sensores

## Día 2

El objetivo del día 2 en la capacitación presencial, es observar la retención de lo aprendido el día 1 presencial.

La indicación a los kinesiólogos es "Realicen la Evaluación de puesto de trabajo con los sensores sin ayuda de los facilitadores, imagínense que están en un contexto real con un trabajador". Se mide el tiempo y la cantidad de errores en las distintas fases descritas anteriormente del uso de los sensores hasta grabar una tarea simulada, transferir los datos grabados desde el celular a un ordenador y subir esos datos a la plataforma. El objetivo es ver en qué fases existen problemas para plantear correcciones pertinentes al proceso.

El manual y el video fue enviado vía correo electrónico el día 16 de Octubre a Francisca Vasquez quien se encargó de enviar a cada uno de los Evaluadores el material.

Se coordina el día 1 de la fase presencial de la capacitación para los días 17, 18, 19 de Octubre en cual cada día asiste dos kinesiólogos del grupo de evaluadores de puesto de trabajo.

Se coordina el día 2 de la fase presencial de la capacitación para 22, 23 y 24 de Octubre en el que vuelven a ser citados los mismos kinesiólogos.

## Resultados

### Día 2

Mostramos los resultados de la fase de retención de lo aprendido en la capacitación del día 1. Se detalla por fase el tiempo de cada uno de los kinesiólogos en cada fase del uso de los sensores y la cantidad de errores en cada fase.

#### Kinesiólogo 1

Etapa		Número de errores	Tiempo
Calibración	Configuración	0	25 segundos
	Práctica	0	22 segundos
	Total	0	47 segundos
Captura	Posicionar sensores	0	3 min 20 segundos
	Configuración posición inicial	0	20 segundos
	Grabar	0	1 minuto

	Total	0	4 minutos 41 segundos
Traspaso de archivos	Total	1	45 segundos
Plataforma	Ingreso de datos	0	37 segundos
	Subir archivos	0	1 minuto 2 segundos
	Total	0	1 minuto 39 segundos
Total		1	7 minutos 52 segundos

#### Kinesiólogo 2

Etapa		Número de errores	Tiempo
Calibración	Configuración	0	40 segundos
	Práctica	3	2 minutos 40 segundos
	Total	3	3 minutos 20 segundos
Captura	Posicionar sensores	2	3 minutos 24 segundos
	Configuración posición inicial	0	20 segundos
	Grabar	0	1 minuto
	Total	2	4 minutos 44 segundos
Traspaso de archivos	Total	2	1 minuto 12 segundos
Plataforma	Ingreso de datos	0	42 segundos
	Subir archivos	0	1 minuto 4 segundos
	Total	0	1 minuto 46 segundos
Total		7	11 minutos 2 segundos

Kinesiólogo 3

Etapa		Número de errores	Tiempo
Calibración	Configuración	0	1 minuto 18 segundos
	Práctica	0	22 segundos
	Total	0	1 minuto 40 segundos
Captura	Posicionar sensores	0	3 minutos 40 segundos
	Configuración posición inicial	0	21 segundos
	Grabar	0	1 minutos
	Total	0	5 minutos 1 segundo
Traspaso de archivos	Total	0	1 minuto 10 segundos
Plataforma	Ingreso de datos	0	41 segundos
	Subir archivos	0	1 minuto 17 segundos
	Total	0	1 minuto 58 segundos
Total		0	9 minutos 49 segundos

Kinesiólogo 4

Etapa		Número de errores	Tiempo
Calibración	Configuración	1	50 segundos
	Práctica	1	1 minutos 15 segundos
	Total	2	3 minutos 5 segundos

Captura	Posicionar sensores	0	3 minutos 13 segundos
	Configuración posición inicial	0	22 segundos
	Grabar	0	1 minuto
	Total	0	4 minutos 35 segundos
Traspaso de archivos	Total	0	1 minuto 30 segundos
Plataforma	Ingreso de datos	0	50 segundos
	Subir archivos	0	1 minuto 12 segundos
	Total	0	1 minuto 32 segundos
Total		2	10 minutos 52 segundos

Kinesiólogo 5

Etapa		Número de errores	Tiempo
Calibración	Configuración	0	48 segundos
	Práctica	1	1 minuto 7 segundos
	Total	1	1 minuto 55 segundos
Captura	Posicionar sensores	1	4 minutos 12 segundos
	Configuración posición inicial	0	50 segundos
	Grabar	0	1 minuto
	Total	1	6 minutos 2 segundos
Traspaso de archivos	Total	0	1 minuto 40 segundos

