

Protocolo de una prueba directa para la evaluación de manipulación manual de carga con el software IMOTION™ en el laboratorio MOVYLAB .

Daniela Donado Dickson.
Diana Piñeros Borbón.

**PROTOCOLO DE UNA PRUEBA DIRECTA PARA LA EVALUACIÓN
DE MANIPULACIÓN MANUAL DE CARGA CON EL SOFTWARE
IMOTION™ EN EL LABORATORIO MOVYLAB.**

DANIELA MARGARITA DONADO DICKSON

DIANA PAOLA PIÑEROS BORBÓN

UNIVERSIDAD EL BOSQUE

FACULTAD DE MEDICINA

ESPECIALIZACIÓN EN SALUD OCUPACIONAL

BOGOTÁ D.C.

2020

Protocolo de una prueba directa para la evaluación de manipulación manual de carga con el software IMOTION™ en el laboratorio MOVYLAB.

Daniela Donado Dickson.
Diana Piñeros Borbón.

**PROTOCOLO DE UNA PRUEBA DIRECTA PARA LA EVALUACIÓN
DE MANIPULACIÓN MANUAL DE CARGA CON EL SOFTWARE
IMOTION™ EN EL LABORATORIO MOVYLAB.**

DANIELA MARGARITA DONADO DICKSON

DIANA PIÑEROS BORBÓN

Asesora Temática:

Dra. DIANA CAROLINA GARZÓN LEAL *

Asesora metodológica

Dra. CLARA MARGARITA GIRALDO LUNA**

UNIVERSIDAD EL BOSQUE

FACULTAD DE MEDICINA

ESPECIALIZACIÓN EN SALUD Y SEGURIDAD EN EL TRABAJO

BOGOTÁ D.C.

2020

* Asesora temática: Fisioterapeuta. Terapeuta ocupacional, Magister en prevención de riesgos laborales, ergonomía y seguridad industrial; candidata doctorado en ergonomía y psicología aplicada

**Asesora metodológica: Bacterióloga, Especialista en epidemiología. Magister en salud pública y desarrollo social

Protocolo de una prueba directa para la evaluación de manipulación manual de carga con el software IMOTION™ en el laboratorio MOVYLAB .

Daniela Donado Dickson.
Diana Piñeros Borbón.

Nota de Aprobación

Director de Investigaciones

Director División de Posgrados

Director de Programa

Jurado

Protocolo de una prueba directa para la evaluación de manipulación manual de carga con el software IMOTION™ en el laboratorio MOVYLAB.

Daniela Donado Dickson.
Diana Piñeros Borbón.

NOTA DE SALVEDAD DE RESPONSABILIDAD INSTITUCIONAL

La Universidad El Bosque, no se hace responsable de los conceptos emitidos por los investigadores en su trabajo, solo velará por el rigor científico, metodológico y ético del mismo en aras de la búsqueda de la verdad y la justicia.

Protocolo de una prueba directa para la evaluación de manipulación manual de carga con el software IMOTION™ en el laboratorio MOVYLAB.

Daniela Donado Dickson.
Diana Piñeros Borbón.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios por bendecirnos la vida, por guiarnos a lo largo de nuestra existencia, ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y de debilidad.

Gracias a nuestros padres, por ser los principales promotores de nuestros sueños, por confiar y creer en nuestras expectativas, por los consejos, valores y principios que nos han inculcado.

Agradecemos a nuestros docentes de la Universidad del Bosque, por haber compartido sus conocimientos a lo largo de la preparación de nuestro postgrado, de manera especial, a las docentes Clara Margarita Giraldo Luna y Diana Carolina Garzón, asesoras de nuestro proyecto de investigación quienes nos han guiado con su carácter, integridad y su rectitud como docentes.

Protocolo de una prueba directa para la evaluación de manipulación manual de carga con el software IMOTION™ en el laboratorio MOVYLAB.

Daniela Donado Dickson.
Diana Piñeros Borbón.

DEDICATORIA

Nos gustaría dedicar esta tesis a toda nuestra familia. A nuestros padres, quienes nos brindaron su apoyo incondicional en todo momento, pero sobre todo en aquellas noches de trabajo arduo que parecían no terminar; su compañía y actitud siempre apacible nos motivaron a continuar frente a todo obstáculo personal, académico y profesional, que indudablemente nos retaron y colocaron a prueba a cada instante y de los cuales, sin duda alguna queda un aprendizaje enorme.

GUIA DE CONTENIDO

	Pág.
1. Problema.....	17
2. Justificación.....	21
3. Objetivos	25
3.1 Objetivo general	25
3.2 Objetivos específicos	25
4. Marco Teórico	26
4.1 Marco conceptual.....	26
4.1.1 Trastornos Musculoesqueléticos.....	26
4.1.2 Carga física de trabajo	29
4.1.3 Manejo manual de carga.....	31
4.1.4 Wearable, Sensores software.....	34
4.1.5 Electromiografía	38
4.1.6 Parámetros de la marcha.....	39
4.1.7 Posicionamiento Marcadores.....	41

4.2	Marco Contextual.....	43
4.3	Estado del arte.....	44
5.	Aspectos Metodológicos.....	46
5.1	Tipo de estudio.....	46
5.2	Recolección de información.....	46
6.	Materiales y Métodos.....	47
7.	Consideraciones éticas.....	50
8.	Resultados.....	51
8.1	Factores de riesgo relacionados con la exposición a la manipulación manual de carga.....	51
8.1.1	Procesos donde hay exposición a la manipulación manual de carga.....	51
8.1.2	Matriz de operacionalización de variables.....	52
8.1.3	Lista de chequeo.....	54
8.1.4	Requisitos legales y técnicos aplicables a la exposición ocupacional a manipulación manual de carga.....	58
8.1.5	Protocolo de evaluación de manipulación manual de carga utilizando el software IMOTION™.....	61
9.	Discusión.....	66
10.	Conclusiones.....	69

11. Recomendaciones.....	71
11.1 Para las empresas	71
11.2 Para el trabajador	72
11.3 Para el laboratorio	73
11.4 Para la academia.....	74
12. Referencias	75

ANEXOS

Anexo 1. Base de datos artículos

Anexo 2. Técnicas de manipulación manual de cargas

Anexo 3. Manipulación manual de cargas según Actividad económica

Anexo 4. Matriz de operacionalización de variables

Anexo 5. Lista de chequeo para evaluación de manipulación manual de cargas

Anexo 6. Matriz legal y requerimientos técnicos

Anexo 7. Mapa anatómico de sensores de movimiento

Anexo 8. Mapa anatómico de Electromiografía

Anexo 9. Base de datos de consolidación de datos

Anexo 10. Protocolo de evaluación para Manipulación manual de cargas

Anexo 11. Herramienta Ofimática

Protocolo de una prueba directa para la evaluación de manipulación manual de carga con el software IMOTION™ en el laboratorio MOVYLAB.

