

DESARROLLO DE PLATAFORMA PARA EVALUAR RIESGO DE TRASTORNOS MUSCULOESQUELÉTICOS EN ACTIVIDADES DE MANIPULACIÓN MANUAL DE CARGA - RESULTADOS PRELIMINARES

DEVELOPMENT OF A PLATFORM TO ASSESS THE RISK OF MUSCULOSKELETAL DISORDERS IN MANUAL LOAD HANDLING ACTIVITIES - PRELIMINARY RESULTS

Gustavo Fabián Retamal-Inzunza*

Manuel Tolindor Gutiérrez-Henriquez**

Britam Arom Gómez-Arias***

Pablo Esteban Aqueveque-Navarro****

Guisella Andrea Peña-Henriquez*****

Daniela Constanza Baquedano-Álvarez*****

Resumen: Uno de los desafíos más importantes de la ergonomía es evaluar el riesgo en puestos de trabajo con la finalidad de prevenir trastornos musculoesqueléticos. Existen métodos que permiten estimar riesgos considerando aspectos relacionados al manejo manual de carga y trabajo repetitivo. Para llevar a cabo una evaluación usando estos métodos es necesario observar al trabajador realizar sus tareas, lo que implica un grado de subjetividad en los resultados, pudiéndose generar una errónea determinación del riesgo real de la actividad analizada. La falta de herramientas de medición in-situ hacen que el proceso de extracción de información sea lento y puede entorpecer la labor del trabajador evaluado. El objetivo de este trabajo es presentar los resultados preliminares de una plataforma semiautomática para la evaluación del riesgo de trastorno musculoesquelético al realizar tareas de manejo manual de carga haciendo uso de una versión instrumentada del método NIOSH con sistemas tecnológicos para la captura de movimiento en un ambiente controlado de laboratorio. Se realizó un estudio piloto con 2 voluntarios, los cuales fueron sometidos a actividades de levantamiento y descenso de carga. Para verificar la existencia de riesgo en los movimientos ejecutados por los sujetos

*Departamento de Ingeniería Eléctrica, Facultad de Ingeniería, Universidad de Concepción. Concepción, Chile. Correo electrónico: gretamal2017@udec.cl. Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-9834-1203>. Autor de correspondencia.

**Departamento de Ergonomía, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad de Concepción. Concepción, Chile. Correo electrónico: mangutie@udec.cl. Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-9099-5173>

***Departamento de Ingenierías Multidisciplinares, Facultad de Ingeniería, Universidad de Santiago de Chile. Santiago, Chile. Correo electrónico: britam.gomez@usach.cl. Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-6563-2955>

****Departamento de Ingeniería Eléctrica, Facultad de Ingeniería, Universidad de Concepción. Concepción, Chile. Correo electrónico: pablo.aqueveque@biomedica.udec.cl. Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-9101-0383>

*****Departamento de Ingeniería Eléctrica, Facultad de Ingeniería, Universidad de Concepción. Concepción, Chile. Correo electrónico: gpena2017@udec.cl. Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-1490-1400>

*****Departamento de Ingeniería Eléctrica, Facultad de Ingeniería, Universidad de Concepción. Concepción, Chile. Correo electrónico: dbaquedano2017@udec.cl. Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-4047-0627>

se utilizó el sistema de captura de movimiento Optitrack y su plataforma Motive v2.0. A partir del sistema propuesto fue posible estimar el riesgo en una actividad de manejo manual de cargas, logrando reducir en un 85% el tiempo de clasificación de riesgo al poder estimar de manera instantánea los factores necesarios para la metodología de evaluación digital.

Palabras clave: Manejo manual de cargas, ergonomía, salud laboral, sistema musculoesquelético, sistema de captura de movimiento.

Abstract: One of the most important challenges of ergonomics is to assess the risk in workplaces in order to prevent musculoskeletal disorders. There are methods that allow estimating risks considering aspects related to manual handling of loads and repetitive work. To carry out an evaluation using these methods it is necessary to observe the worker performing his tasks, which implies a degree of subjectivity in the results, which can generate an erroneous determination of the real risk of the analyzed activity. The lack of in-situ measurement tools makes the process of extracting information slow and can hinder the work of the evaluated worker. The objective of this work is to present the preliminary results of a semi-automated platform for the assessment of the risk of musculoskeletal disorders when performing manual load handling tasks using an instrumented version of the NIOSH method with technological systems for motion capture in a controlled laboratory environment. A pilot study was conducted with 2 volunteers, who were subjected to lifting and lowering activities. To verify the existence of risk in the movements executed by the subjects, the Optitrack motion capture system and its Motive v2.0 platform were used. From the proposed system it was possible to estimate the risk in a manual load handling activity, reducing by 85% the risk classification time by being able to instantly estimate the factors necessary for the digital evaluation methodology.