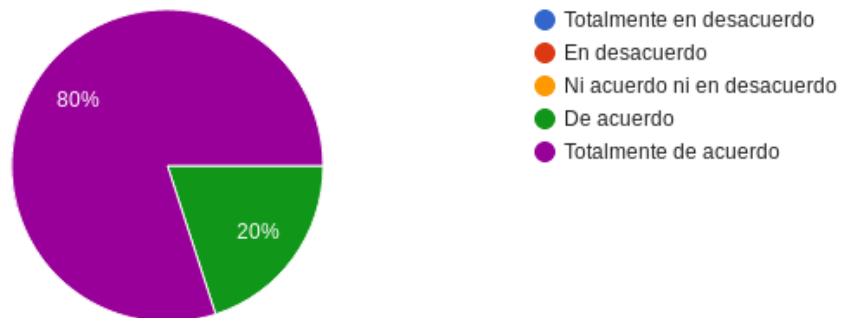
Plataforma	Ingreso de datos	0	40 segundos
	Subir archivos	0	1 minuto 12 segundos
	Total	0	1 minuto 52 segundos
Total		2	11 minutos 29 segundos

Cantidad de tareas grabadas en las capacitaciones: 18 en total

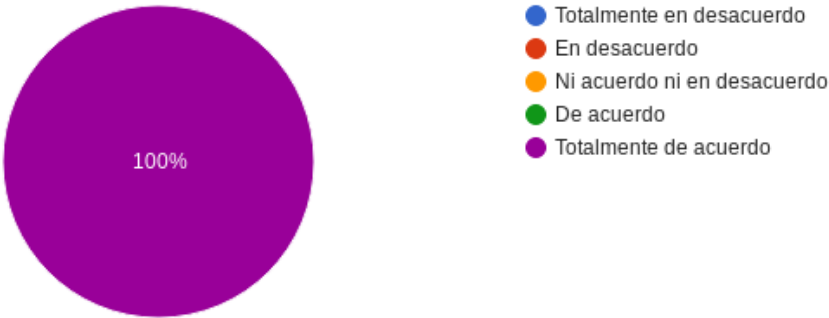
Posterior al último día de capacitación se les solicitó a los participantes de la capacitación responder un formulario en línea que consulta el grado de acuerdo de facilidad de uso por fases de la configuración de los sensores, calibración, captura de la información y traspasarla a la plataforma web.

Evaluación del proceso de capacitación de uso de sensores NOTCH como complemento de Evaluaciones de Puesto de Trabajo

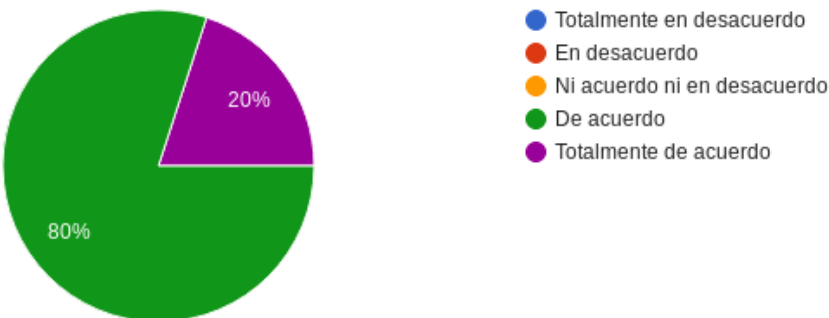
1 - Pude identificar los materiales para realizar la evaluación de puesto de trabajo con sensores NOTCH, eso involucra la aplicación en el celular, el cargador, los sensores NOTCH y las amarras.



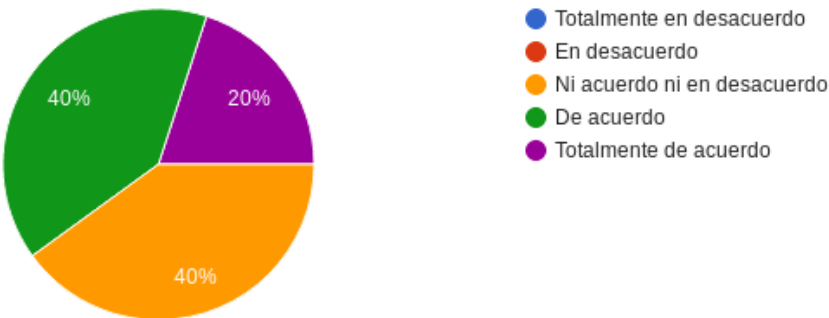
2 - Con respecto al procedimiento de encendido y apagado de los sensores NOTCH, pude realizarlo sin problemas e identificar si el sensor estaba encendido o apagado.