Daniela Donado Dickson.
Diana Piñeros Borbón.

LISTA DE FIGURAS

	<i>Pág.</i>
Figura 1. Peso Teórico en función de la zona de manipulación.	32
Figura 2. Diagrama herramientas tecnológicas MOVYLAB	36

Protocolo de una prueba directa para la evaluación de manipulación manual de carga con el software IMOTION™ en el laboratorio MOVYLAB.

Daniela Donado Dickson.
Diana Piñeros Borbón.

LISTA DE TABLAS

	<i>Pág.</i>
Tabla 1. Descripción de las actividades según objetivos.	46
Tabla 2. Valores de referencia para ángulos articulares	60

RESUMEN

La manipulación manual de cargas sigue siendo una tarea bastante frecuente en diversos sectores productivos que no cuentan aún con procesos industriales mecanizados, que requieren del levantamiento, transporte, colocación, empuje y tracción de una carga determinada.

El objetivo del presente documento será diseñar un protocolo para la evaluación de manipulación manual de cargas en trabajadores de diferentes sectores económicos en el laboratorio MOVYLAB con la utilización del software IMOTION™. Se realiza un estudio descriptivo en el cual se determinan los parámetros para la elaboración del protocolo de manera que pueda ser evaluada la exposición a factores de riesgo relacionados con MMC, considerando para ello la aplicación de herramientas cualitativas y cuantitativas. Como producto final, se desarrolla una herramienta ofimática que permite consolidar la información de los instrumentos evaluativos, para el posterior análisis biomecánico del cuerpo humano.

Palabras Claves: Tecnología, manipulación manual de cargas, carga física, posturas inadecuadas, carga, software, electromiografía, sensores, movimiento.

ABSTRACT

Manual handling of loads is still a fairly frequent task in various productive sectors that do not yet have mechanized industrial processes and that require the lifting, transporting, positioning, pushing and pulling of a given load.

The objective of this document will be to design a protocol for the evaluation of manual handling of loads in workers from different economic sectors in the MOVYLAB laboratory with the use of the IMOTION™ software. A descriptive study is carried out in which the parameters for the elaboration of the protocol are determined so that the exposure to risk factors related to MMC can be evaluated considering the application of qualitative and quantitative tools. As a final product, an office automated tool is developed which, according to the information entered in the assessment instruments, enhances the biomechanical analysis of the human body.

Key Words: Technology, manual manipulation of loads, physical load, inadequate postures, load, software, electromyography, sensors, movement.

Introducción

La manipulación manual de cargas (MMC) sigue siendo una tarea bastante frecuente en diversos sectores productivos que no cuentan aún con procesos industriales mecanizados y que requieren del levantamiento, transporte, colocación, empuje y tracción de una carga determinada. En ocasiones, ante la falta de experiencia, pericia o incapacidad de manipular adecuadamente una carga, se desencadenan Trastornos Musculoesqueléticos (TME) que posteriormente se verán reflejados en la disminución de productividad laboral. Si bien es cierto que las lesiones ocasionadas no son mortales, si suelen originar grandes costos en salud.

Se tiene como finalidad diseñar un protocolo para la evaluación de MMC en la población trabajadora a través de herramientas cualitativas y cuantitativas que permitan determinar las características posturales frente a la actividad muscular y rangos de movilidad articular presentes durante la movilización de una carga. Para lo anterior, se utilizará el software IMOTION™ presente en el laboratorio MOVYLAB.

El desarrollo del documento actual, pretende ser una herramienta para ser empleada por las empresas y los trabajadores en su gestión preventiva, a través de la cual se contribuye a dar cumplimiento al deber de protección consagrado en el artículo 184 del Código del Trabajo en donde afirma que el empleador está obligado a tomar todas las medidas necesarias para

Protocolo de una prueba directa para la evaluación de manipulación manual de carga con el software IMOTION™ en el laboratorio MOVYLAB.

Daniela Donado Dickson.
Diana Piñeros Borbón.

proteger eficazmente la vida y salud de los trabajadores; proporcionando orientación e información a los profesionales en salud ocupacional, a los representantes de comités paritarios de higiene y seguridad para la identificación y posterior asignación de controles pertinentes frente a los riesgos derivados para la salud de los trabajadores que realizan labores de MMC.

1. Problema

La MMC es una tarea habitual presente en los diferentes sectores económicos, y aun en medio de la mecanización y tecnificación derivada de los procesos industriales, sigue siendo representativa. Por lo anterior, es importante trabajar en el fortalecimiento de la promoción de la salud y la prevención de los riesgos laborales en las tareas que exigen su ejecución. Expertos y organismos internacionales como la Organización Internacional del Trabajo (OIT) y la Organización Mundial de la Salud (OMS), han manifestado que la MMC es una de las causas más frecuentes de Accidentes de Trabajo (AT) y Enfermedades Laborales (EL) dentro de las que se encuentran los Trastornos Musculoesqueléticos (TME). [1]

La MMC definida como aquella derivada de la exigencia de tareas propias como el levantamiento, el empuje, la colocación, la tracción, el transporte o el desplazamiento de una carga animada o inanimada de dimensiones variables, es actualmente requerida en diferentes procesos industriales.[2] Uno de los factores de riesgo a contemplar en la MMC es el peso de la carga y éste debe estar relacionado con las características de las persona (sexo, edad, y estado de salud) las cuales pueden presentar un deterioro físico derivado del movimiento que requiera la tarea.