Keywords: Manual handling of loads, ergonomics, occupational health, musculoskeletal system, motion capture system.

Recepción: 22.11.2022 / Revisión: 23.11.2022 / Aceptación: 08.12.2022

Introducción

Uno de los principales desafíos de la ergonomía se relaciona con el estudio de la dinámica del movimiento de los trabajadores para corregir y/o prevenir la aparición de trastornos musculoesqueléticos (TME). Estos trastornos corresponden, según la norma técnica del Ministerio de Salud de Chile (MINSAL) a “una lesión física originada por trauma acumulado, que se desarrolla gradualmente sobre un periodo de tiempo como resultado de repetidos esfuerzos sobre una parte específica del sistema musculoesquelético” (MINSAL, 2012). La aparición de TME son el resultado de lesiones acumulativas relacionadas a movimientos repetitivos, exposición prolongada a posturas riesgosas o sobreesfuerzos debido a cargas que exceden las capacidades de las personas (Ruíz, 2011).

A pesar del aumento en sistemas de automatización de procesos dentro de las empresas, existen algunas tareas donde el trabajo humano es insustituible por el requerimiento de la operación. Esto puede verse comúnmente en tareas manuales en las cuales es necesario el uso de herramientas o elementos especiales.

Una de las tareas más comunes que aún se realizan dentro del entorno laboral es la

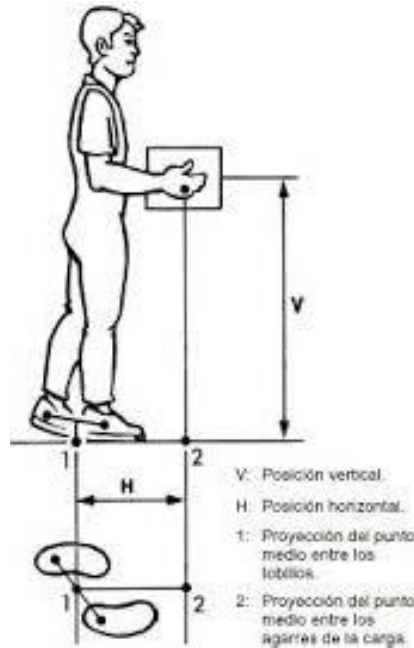
manipulación manual de cargas (MMC). Según el Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional (NIOSH), los trastornos musculoesqueléticos relacionados con el trabajo (TMERT) se definen como “lesiones de los músculos, tendones, ligamentos, nervios, articulaciones, cartílagos, huesos o vasos sanguíneos de los brazos, las piernas, la cabeza, el cuello o la espalda que se produce o se agrava por tareas laborales como levantar, empujar o jalar objetos” (NIOSH Education and Information Division, 2010). Este tipo de actividades tiene relación con las áreas productoras más importantes de Chile (industria, construcción, agricultura y pesca) y es una de las principales causantes de la aparición de TMERT (Ministerio de Trabajo y Previsión Social, 2018). Según el Informe Anual de Seguridad y Salud en el Trabajo del año 2021, las denuncias de TME realizadas por trabajadores se encuentran en tercer lugar solo por detrás de los casos confirmados de COVID-19 y enfermedades relacionadas a salud mental, siendo el 70% de las denuncias realizadas por hombres y el 30% por mujeres (Superintendencia de Seguridad Social, 2021).

En el año 2018, el Ministerio del Trabajo y Previsión Social aprobó la actualización de la Guía Técnica para la Evaluación y Control de Riesgos Asociados al Manejo o Manipulación Manual de Cargas, donde se incorporó una modificación al peso máximo de carga humana según sexo y edad. En esta guía se muestra la metodología necesaria para determinar riesgo en actividades de MMC realizadas en estaciones de trabajo (Ministerio de Trabajo y Previsión Social, 2018). La metodología mediante la cual se evalúa el riesgo considera el uso de métodos de evaluación internacionales, los cuales son aplicadas mediante métodos indirectos, semidirectos o directos (Wang et al., 2015).

La evaluación tradicional de riesgos en el manejo manual de carga consiste en que un evaluador mediante el uso de herramientas como: goniómetro, cinta de medir, cámaras de video y/o entrevistas, identifica factores de riesgo presentes en el puesto de trabajo en evaluación. Luego, utilizando un método específico para el tipo de trabajo, se clasifica el riesgo asociado a la tarea (Gómez-Galán et al., 2017). Cabe destacar que, el uso de estas herramientas hace que el proceso de medición sea lento y poco preciso lo que podría afectar la estimación de factores de riesgo (Valero et al., 2016).