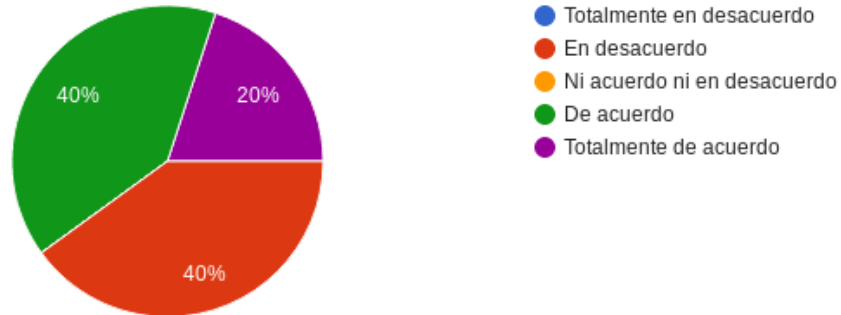
3 - El uso de la aplicación en el celular es intuitivo y los pasos son fácil de seguir para realizar el proceso de calibración y captura del video.



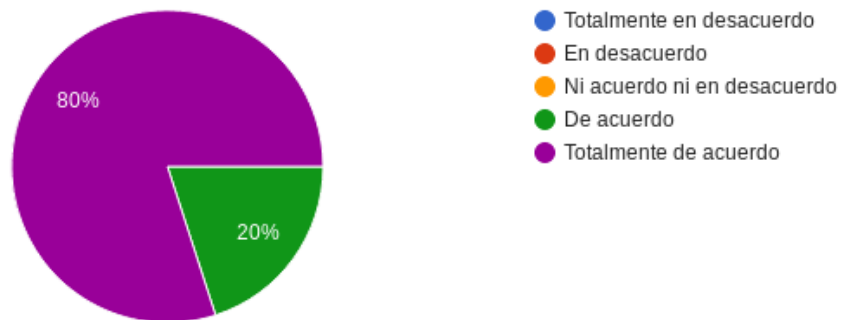
4 - El proceso de Calibración de sensores fue fácil, la aplicación es explicativa y pude realizarlo sin problemas. Esto involucra la configuración de los sensores con la aplicación.



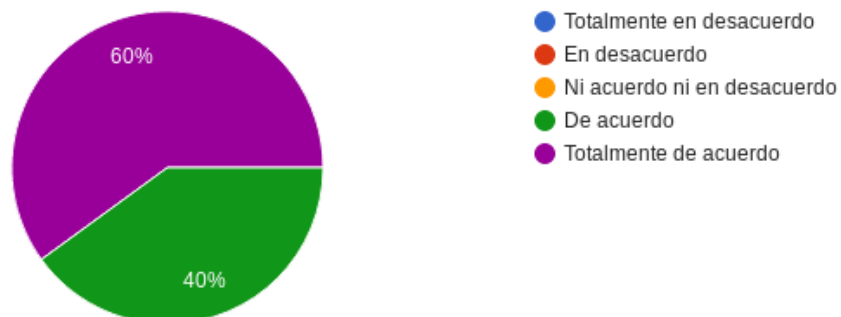
5 - El proceso práctico de Calibración de sensores pude realizarla de forma correcta y sin dificultad. (La parte práctica se refiere al momento de rotar los sensores en el cargador siguiendo el video de la aplicación y que este detecte que fue realizado de forma correcta)



6 - El proceso de posicionamiento de amarras fue fácil de realizar la cual involucra posicionarlas en el segmento y orientación correcta.

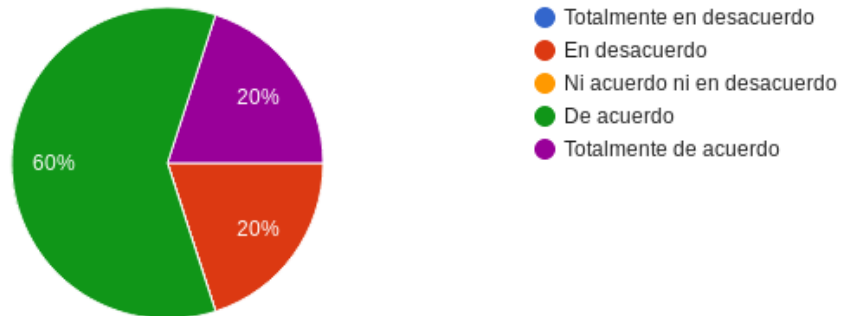


7 - El proceso de posicionamiento de los sensores NOTCH en las amarras fue facil de realizar. La cual involucra que los colores de los sensores correspondan al de la imagen y que queden firmes en la amarra.