Traumatismos agudos procedentes de AT y trastornos acumulativos del sistema musculoesquelético como procesos dolorosos en miembros superiores y en región dorso

lumbar, son algunos de los efectos en salud resultantes. Este último, fue considerado en 2007 como uno de los principales problemas de salud relacionados con el trabajo en la Unión Europea (UE) (23,8 %), con un porcentaje de trabajadores afectados del 38,9 %. [3]

Sectores como la construcción, la agricultura y la industria manufacturera son trabajos con un alto grado de exigencia en MMC [4], siendo importante de esta manera la identificación oportuna y control de factores de riesgo implícitos en la carga, la tarea, el entorno y el trabajador que permitan tomar medidas preventivas ante la aparición de dichos TME. [3]

Es importante destacar que se han diseñado estrategias y sofisticados sistemas de software que son utilizados en diferentes laboratorios para realizar el análisis de gestos posturales específicos implícitos en la tarea, y que a su vez reconocen el posicionamiento articular frente a una actividad específica, así como los grupos musculares que intervienen en la misma.[5]

El Laboratorio de análisis de movimiento MOVYLAB en el cual se llevará a cabo el presente estudio, cuenta con servicios de diagnóstico a través del análisis de movimiento computarizado, entre los que se destacan el análisis de movimiento laboral, ergonómico, deportivo y la evaluación funcional motora. Presta sus servicios para realizar evaluación biomecánica funcional del sistema musculoesquelético en diferentes actividades y hacer un diagnóstico funcional preciso e integral de alteraciones de la marcha y evaluación funcional del paciente.

MOVYLAB, cuenta con un Software *Vicon* de 8 cámaras optoelectrónicas modelo *Vantage* de última tecnología, diseñadas para crear una reconstrucción tridimensional del sujeto que permite el análisis cuantitativo de la marcha por medio de un sistema informático complejo con una precisión milimétrica. Adicionalmente, este sistema cuenta con dos cámaras de vídeo análogas de referencia para la captura anteroposterior y lateral del paciente. Estos dos tipos de cámaras están sincronizadas para permitir la sobre posición del video digital y el video análogo. [6]

La importancia de evaluar una tarea aplicada a la MMC empleando estos softwares para el análisis biomecánico durante el levantamiento, el empuje, la colocación, la tracción, el transporte o el desplazamiento de una carga, es valorar y preservar la salud del trabajador ante posibles lesiones derivadas del gesto, evaluando con especial atención los riesgos que inciden directamente en la espalda, especialmente en la zona dorso-lumbar. [7]

Con relación a lo anterior, el producto final de este estudio será el diseño de un protocolo para el laboratorio MOVYLAB con los lineamientos para la programación del software para realizar la evaluación de la MMC y ofrecer los servicios a empresas de diferentes sectores económicos, adicional, que pueda ser un laboratorio asociado con la Universidad El Bosque para análisis biomecánicos.

Protocolo de una prueba directa para la evaluación de manipulación manual de carga con el software IMOTION™ en el laboratorio MOVYLAB.

Daniela Donado Dickson.
Diana Piñeros Borbón.

Pregunta de investigación

¿Cuáles son los elementos que debe contener el protocolo para la evaluación de manipulación manual de carga, utilizando el software IMOTION™?

2. Justificación

En Estados Unidos, un estudio realizado por el *National Safety Council*, refiere que la causa prevalente de lesiones laborales, fueron en un 31% los sobreesfuerzos, la espalda fue la parte del cuerpo más afectada con un 22%. Reino Unido por su parte, pone en manifiesto que la MMC es la causa del 34% de accidentes de trabajo mientras en Francia representa el 31%. [8]

En contraste, en la Primera Encuesta Nacional de Condiciones de Salud y Trabajo del Sistema General de Riesgos Profesionales-I (ENCST), realizada en Colombia y publicada por el Ministerio de la Protección Social en el 2007, se identificó que en el 41,2% de los centros de trabajo encuestados referían como peligros presentes el levantamiento y/o movilización de cargas pesadas sin ayuda mecánica, identificando igualmente que el sector económico al que pertenecían estos centros de trabajo eran, comercio con 19,7%, manufactura con 16,1%, actividades inmobiliarias con el 11,5%, agricultura con el 8,6%, construcción con el 8,2%, transporte con el 6,9%, otras actividades con el 5,3%, educación el 4,9% y servicios sociales y de salud con el 4,3%. Por otra parte, la Segunda Encuesta Nacional de Condiciones de Seguridad y Salud en el Trabajo en el Sistema General de Riesgos laborales del 2013 informó, que el levantamiento y manipulación de cargas sin ayuda mecánica como factor de riesgo ocupó el 19%. Adicionalmente, al preguntar a los trabajadores, el 11,37% contestó que la mayoría del tiempo realizaba MMC mientras que el

7,6% refirió que lo hacía todo el tiempo. [9] Las publicaciones en Colombia no refieren estadísticas específicas de accidentalidad y enfermedad laboral por MMC que permitan dimensionar la magnitud del problema en el Sistema General de Riesgos Laborales.