Uno de los principales métodos usados para clasificar riesgo en estaciones de trabajo a partir de actividades de levantamiento y descenso de cargas es el método NIOSH (Shahu, 2016). La ecuación NIOSH, en particular posee siete factores: Factor horizontal (FH), Factor vertical (FV), Factor de asimetría (FA), Factor de desplazamiento vertical (FD), Constante de carga (CC), Factor de frecuencia (FF), Factor de acoplamiento (FC). Estos factores son determinados al medir distancias de desplazamiento de carga vertical (D), horizontal (H) y de elevación de la carga (V), además de un factor de asimetría del tronco (A) (ver figura 1).

Figura 1. Esquema de variables para la obtención de factores usados en el método NIOSH. Obtenido de Ruíz (2011).



Una vez obtenidos los factores FH, FV, FA, FD, CC, FF y FC, se procede a calcular un límite de peso recomendado (LPR) (ver ecuación 1) y luego, el índice de levantamiento (IL) (ver ecuación 2) que se relaciona directamente con una clasificación del riesgo (ver tabla 1).

$$LPR = CC * FH * FV * FA * FF * FC * FD \quad (1)$$

$$IL = L / LPR \quad (2)$$

Donde, LPR corresponde al límite de peso recomendado, IL al índice de levantamiento y L al peso de la carga manejada.

Tabla 1. Clasificación de riesgo a partir de valor IL.

Valor índice levantamiento (IL)	Clasificación de riesgo
IL ≤ 1	Aceptable
1 < IL ≤ 2	Riesgo presente: Nivel bajo
2 < IL ≤ 3	Riesgo presente: Nivel alto
IL > 3	Riesgo presente: Nivel muy alto

Una de las desventajas del método NIOSH es que su aplicación depende del nivel de expertiz del evaluador y de los instrumentos que use para obtener los factores D, V, H, y A, los que, a su vez, requieren de la incorporación de elementos tecnológicos que entorpecen la labor del trabajador (Lamooki et al., 2022). Por otro lado, el tiempo de evaluación del puesto de trabajo, requiere de bastante trabajo por parte del evaluador, pues muchas veces requiere

de procesar las imágenes capturadas, extraer la información mediante software de procesamiento de imágenes y estimar, dentro de lo posible, la mayor cantidad de información desde diferentes planos de medición. Además, en particular este método requiere de una cantidad de cálculos matemáticos no menor, lo que de no hacerse de manera automatizada puede llevar a errores. Finalmente, las mediciones con instrumentos de observación pueden llevar a un cálculo incorrecto de los factores de la ecuación NIOSH entregando información errónea al momento de establecer el nivel de riesgo (National Research Council, 1999; Baghdadi et al., 2021).

Tendencias tecnológicas actuales para la captura de movimiento (MoCap) como sistemas optoelectrónicos - considerados el Gold Standard para análisis de movimiento - y los sistemas de captura de movimiento basados en el uso de sensores inerciales – acelerómetros y giroscopios – presentan una alternativa prometedora para la evaluación automática y objetiva de MMC en puestos de trabajo. Sin embargo, su aplicación comercial se ha limitado principalmente al mundo de los videojuegos, animación y evaluación clínica del movimiento humano.

Es debido a lo anterior, que en este trabajo se presenta el desarrollo de una plataforma que instrumentaliza el método NIOSH y que de manera semi-automática permite extraer y determinar de forma rápida y sencilla los factores para la estimación de LPR, IL y el nivel de riesgo a partir de archivos de movimiento BVH (Biovision Hierarchy), comúnmente extraídos en sistemas MoCap. Además, se presentan los primeros resultados de evaluación en condiciones de laboratorio.

Objetivo

Desarrollar y evaluar preliminarmente una plataforma para la determinación de riesgos de trastornos musculoesqueléticos a nivel de laboratorio al realizar tareas de manejo manual de cargas.