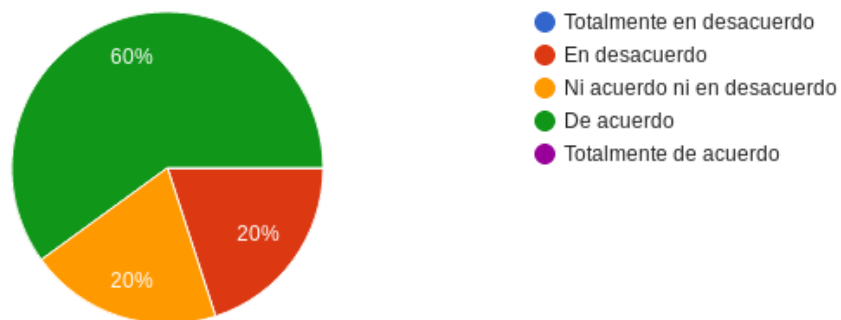




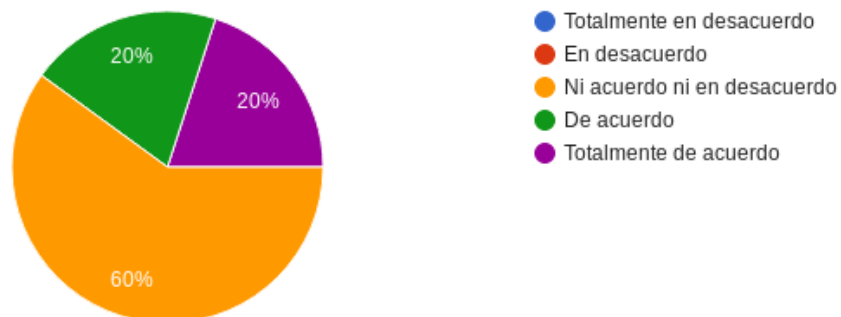
8 - Al momento de grabar o capturar los datos, no presento problemas al grabar la tarea del trabajador con la cámara del celular y pude corregir errores de posicionamiento de los sensores con el modelo 3D.



9 - El tiempo que requiero para calibrar los sensores con la aplicación, y posicionar los sensores en el trabajador, se ajusta a los tiempos que dispongo para realizar las Evaluaciones de puesto de trabajo y no entorpece mi rutina.

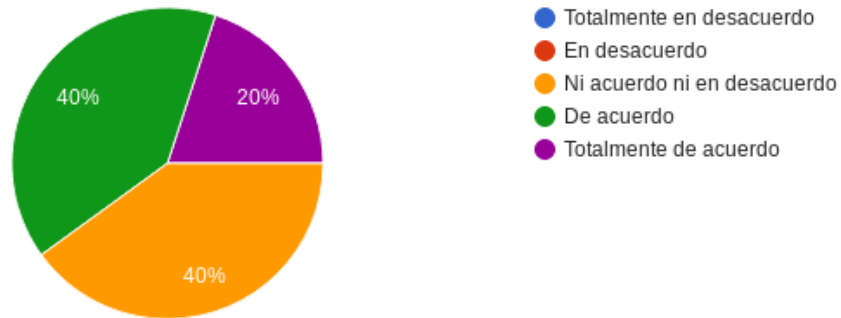


10 - La transferencia de datos del celular al computador es fácil y no presenté problemas al buscar los archivos, copiarlos y guardarlos en mi computador

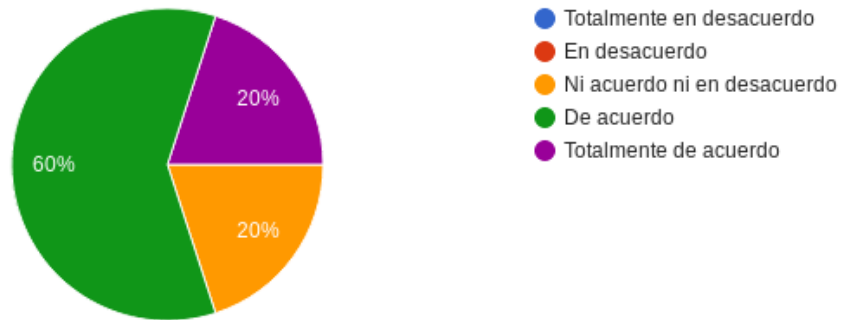


Evaluación del proceso de capacitación de uso de Plataforma web para guardar video y datos de los sensores como complemento de Evaluaciones de Puesto de Trabajo