Según la Federación de Aseguradores Colombianos (FASECOLDA) en el año 2012 el 88% de las patologías presentadas por los trabajadores fueron TME, lo cual ha generado preocupación y motiva a las empresas a crear programas de promoción y prevención que beneficien la salud de los trabajadores. [10] De igual modo, la Guía de atención integral basada en la evidencia para dolor lumbar inespecífico y enfermedad discal relacionados con la MMC y otros factores de riesgo en el lugar de trabajo (GATI- DLIED), pone en evidencia que los TME son la primera causa de morbilidad profesional con una tendencia continua a incrementarse con el paso del tiempo, afectando principalmente los segmentos corporales de miembros superiores y columna vertebral, seguida de patología auditiva, enfermedades del sistema respiratorio y trastornos mentales, entre otras reportadas. [11]

Por su parte, la tecnología *wearable* permite ampliar el campo de la investigación de la cinemática, entendida como la mecánica que trata del movimiento en sus condiciones de espacio y tiempo, sin tener en cuenta las causas que lo producen. Dicha tecnología, es desarrollada a través de un *software* que crea una visión tridimensional y obtiene datos de variables como ángulos, velocidad y aceleración de determinado movimiento en tiempo real. El objetivo del análisis del movimiento, es medir cuantitativamente los esquemas o modelos

de movimiento del ser humano, identificar alteraciones y observar la postura, con el fin de reconocer el posicionamiento articular frente a determinada actividad, así como de los grupos musculares que intervienen en la misma. De igual manera, evalúa cómo deben llevarse a cabo las actividades de levantamiento, empuje, desplazamiento o colocación de cargas, teniendo en cuenta que toda carga que pese más de 3 kg puede ocasionar un potencial riesgo dorsolumbar si no se manipula en condiciones ergonómicas adecuadas. [28]

En un esfuerzo por reducir este riesgo potencial de desencadenar diversos TME relacionados con MMC en los puestos de trabajo, las investigaciones han analizado la biomecánica de los trabajadores y desarrollado herramientas de análisis de tareas. Sin embargo, las observaciones de los procesos de trabajo dentro de las organizaciones manifiestan que la evaluación de riesgos mediante análisis biomecánico es difícil de aplicar debido a que los procesos de trabajo hoy en día incluyen una combinación de tareas, que pueden dificultar la valoración del análisis de puesto de trabajo. [12]

La electromiografía es un procedimiento diagnóstico que se utiliza para evaluar la salud de los músculos y las células nerviosas que los controlan (neuronas motoras). Consiste en el registro gráfico de la actividad eléctrica de los diferentes músculos del cuerpo, siendo de esta manera una prueba diagnóstica importante para determinar de forma precisa enfermedades neuromusculares congénitas o adquiridas permitiendo clasificarlas según su intensidad y origen. Para ello, analiza la amplitud de las corrientes eléctricas, el número de fibras

musculares que se contraen, el tiempo que tardan en contraerse y el tiempo que se mantienen contraídas. [13]

Este equipo, es utilizado actualmente en MOVYLAB para determinar los patrones reales de activación muscular mediante la medida de la señal eléctrica generada por los grupos musculares ante ese proceso de activación. Cuenta con 4 plataformas de fuerza multi axiales AMTI *AccuGait Optimized*™ que permiten datos más precisos respecto a las anteriores tecnologías utilizadas en la industria biomecánica y una plataforma adicional de sistema P-WALK para presiones plantares. [13]

La importancia de desarrollar un protocolo enfocado a la MMC en un laboratorio de movimiento, es permitir el análisis cuantitativo del mismo, así como la identificación de la contracción de las fibras musculares al movilizar una carga, determinando así como principal alcance al culminar la investigación, el desarrollo de un protocolo que permita evaluar aspectos biomecánicos durante la MMC. Este *Software* permite identificar en tiempo real los ángulos de movimiento además de monitorizar la actividad eléctrica del grupo muscular que está interviniendo en la actividad con el fin de establecer un posible factor de riesgo derivado del gesto. El protocolo, facilita a las empresas la evaluación de los riesgos relacionados con TME derivados de la MMC en los diferentes sectores productivos.

3. Objetivos

3.1 Objetivo general

Diseñar un protocolo de una prueba directa para la evaluación de MMC en la población trabajadora utilizando el software IMOTION™

3.2 Objetivos específicos

- Identificar factores de riesgo relacionados con la manipulación manual de cargas.
- Establecer los requisitos legales y técnicos aplicables a la exposición ocupacional a manipulación manual de carga.
- Construir el protocolo de la prueba directa para el laboratorio MOVYLAB para la evaluación de manipulación manual de carga utilizando el software IMOTION™.
- Plantear recomendaciones referentes a la aplicación del protocolo en el laboratorio MOVYLAB y las especificaciones que se deben cumplir en el trabajador.

4. Marco Teórico

4.1 *Marco conceptual*

4.1.1 Trastornos Musculoesqueléticos

De acuerdo con el Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional (NIOSH) de los Estados Unidos, un TME relacionado con el trabajo es una lesión de las estructuras musculares, 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 intensifica negativamente por la ejecución de actividades laborales como levantar, empujar o halar objetos. Los síntomas pueden incluir dolor, rigidez, hinchazón, adormecimiento y cosquilleo. [14] Los TME prevalecen actualmente en trabajadores de diferentes sectores laborales, desencadenando considerables niveles de ausentismo y en consecuencia una baja productividad laboral de la empresa. [11]

Los TME afectan a un gran número de trabajadores en la agricultura, la industria, la construcción y los servicios, tanto en trabajos de tipo operativos como administrativos. Comúnmente, se observan diversas alteraciones en músculos, tendones, nervios o articulaciones, pudiendo presentarse en cualquier zona del cuerpo; las más comunes: cuello,

espalda y extremidades superiores. Sus síntomas suelen ser fáciles de identificar; el más común es el dolor localizado. Aunque los TME pueden tener un origen extralaboral, son las condiciones de trabajo las que en su gran mayoría desencadenan síntomas en los individuos; principalmente las posturas de trabajo, los esfuerzos, y ciertos movimientos asociados a la MMC. Este conjunto de hábitos posturales, por lo general se relacionan con gestos involuntarios por parte del trabajador y en ocasiones suelen estar condicionados por el diseño del puesto, por los tipos de tareas que deben realizarse y su organización.

No obstante, es importante mencionar que la ocurrencia de los TME se origina cuando la carga espinal excede la tolerancia tisular, y el sistema nervioso central coactiva los músculos antagonistas del tronco en un intento de estabilizar el mismo en presencia de cargas externas excesivas o cuando las tareas de trabajo conducen a fatiga muscular local. [11]

Dentro de las acciones preventivas para mitigar el desarrollo de las mismas, se incluyen cambios en las estaciones de trabajo y en las prácticas de MMC para evitar levantar objetos fuera del límite permisible, utilizar los dispositivos técnicos destinados a esas tareas y la reducción del tiempo en que se adopta la posición sedente y bípeda.