Materiales y métodos

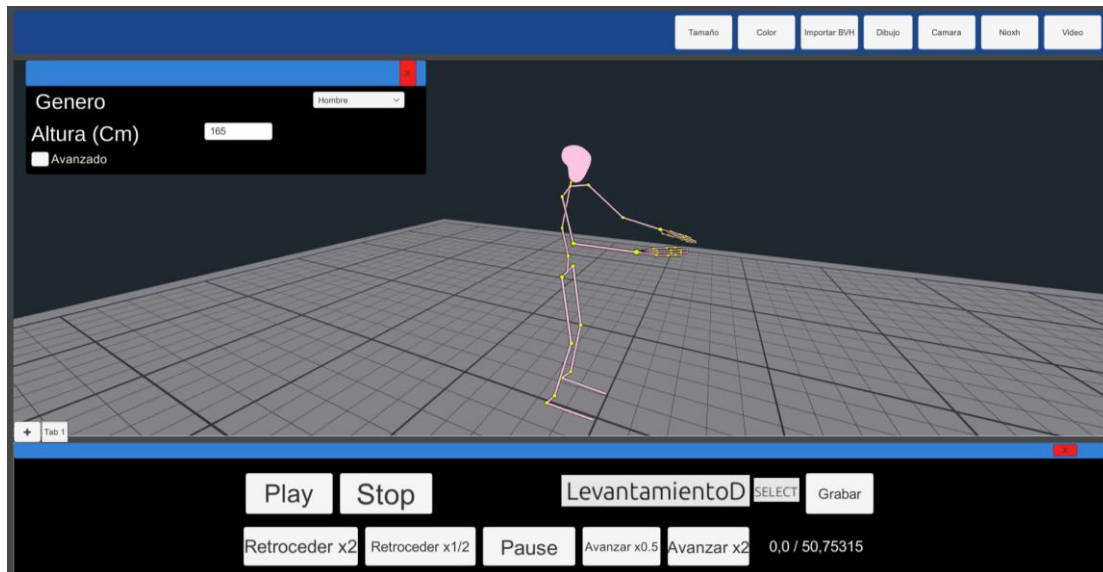
Plataforma

Para la implementación de la plataforma de captura y estimación de los factores del método NIOSH, se utilizó el ambiente de desarrollo Unity en su versión 2020.3.

Esta plataforma, cuenta con un maniquí informático desarrollado en el contexto del proyecto Fondef IdeA ID 20I10297, y que cuenta con dimensiones antropométricas de población chilena según la información reportada por Castellucci et al. (2016), y que cuyos segmentos pueden escalarse en base a altura y sexo según las relaciones de escalamiento propuesta por Pheasant y Haslegrave (2016).

Este maniquí puede representar diferentes posturas provenientes desde un archivo BVH, los que son importados a la plataforma y controlados según requerimientos del usuario. En la figura 2, se puede observar la interfaz de usuario.

Figura 2. Plataforma de análisis de archivos de movimiento BVH.



Además, en esta plataforma se digitalizó el método NIOSH para clasificar el riesgo de forma automatizada en actividades relacionadas a levantamiento y descenso de carga según la información desplegada a partir del maniquí escalado (ver figura 3).

Figura 3. Plataforma de método NIOSH digitalizada.

Análisis NIOSH Levantamiento/Descenso

Tarea: Fecha:

Empresa:

Monotarea Multitarea

Inicio: Fin:

Sexo: Edad: Peso del objeto

Control en el destino:

Operación con 1

Variables de levantamiento:

	Origen	Destino	Calculo automático:
Distancia horizontal (H):	<input type="text" value="33"/>	<input type="text" value="45"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Desplazamiento horizontal (ΔH):	<input type="text" value="12"/>		
Altura vertical (V):	<input type="text" value="17"/>	<input type="text" value="123"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Desplazamiento vertical (ΔV):	<input type="text" value="106"/>		
Ángulo de asimetría (A):	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="77"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Rotación (ΔV):	<input type="text" value="77"/>		

Duración:

Frecuencia (F):

Tipo de agarre (C):

Factores obtenidos:

	CC	HM	OM	VM	DM	AM	CM	FM	LPR	IL
Origen	25	0,76	1	0,83	0,86	1	1	0,65	8,82	0,79
Destino	25	0,56	1	0,86	0,86	0,75	1	0,65	5,05	1,39

Índice de levantamiento:

Aceptable
 Riesgo presente
 Riesgo presente: Nivel alto
 Riesgo presente: Nivel muy alto

Los valores de V, H, D y A son estimados a partir de la incorporación de proyecciones desde puntos anatómicos predefinidos por la plataforma.

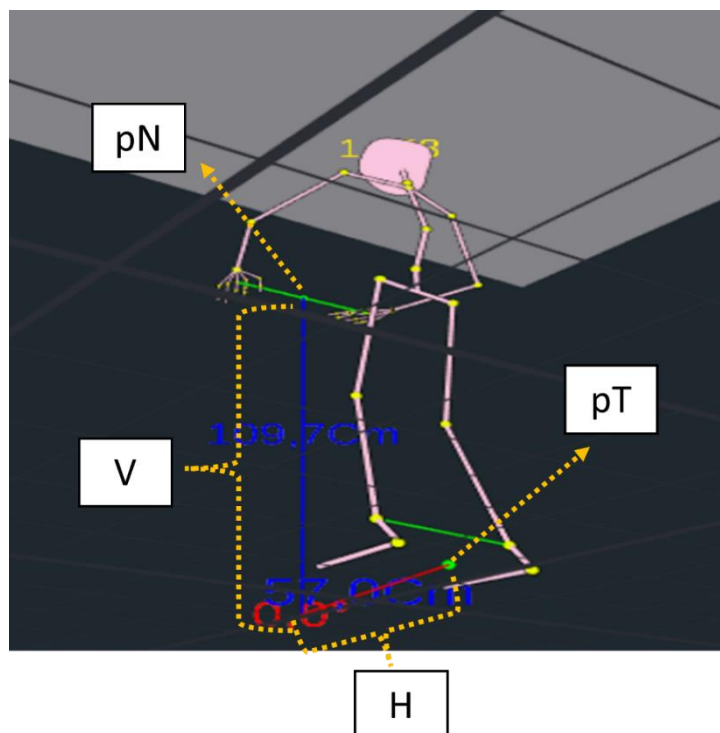
- Estimación de V: Corresponde a la distancia vertical entre el punto medio de la proyección lineal entre los nudillos medios de cada mano respecto al suelo.
- Estimación de H: Corresponde a la distancia horizontal entre el punto medio de