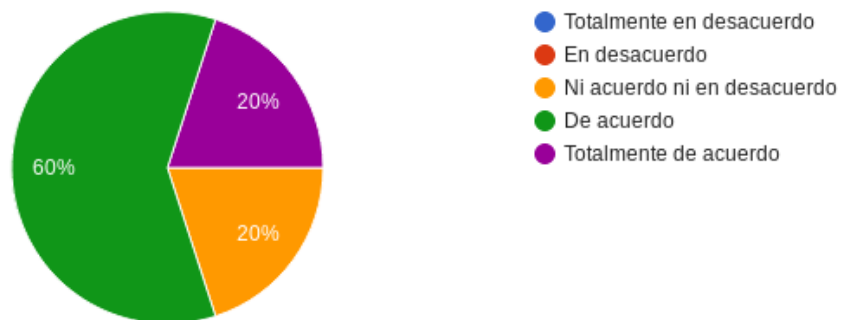
11 - En la plataforma web, pude ingresar los datos del trabajador que solicita el formulario ya que son claros y fácil de llenar, es información que tengo disponible



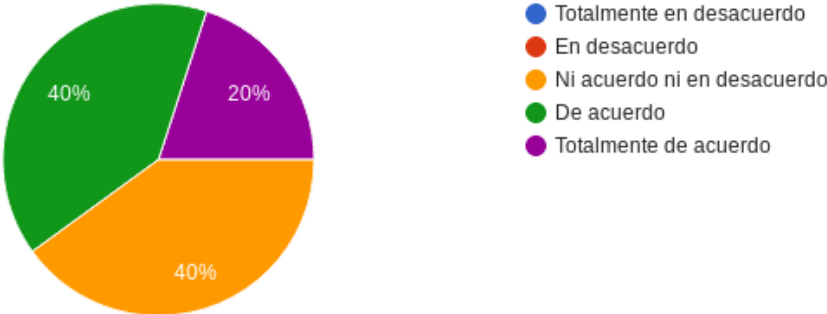
12 - En la plataforma web. Pude ingresar los datos de la EPT y sobre la tarea evaluada, la información solicita es clara.



13 - En la plataforma web. Pude subir el video y los datos de los sensores inerciales NOTCH a la plataforma sin problemas.



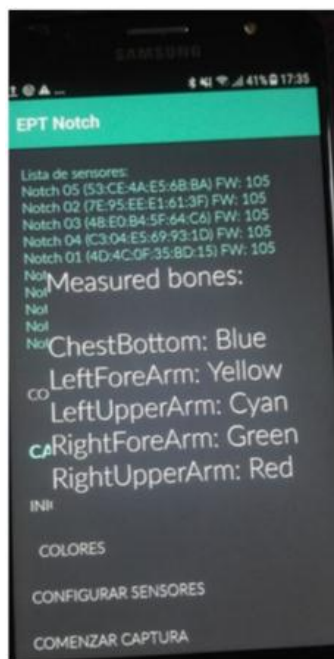
14 - El tiempo destinado al uso de la plataforma la cual considera desde ingresar a la plataforma, crear y llenar los datos del trabajador, llenar los datos sobre la evaluación de puesto de trabajo, cargar el video y los datos de los sensores se ajusta a los tiempos que dispongo en mi trabajo para completar los informes de EPT.



## Correcciones realizadas

- Cambios en los pasos de la aplicación (disminuir distractores) dejando opciones y pasos más usados al comienzo de la aplicación, entregando un orden lógico a las fases de sincronización, calibración y captura de los datos.
- Corrección de la orientación del video capturado en la aplicación para posterior visualización en ordenador y plataforma
- Cambio en las instrucciones de posicionamiento de los sensores de instrucciones escritas a a imagen explicativa de posicionamiento de sensores.

Capturas de cambios de instrucciones a la app



- Cambio en el nombre de los archivos generados del video y datos de los sensores para correcta identificación, fecha y hora. Cambio realizado posterior al primer par de kinesiólogos día 1 capacitación presencial.
- Video y datos de los sensores ahora son almacenados en la misma carpeta del celular.
- Corrección realizada posterior a segundo día de capacitación presencial debido a que al finalizar la captura de la primera tarea, volver a capturar no permite volver a sincronizar los sensores, se modificó que la aplicación obligue al evaluador a cerrar la aplicación al terminar de capturar la tarea, ingresar a la aplicación, sincronizar y volver a configurar la posición inicial para capturar la siguiente tarea sin la necesidad de volver a realizar el proceso de calibración.