La incidencia anual de dichos trastornos en el mundo industrializado, representa aproximadamente un cuarto de todas las enfermedades profesionales, siendo los trastornos de la espalda baja y las extremidades superiores relacionadas con el trabajo los más comunes.

[18] En particular, la proporción de la población expuesta a factores de riesgo ergonómicos para TME es del 87% según la carga global de enfermedad 2016. [17] Con relación a lo anterior, la OMS afirma que los TME suelen cursar con dolor (a menudo persistente) y limitación de la movilidad, la destreza y las capacidades funcionales. La persona ve reducida su capacidad para trabajar y participar en la vida social, como consecuencia de ello se observa un deterioro en su bienestar mental y en general, la prosperidad de la comunidad donde vive.

[11]

La OIT es clara en afirmar que la salud de los trabajadores es un determinante fundamental de la productividad. Un círculo vicioso de malas condiciones en salud, baja capacidad laboral, disminución en la productividad y menor expectativa de vida. Es el resultado típico de la falta de intervenciones sociales para tratar de resolver los problemas subyacentes del empleo irregular y de baja calidad como también de bajos salarios y la falta de protección social.[16] En contraste, las investigaciones de la OMS, han demostrado que las iniciativas en el lugar de trabajo pueden contribuir a reducir el absentismo por enfermedad en un 27% y los costos de atención sanitaria para las empresas en un 26%. [17]

Los TME relacionados con el trabajo son motivo de preocupación en diversos países, pues afecta un número importante y cada vez mayor de trabajadores, sin limitarse a un sector o a una actividad profesional concreta. La preocupación es tal que la Agencia Europea para la Seguridad y Salud en el Trabajo ha dedicado campañas a esta problemática: la del año

2000, con el lema “Da la espalda a los TME”; y la del 2007, “aligerar la carga”, que se concretaron con la publicación y difusión de numerosa documentación.

Los mecanismos que causan TME son muy complejos y comprenden diversos factores, no solo asociados a la carga física, sino también a aspectos psicosociales y organizativos.

Se clasifican los factores asociados a TME en tres categorías como: Postura de segmentos implicados, fuerza ejercida, repetitividad de las acciones y tiempo de recuperación. [47]

4.1.2 Carga física de trabajo

La carga física de trabajo es el conjunto de requerimientos físicos a los que se ve sometida una persona a lo largo de su jornada laboral. Estos requerimientos conllevan una serie de esfuerzos por parte del trabajador que suponen un mayor consumo de energía en cuanto mayor sea el esfuerzo. De acuerdo con lo anterior, se dice que un trabajo tiene carga física cuando el tipo de actividad requerida por la tarea es principalmente física o muscular. [19]

Determinadas demandas físicas, como caminar o correr, obligan a que el músculo se contraiga (acorte) y elongue (alargue) rítmicamente. A este tipo de contracción muscular se

le denomina isotónica y al trabajo realizado se le conoce como dinámico. No obstante, en otras ocasiones el músculo debe mantener su contracción durante un tiempo determinado. Esto es lo que ocurre cuando se mantiene un segmento corporal (sosteniendo un peso, por ejemplo) o una postura determinada. A este tipo de contracción se la denomina isométrica y al trabajo o ejercicio derivado, estático.

Ariza en su estudio de carga física aplicado en trabajadores de un supermercado, refiere que considera necesario determinar la carga máxima de trabajo físico que puede ser soportada por un trabajador durante una jornada laboral, sin llegar a ocasionar fatiga. A este tiempo técnicamente se le conoce como tiempo máximo de trabajo aceptable, allí se aconseja disminuir el tiempo de exposición en actividades que tengan mayor demanda física y donde se promuevan patrones de trabajo y descanso que eviten las lesiones musculoesqueléticas especialmente las que desencadenan dolor lumbar. [19]

Es importante tener en cuenta que la investigación, análisis y estudio de los factores de riesgo presentes en los diversos entornos ocupacionales son fundamentales para la planeación e implementación de intervenciones preventivas eficaces. La prevención parece ser una de las mejores maneras para evitar la aparición de los TME relacionados con el trabajo. Por lo tanto, algunos estudios sugieren como los principales componentes de riesgos biomecánicos la fuerza excesiva, repetición de tareas, velocidad de los movimientos, duración de las actividades, posiciones laborales inadecuadas y asimétricas, entre otras. [20]

4.1.3 Manejo manual de carga

El manejo manual de carga es definido como aquella operación derivada de la exigencia de tareas propias como el levantamiento, el empuje, la colocación, la tracción, el transporte o el desplazamiento de una carga animada o inanimada de dimensiones variables. [19] Las características de la tarea, factores fisiológicos y biomecánicos individuales acompañados por mecanismos de control motor alterados representan los principales determinantes de la salud musculoesquelética. Las tareas de trabajo críticas son predominantemente el levantamiento manual, empuje, actividades repetidas y las posturas incómodas y prolongadas. [21]

La Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relativos a la MMC, parte de establecer un valor para el máximo peso que es recomendable manipular en condiciones ideales considerando la posición de la carga respecto al trabajador (peso teórico). Tras considerar las condiciones específicas de la manipulación evaluada (el peso real de la carga, el nivel de protección deseado, las condiciones ergonómicas y características individuales del trabajador), se obtiene un nuevo valor de peso máximo recomendado (Peso aceptable). [22]

La comparación del peso real de la carga con el peso aceptable obtenido, indicará al evaluador si se trata de una MMC segura o por el contrario expone al trabajador a un riesgo

excesivo. Asimismo, el método propone acciones correctivas para mejorar, si fuera necesario, las condiciones del levantamiento. [22]

El **Peso Aceptable** se define como un límite de referencia teórico. Si el peso real de la carga es mayor que el Peso Aceptable, se afirma que el levantamiento conlleva un riesgo para la salud y por tanto debería evitarse y/o proponerse acciones correctivas. El cálculo del Peso Aceptable parte de un **Peso Teórico Recomendado** que varía de acuerdo a la zona de manipulación de la carga respecto al trabajador, el cual es calculado en un contexto ideal de manipulación. Si las condiciones de levantamiento no son las esperadas, el peso teórico inicialmente recomendado se reducirá, resultando un nuevo valor máximo tolerable (el peso aceptable). [22]

El Peso Teórico varía según la posición de la carga respecto al cuerpo del trabajador, que a su vez depende de dos valores:

- La **Altura** o **Distancia Vertical (V)** a la que se maneja la carga: Distancia desde el suelo al punto en que las manos sujetan el objeto, puede tomar los valores: Altura de la vista, Encima del codo, Debajo del codo, Altura del muslo o Altura de la pantorrilla.