la proyección lineal entre los tobillos y la proyección vertical entre los nudillos medios de las manos.

- Estimación de D: Diferencia entre los valores de V cuando se toma la carga en el origen y cuando se deja en el destino.
- Estimación de A: Ángulo de cambio del plano sagital que forman las proyecciones de V y H en el origen y el destino.

En la figura 4 se ilustran las proyecciones principales para la estimación de los valores de V, H, D y A.

Figura 4. Puntos medios de la proyección lineal entre tobillos (pT) y entre nudillos medios (pN) con los que se calculan V y H.



Protocolo de evaluación

Para la evaluación preliminar de la plataforma propuesta, participaron 2 voluntarios sanos (un hombre y una mujer) de 24 años sin TME, quienes leyeron y aceptaron un consentimiento informado aprobado por la Vicerrectoría de Investigación y Desarrollo de la Universidad de Concepción en el contexto del proyecto Fondef IdeA ID 20I10297. Los sujetos realizaron tareas de levantamiento de carga en ambiente controlado, mientras eran registrados por cámaras del sistema de captura de movimiento Optitrack y su plataforma Motive 2.0 (ver figura 5). El laboratorio de análisis de movimiento está constituido por 8 cámaras PrimeX 22, las cuales tienen una resolución de 2.2 MP y +/- 0.15 fotogramas por segundo de resolución.

Figura 5. Laboratorio de movimiento constituido por sistema optoelectrónico y elementos de evaluación.



Nota. Ubicado en el Departamento de Ergonomía de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad de Concepción.

Los materiales utilizados para las evaluaciones de laboratorio fueron una repisa como superficie de destino y una caja plástica representando la carga. La repisa posee características de altura configurable y cuenta con dimensiones de 74 cm de ancho y 39 cm de profundidad como se muestra en la figura 6. Se utilizaron alturas fijas de 44 y 107 cm para las tareas realizadas.

Figura 6. Repisa configurable en alturas de 44 cm y 107 cm.



La carga utilizada posee características de 42 x 15 x 32 cm (ancho, alto, profundidad), esta fue utilizada con un peso fijo de 7 kg para las pruebas. En la figura 7 se presenta una vista frontal y sagital de la carga.

Figura 7. Carga usada en pruebas de levantamiento y descenso.



Nota. En a. se tiene una vista frontal de la carga y en b. una vista sagital de la carga.

En este estudio se realizó la comparación entre el método NIOSH realizado de forma tradicional (uso de goniómetros, cinta de medir, etc.) y el sistema propuesto (sistema optoelectrónico y plataforma desarrollada)

Para disponer de un registro visual del escenario de evaluación se contó con 2 cámaras de video Sony modelo fdr-x3000 ubicados para obtener un registro frontal y lateral de la actividad realizada por los sujetos. Los voluntarios utilizaron el traje de Optitrack en el cual se ubicaron 37 marcadores reflectantes según su modelo biomecánico para evaluación de movimiento de cuerpo completo. En la figura 8 se tiene la disposición de los marcadores en el sujeto.

Figura 8. Sujeto utilizando traje y ubicación de 37 marcadores para representación de esqueleto de cuerpo completo en sistema Optitrack.

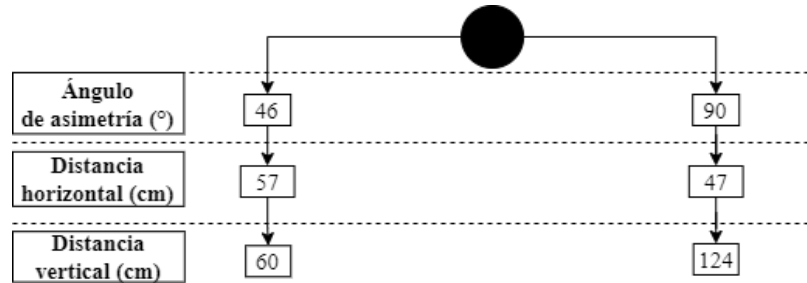


Nota. a. Vista frontal, b. Vista lateral, c. Vista posterior.