[22]

- La **Separación** con respecto al cuerpo o **Distancia Horizontal (H)** de la carga al cuerpo. Puede tomar los valores: Cerca del cuerpo o Lejos del cuerpo. [22]

Figura 1. Peso Teórico en función de la zona de manipulación.



Fuente: Ergonautas

En consecuencia, en un levantamiento ideal, el peso máximo recomendado es de 23 kg, este valor, denominado **Constante de Carga** se basa en los criterios psicofísico y biomecánico, y es el que podría ser levantado sin problemas en esas condiciones por el 75% de las mujeres y el 90% de los hombres. Otros estudios consideran que la Constante de Carga puede tomar valores mayores (por ejemplo 25 Kg.) [23]

4.1.4 Wearable, Sensores software.

Wearable hace referencia al conjunto de aparatos y dispositivos electrónicos que se incorporan en alguna parte de nuestro cuerpo interactuando de forma continua con el usuario y con otros dispositivos con la finalidad de realizar alguna función concreta. La tecnología *wearable* se halla presente en un extenso abanico de campos que satisfacen nuestras necesidades, con la finalidad de mejorar nuestra calidad de vida estando muy presente en la salud de los pacientes, la seguridad de las personas que se exponen a determinados peligros en su trabajo diario. [27]

En los últimos años, los sensores portátiles se han utilizado como herramienta cuantitativa biomecánica en la prevención de TME relacionados con el trabajo. Anteriormente, en un intento de reducir el riesgo de TME mientras se manejan materiales, se desarrollaron y aceptaron varios métodos por la literatura internacional utilizada en el entorno laboral. [25]

Sin duda, estos enfoques han facilitado las actividades de prevención durante las últimas décadas al mejorar la salud y la seguridad laboral de las personas. Sin embargo, es necesaria una actualización significativa basada en dos aspectos principales; los métodos estandarizados comúnmente utilizados para la evaluación del riesgo biomecánico los cuales se basan principalmente en observación y enfoques subjetivos y no incluyen herramientas basadas en instrumentación, y el uso generalizado reciente de robots, automatización y

mecanización en la industria para la reducción del esfuerzo físico ha modificado las actividades de trabajo de manejo manual.

En relación a lo anteriormente expuesto, el Análisis Tridimensional del Movimiento es la herramienta que nos permite evaluar de forma completa y objetiva el desplazamiento de las articulaciones que conforman el aparato locomotor. Gracias a esta tecnología es posible medir con precisión los movimientos en los tres planos del espacio, tal como se evidencia en las articulaciones del cuerpo humano. [27]

De manera que, con el avance de los tiempos, la introducción de los sistemas computacionales y los avances en la informática, se ha logrado obtener los modernos y sofisticados sistemas para análisis del movimiento humano disponibles en la actualidad.

Las tecnologías que son empleadas en la actualidad a nivel mundial incluyen dispositivos opto-electrónicos para el análisis biomecánico, como los llamados laboratorios de análisis de movimiento o análisis de marcha; uno de estos sistemas es el BTS SMART-E que puede medir en cualquier tipo de movimiento corporal, el desplazamiento angular, velocidad y aceleración, con relación al tiempo. [26]

En estudios de análisis de movimiento humano se utilizan diferentes equipos; BTS SMART-D, SMART (BTS. Milan, Italy) y *Vicon MX*, que son sistemas digitales

optoelectrónicos comunes y de alta precisión para el análisis del movimiento. Estos sistemas consisten básicamente en un conjunto de cámaras infrarrojas directamente conectadas a una caja de integración que contiene el software adecuado para la captura de datos y reconstrucción 3D de los movimientos humanos. Los equipos como VICON, ELITE, y *Max Reflex* son usados por ejemplo en la valoración de la marcha, en donde se realiza una reconstrucción en 3D de los marcadores logrando crear un algoritmo aplicable a la realización de una tarea, lo que genera una amplia gama de aplicaciones para el análisis de movimiento. [27]

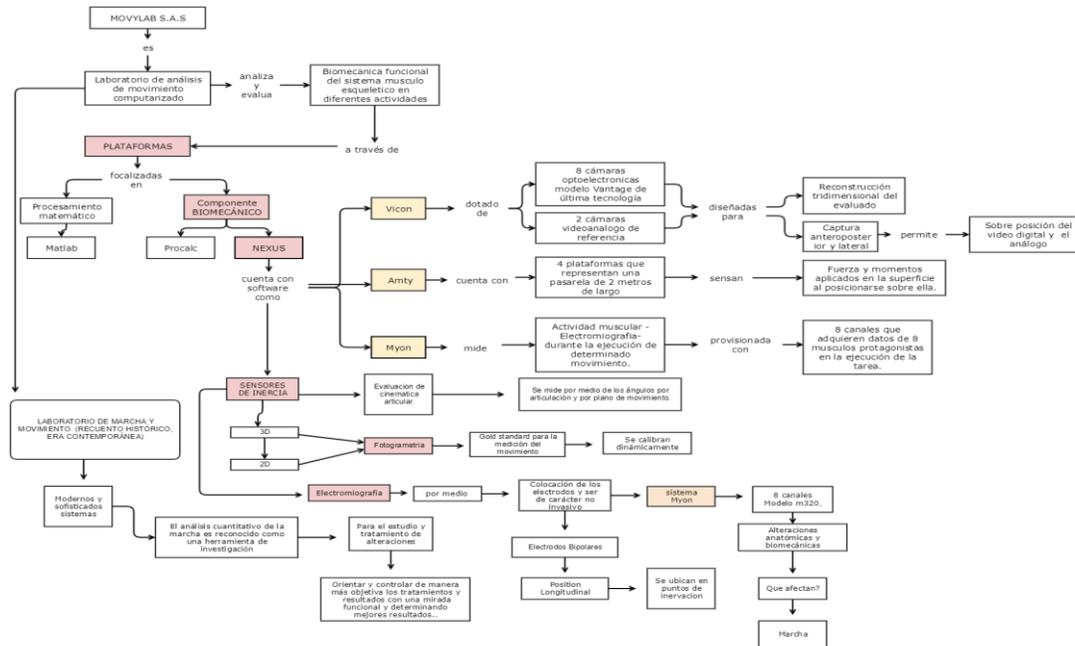
Adicionalmente *Software Vicon* de 8 cámaras está acompañado por dos cámaras de vídeo análogo de referencia para la captura anteroposterior y lateral del paciente. Estos dos tipos de cámaras están sincronizadas para permitir la sobre posición del video digital y el video análogo. [26]

Otros importantes sistemas de análisis como el sistema tridimensional *Zebri CMS 70P*, CA 6000 es utilizado para determinar el rango de movimiento de la columna lumbar en población turca con el fin de proveer un diagnóstico de los problemas de la columna y además poder hacer un seguimiento más detallado del tratamiento. Este sistema detecta y registra los cambios que ocurren en el movimiento angular de la articulación mediante el uso de ondas sonoras de alta frecuencia. La captura de movimiento en 3D con sistemas de seguimiento basados en marcadores son reconocidos como el “*gold standard*” actual en la evaluación del

movimiento en humanos. Dichos sistemas han sido adaptados en distintos ámbitos de aplicación, se emplean en la evaluación clínica; incluida la planificación de cirugía multinivel en parálisis cerebral, estudios sobre la idoneidad de ortesis o intervenciones protésicas e investigación en cuantiosos aspectos del movimiento. [27]

Los dispositivos IMOTION™ ofrecen control de motores de imanes permanentes mediante la integración de hardware y software. Estos dispositivos pueden realizar un control orientado al campo sin sensores o basado en sensores en todo el rango de velocidad del motor, incluido el control estable a velocidades de debilitamiento de campo profundo. El software de control de motor IMOTION™ es ofrecido bajo el nombre *Motion Control Engine* (MCE) en adelante. MCE también ofrece *Power Factor Correction* (PFC). MCE ofrece soporte de scripting para permitir escribir funcionalidades a nivel del sistema por encima del control del motor y PFC y Ampliar la funcionalidad de MCE.

Figura 2: Diagrama Herramientas tecnológicas de MOVYLAB



Fuente: Elaboración propia

4.1.5 Electromiografía

La electromiografía (EMG), es considerado un método de evaluación biomecánica por ser el único medio disponible actualmente para medir de manera indirecta, las fuerzas producidas por los grupos musculares, formando así parte de la biomecánica interna. Una de las herramientas que se utilizarán en la presente investigación será la electromiografía de superficie; la cual utiliza electrodos que son colocados sobre la piel sin necesidad de llevar a cabo ningún procedimiento invasivo. Los potenciales que ocurren en los sarcolemas de las fibras activas son conducidos por los tejidos circundantes y llevados a las superficies de la

piel. En el momento en que los electrodos entran en contacto directo con la superficie epidérmica, éstos permitirán el registro de la totalidad de la actividad eléctrica de todas las fibras musculares activas. Lo anterior, dejará en evidencia la relación establecida entre la representación gráfica obtenida y las características de contracción del músculo completo.

[28]

La electromiografía (EMG) de superficie cuenta con un sistema *Myon*® de 8 canales Modelo m320 y es considerado actualmente el punto de referencia más alto por su calidad de señal, facilidad de uso, funcionalidad y diseño [28].

VICON provee una plataforma llamada NEXUS en la cual son integrados todos los sistemas previamente mencionados, que permite la sincronización, el procesamiento, modelación y valoración de los datos obtenidos en un análisis computarizado de la marcha. Esta plataforma permite una recolección de datos de manera amplia y precisa para entrar en el campo del desarrollo de bases de datos e investigación clínica, deportiva y laboral. [35]

4.1.6 Parámetros de la marcha

La marcha humana es el resultado de la compleja interacción entre varios subsistemas: neuromuscular, músculo-tendinoso y osteoarticular, que trabajan coordinadamente para

generar la dinámica corporal necesaria para el desplazamiento bípedo. Tradicionalmente este análisis determina el conjunto de patrones que describen la dinámica del sistema. [29]

Un patrón de marcha humana puede caracterizarse con diferentes tipos de parámetros, algunos básicos y otros de mayor complejidad. De la forma más básica, la marcha se describe mediante parámetros espacio-temporales los cuales no solo varían entre personas sino también en el mismo individuo. Resultan ser representativos en este último, cuando las condiciones y los factores que afectan la marcha (como terreno, transporte de carga, edad, fatiga, peso) se mantiene constante. [30]

Sin embargo, se obtiene una descripción más detallada del ciclo de la marcha al utilizar información cinemática, y en mayor medida si el estudio se completa con información cinética. Con los estudios cinemáticos es posible registrar las variaciones angulares de las articulaciones del cuerpo, así como la inclinación, torsión y oscilación de los segmentos corporales. Por su parte, los estudios cinéticos se enfocan principalmente en reportar las fuerzas de reacción del suelo y los momentos y potencias presentes en las articulaciones. [31]

En algunos casos se realizan otros estudios complementarios como el registro de la actividad muscular con electromiografía (EMG) dinámica, la determinación del consumo energético, o el monitoreo del gasto cardio-respiratorio mediante espirometría. [28]