El protocolo de medición consistió en tomar una carga que se encontraba en el suelo frente a ellos adoptando un agarre del tipo “bueno” para luego, depositarla en la repisa descrita anteriormente, este proceso se repitió 3 veces para cada prueba. De esta manera, se

buscó generar cambios en las distancias horizontal, vertical y ángulo de asimetría asociadas al método NIOSH, en la figura 9 se tiene el diagrama de flujo de estas variables.

Figura 9. Diagrama de flujo para determinación de variables según tarea a evaluar.

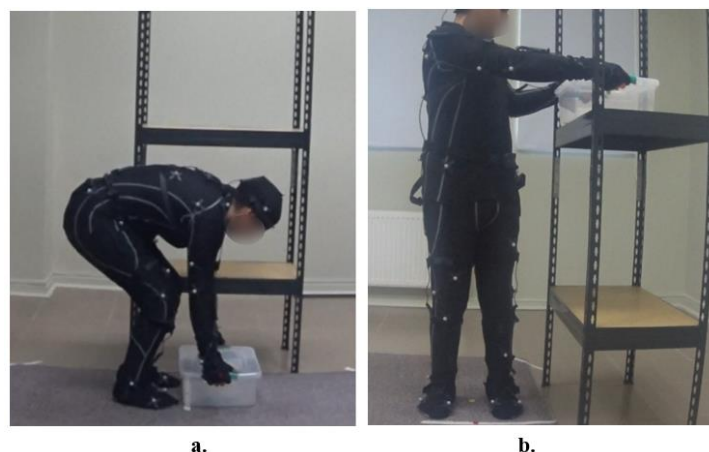


Con respecto a los otros factores asociados al método se consideró una jornada laboral de 7 horas aplicando una frecuencia de levantamiento de 2 elevaciones por minuto.

Para determinar estas medidas se utilizó goniómetro y cinta de medir en el origen del levantamiento y en el destino de la carga. Con estos datos obtenidos se realizaron los cálculos del método NIOSH de forma manual con el fin de realizar la comparación con el sistema semiautomático propuesto.

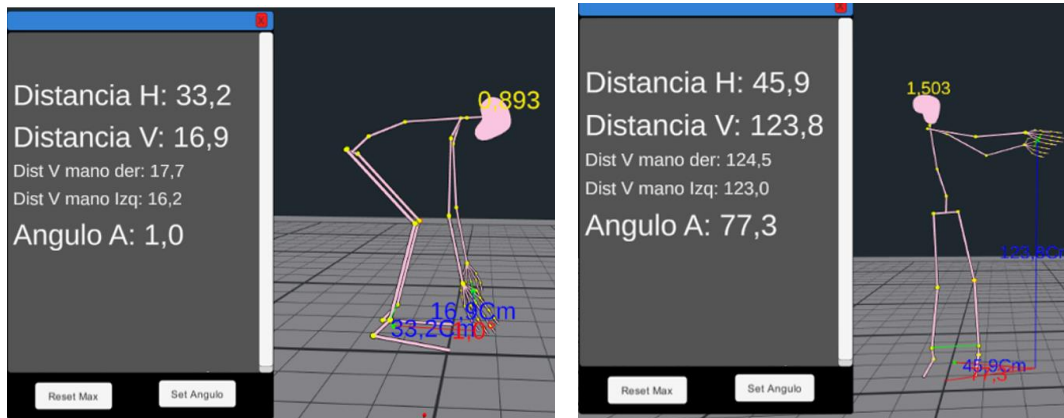
Por otro lado, luego de realizadas las tareas se exportaron los archivos de movimiento BVH para ser ingresados a la plataforma propuesta. Una vez cargado el archivo en la plataforma y realizado el escalamiento automático, se tuvo acceso a los factores V, H y A durante toda la prueba, los que eran determinados de manera semiautomática. Luego, se ingresaron estos valores al módulo de análisis de riesgo del método NIOSH donde se clasificó el riesgo de forma automatizada de las actividades. En las figuras 10 y 11 se puede apreciar la comparativa de las acciones en el origen y destino de la grabación de video y del maniquí en la plataforma respectivamente.

Figura 10. Posición inicial y final del levantamiento de carga realizado.



Nota. En a. se tiene el origen y en b. el destino.

Figura 11. Análisis de variables del método NIOSH en origen y destino.



Nota. En a. se tiene el origen y en b. el destino.

Resultados y discusión

En las tablas 2 y 3, se presentan los resultados para las variables H, V y A obtenidos de la extracción de datos de la plataforma y los obtenidos de forma tradicional, mientras que en la tabla 4 se muestran los resultados asociados al límite de peso recomendado e índice de levantamiento según el método NIOSH.

Tabla 2. Resultados de clasificación de riesgo mediante Método NIOSH para sujeto 1.

Prueba	Rep.	Origen						Destino					
		Tradicional			Optitrack			Tradicional			Optitrack		
		H (cm)	V (cm)	A (°)	H (cm)	V (cm)	A (°)	H (cm)	V (cm)	A (°)	H (cm)	V (cm)	A (°)
1	1	34	16	0	30	16	0	57	60	46	58	60	51
	2	34	16	0	26	21	0	57	60	46	59	58	47
	3	34	16	0	23	8	0	57	60	46	61	60	50
2	1	34	16	0	27	23	0	47	124	90	47	123	87
	2	34	16	0	33	17	0	47	124	90	45	123	77
	3	34	16	0	29	18	0	47	124	90	42	123	86

Nota. Donde, Rep: indica el número de levantamiento en la prueba, H: distancia horizontal, V: distancia vertical y A: ángulo de asimetría.

Tabla 3. Resultados de clasificación de riesgo mediante Método NIOSH para sujeto 2.

Prueba	Rep.	Origen						Destino					
		Tradicional			Optitrack			Tradicional			Optitrack		
		H (cm)	V (cm)	A (°)	H (cm)	V (cm)	A (°)	H (cm)	V (cm)	A (°)	H (cm)	V (cm)	A (°)
1	1	34	16	0	45	16	0	57	60	46	69	60	38
	2	34	16	0	22	23	0	57	60	46	68	59	35
	3	34	16	0	34	25	0	57	60	46	72	60	29

Prueba	Rep.	Origen						Destino					
		Tradicional			Optitrack			Tradicional			Optitrack		
		H (cm)	V (cm)	A (°)	H (cm)	V (cm)	A (°)	H (cm)	V (cm)	A (°)	H (cm)	V (cm)	A (°)
2	1	34	16	0	29	20	0	47	124	90	49	126	93
	2	34	16	0	42	19	0	47	124	90	41	117	88
	3	34	16	0	34	23	0	47	124	90	34	117	84

Nota. Donde, Rep: indica el número de levantamiento en la prueba, H: distancia horizontal, V: distancia vertical y A: ángulo de asimetría.

Tabla 4. Resultados del límite de peso recomendado e índice de levantamiento.

Sujeto 1				Sujeto 2			
LPR		IL		LPR		IL	
T	O	T	O	T	O	T	O
5,8	5,1	1,7	1,3	4,2	0	1,6	Ind
5,8	5,1	1,7	1,3	4,2	0	1,6	Ind
5,8	4,8	1,7	1,4	4,2	0	1,6	Ind
5,1	4,5	1,9	1,5	3,5	3,3	1,9	2,0
5,1	5,0	1,9	1,3	3,5	4,3	1,9	1,6
5,1	5,1	1,9	1,3	3,5	5,3	1,9	1,3

Nota. Donde, LPR: límite de peso recomendado, IL: índice de levantamiento, T: Método tradicional, O: Optitrack. Amarillo: Riesgo presente nivel bajo. Rojo: Riesgo presente nivel alto.

A partir de los resultados obtenidos y el proceso aplicado para clasificar el riesgo mediante el método NIOSH para cada una de las tareas se logró reducir el tiempo invertido de la evaluación de la forma tradicional en un 85%. Esta reducción de tiempo considera el cálculo de cada factor del índice de levantamiento del método tradicional respecto al tiempo de extracción de las variables de levantamiento de la plataforma y posterior cálculo de factores e índice de levantamiento.

Al observar los valores estimados de V, H y A partir de la plataforma es posible decir que son similares a los determinados de la forma tradicional para el sujeto 1 (hombre), sin embargo, esto no ocurre para la medida de distancia horizontal para el sujeto 2 (mujer). Por otro lado, la clasificación de riesgo según el índice de levantamiento (ver tabla 4) realizada por el sistema propuesto resulta ser igual para todos los casos, excepto en los que se indeterminó el índice (sujeto 2, prueba 1). Estas diferencias podrían estar relacionadas a la estimación automática de las dimensiones antropométricas del maniquí en función de la altura, lo que debería mejorarse al permitir configurar las dimensiones de cada uno de los segmentos del maniquí en función de las medidas reales del sujeto de prueba, por lo que el diseño correcto de un maniquí informático y su escalamiento es fundamental para mejorar las diferencias de estimación de los factores del método NIOSH.

Con respecto a los resultados relacionados a la clasificación de riesgo es posible identificar que algunos índices de levantamiento provenientes de los métodos Optitrack son indeterminados (ind) para el sujeto 2 (ver tabla 7). Esto se debe a que los valores registrados por la plataforma sobrepasan el umbral de riesgo, esto implica que el factor relacionado a la medida será 0. Al haber un factor igual a 0, el LPR para la acción resulta igualmente 0, por lo

que el IL se indetermina. La explicación en términos de ergonomía de los índices de levantamiento indeterminados se relaciona con que no existe un peso determinado que sea recomendado para la acción realizada por el operador al representar tareas de manejo de cargas altamente riesgosas en las condiciones de medición.

Conclusiones

A partir del trabajo realizado, fue posible desarrollar una plataforma tecnológica que clasifica riesgo a partir de tareas de manejo manual de cargas mediante el uso de un sistema de captura de movimiento optoelectrónico.

Como un aspecto favorable del sistema tecnológico, se verificó una reducción relevante del tiempo de extracción, procesamiento y clasificación del riesgo en la aplicación del método NIOSH.

Otro aspecto relevante para el desarrollo de este sistema tecnológico dice relación con establecer las causas por las cuales se generan algunas diferencias entre los registros obtenidos con la plataforma y con el sistema tradicional, de modo de, efectuar las adecuaciones requeridas.

En forma complementaria el trabajo futuro se relaciona con realizar un proceso de validación del sistema tecnológico propuesto incorporando un mayor número de pruebas y de sujetos de estudio.

Referencias

- Baghdadi, A., Cavuoto, L., Jones-Farmer, A., Rigdon, S., Esfahani, E., & Megahed, F. (2021). Monitoring worker fatigue using wearable devices: A case study to detect changes in gait parameters. *Journal of Quality Technology*, 53(1), 47-71. <https://doi.org/10.1080/00224065.2019.1640097>
- Castellucci, I., Viviani, C., & Martínez, M. (2016). *Confeción de base de datos antropométricos de la población trabajadora chilena, especificando las diferencias de género*. Universidad de Valparaíso y Mutual de Seguridad. <https://www.suseso.cl/619/w3-article-672310.html>
- Gómez-Galán, M., Pérez-Alonso, J., Callejón-Ferre, Á. J., & López-Martínez, J. (2017). Musculoskeletal disorders: OWAS review. *Industrial Health*, 55(4), 314-337. <https://doi.org/10.2486/indhealth.2016-0191>
- Lamooki, S. R., Hajifar, S., Kang, J., Sun, H., Megahed, F. M., & Cavuoto, L. A. (2022). A data analytic end-to-end framework for the automated quantification of ergonomic risk factors across multiple tasks using a single wearable sensor. *Applied ergonomics*, 102, 103732. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2022.103732>
- Ministerio de Salud. (2012). *Norma técnica de identificación y evaluación de factores de riesgo de trastornos musculoesqueléticos relacionados al trabajo (TMERT)*. <https://www.minsal.cl/portal/url/item/cbb583883dbc1e79e040010165014f3c.pdf>
- Ministerio de Trabajo y Previsión Social. (2018). *Guía técnica para la elaboración y control de riesgos asociados al manejo o manipulación manual de carga*. <https://www.previsionsocial.gob.cl/sps/guia-tecnica-la-evaluacion-control-riesgos-asociados-al-manejo-manipulacion-manual-carga/>
- National Research Council. (1999). *The changing nature of work: Implications for occupational analysis*. National Academies Press.
- NIOSH Education and Information Division. (2010). *Occupational hazards in home healthcare*. <https://www.cdc.gov/niosh/docs/2010-125/>
- Pheasant, S., & Haslegrave, C. M. (2016). *Bodyspace: Anthropometry, ergonomics and the design of work*. Taylor & Francis.
- Ruíz, L. (2011). *Manipulación manual de cargas. Ecuación NIOSH*. Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo. <https://www.insst.es/documents/94886/509319/EcuacionNIOSH.pdf/7a77a651-ee8e-436c-9bd7-a171d90b9320>
- Shahu, R. (2016). The NIOSH lifting equation for manual lifting and its applications. *Journal of Ergonomics*, 6(2), 1000159. <https://doi.org/10.4172/2165-7556.1000159>
- Superintendencia de Seguridad Social. (2021). *Informe anual de seguridad y salud en el trabajo*. <https://www.suseso.cl/605/w3-article-679828.html>
- Valero, E., Sivanathan, A., Bosché, F., & Abdel, M. (2016). Musculoskeletal disorders in construction: A review and a novel system for activity tracking with body area network. *Applied Ergonomics*, 54, 120-130. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2015.11.020>
- Wang, D., Dai, F., & Ning, X. (2015). Risk assessment of work-related musculoskeletal disorders in construction: State-of-the-art review. *Journal of Construction Engineering and Management*, 141(6), 04015008. <https://doi.org/10.1061/%28ASCE%29CO.1943-7862.0000979>