Mediante la electromiografía es posible diagnosticar trastornos en los músculos y en las uniones neuro-musculares. La interpretación de la secuencia de activación y la intensidad relativa del esfuerzo presentes en la señal de EMG, permiten evaluar la efectividad funcional de la acción muscular. Sin embargo, nunca se obtiene una medida directa de la fuerza muscular, ya que esta depende de factores adicionales como el tipo y la velocidad de contracción, la posición articular, entre otros. [28]

4.1.7 Posicionamiento Marcadores

Uno de los aspectos con mayor influencia durante el proceso de adquisición en los análisis mediante videogrametría, es el protocolo de colocación de los marcadores que utiliza el sistema para detectar los puntos anatómicos de movimiento. Para la colocación de los marcadores algunos de los protocolos más conocidos son *Newington, Gage, Davis, Helen Hayes, Kadaba* o el modelo VCM (*Vicon Clinical Manager*). El protocolo *Davis* es uno de los más utilizados actualmente, este protocolo usa como puntos anatómicos de referencia prominencias óseas como el acromion, la espina iliaca antero-superior, el trocánter mayor, el cóndilo femoral lateral, la cabeza del peroné, el maléolo lateral, la cabeza del quinto metatarsiano, la séptima vértebra cervical, la primera vértebra sacra y los calcáneos según ángulos articulares. Estos marcadores reflectivos, que son detectados por las cámaras infrarrojas, son adheridos a la piel del paciente en los puntos mencionados. [32]. En contraste, se menciona que lo ideal para obtener los movimientos más precisos de los huesos sería

ubicar los marcadores directamente adheridos a las estructuras óseas según los ángulos en los diferentes segmentos corporales, sin embargo, las desventajas son evidentes en cuanto al dolor, riesgo en el procedimiento y la modificación de los movimientos naturales. Por esta razón, se utilizan los marcadores adheridos a la piel en puntos anatómicos de referencia como se menciona para el protocolo Davis. Sin embargo, el posicionamiento de los marcadores de adhesión es un punto crítico y una fuente considerable de errores en los parámetros, tanto así que se ha reportado que su configuración es menos precisa para los marcadores, debido a que cada uno presenta desplazamientos independientes respecto al hueso. [33]

Es importante destacar, que los estudios en cualquier laboratorio de análisis de movimiento requieren como primera medida hacer una calibración de los equipos, generar un PROTOCOLO y conocer los márgenes de error de los instrumentos en uso. En el caso de la captación de las señales musculares, los cambios electroquímicos de la fibra muscular producen campos eléctricos variables en el tiempo que pueden ser detectados por electrodos de superficie. Estos electrodos tienen la ventaja de ser muy fáciles de colocar debido a su carácter no invasivo, sin embargo, la sensibilidad a la ubicación espacial del electrodo sobre la piel tiene un efecto visible en la amplitud de la señal obtenida.

4.2 *Marco Contextual*

En el primer bimestre del año 2016 se realizó la renovación tecnológica del Laboratorio de Análisis de Movimiento del Hospital Infantil Universitario de San José, actualmente conocido como MOVYLAB el cual cuenta con amplia experiencia en el diagnóstico y seguimiento de todos los pacientes de los diferentes programas del servicio que tengan indicación de seguimiento por los servicios del laboratorio. Su principal objetivo es realizar estudios diagnósticos de la marcha, los cuales pueden presentar alteraciones en enfermedades neurológicas, ortopédicas y entre otras patologías. Su visión gira en torno a realizar diagnósticos más precisos para así mejorar la calidad de vida de sus pacientes.

Previo al análisis computarizado del movimiento, se ubican en el paciente los marcadores sobre puntos de referencia anatómicos, alineados con los ejes articulares y adicionalmente se colocan electrodos para el registro de la actividad muscular. Posteriormente, se lleva al paciente a la mitad del volumen de captura para realizar una calibración estática y se continúa con la grabación de datos dinámicos durante la marcha. La captura de movimiento puede ser animada, mediante la reconstrucción tridimensional de segmentos o la sobre posición del video análogo y el video digital.

4.3 Estado del arte

Se realizó una búsqueda sistemática utilizando las palabras claves: análisis biomecánico - *biomechanical analysis*-, desórdenes musculoesqueléticos -*musculoskeletal disorders*-, seguimiento de movimiento - *motion tracking* -, análisis de movimiento -*motion analysis*-, usable -*wearable*-, ergonómico – *ergonomic* -, factores humanos - *human factors* -, fatiga – *fatigue* -, análisis - *analysis*-, sensor –*sensor* -, Tecnología vestible -*wearable technology*-, Manejo manual de materiales -*Manual materials handling*-.

Con relación a los patrones de búsqueda, se emplearon los términos “*Manual materials handling*” AND “*biomechanics*”, “*Manual materials handling*” AND “*human factors*”, “*Manual materials handling*” AND “*Lifting*” AND “*Load*”. Los motores de búsqueda utilizados fueron las bases de datos: *Science Direct, Lilacs, Scopus, Pubmed, Scielo, Elsevier, Proquest Central*.

Para la búsqueda se tuvieron en cuenta criterios de inclusión como: año de elaboración a partir del 2010, artículos en inglés y en español, artículos a nivel mundial. Criterios de exclusión: artículos con año de publicación inferior a 2010, que no se encontraran debidamente referenciados en bases de datos, repositorios o revistas indexadas.

Finalmente, la búsqueda arrojó 25 artículos que se muestran en la tabla “base de datos”, 8 de análisis ergonómico y 17 de software. (Anexo 1)

De acuerdo con los artículos consultados, los estudios afirman que los dispositivos portátiles han aumentado su popularidad en los últimos años trayendo consigo múltiples beneficios en el desarrollo de las actividades diarias. Dichos dispositivos han sido aplicados en múltiples sectores económicos en el que se destaca la medicina gracias a los avances tecnológicos en neuro rehabilitación y sectores como transporte público, transporte de carga, construcción y operadores. [41][42] [43][44]

Actualmente, los dispositivos de detección portátil tienen una amplia aplicación industrial y abren una nueva puerta hacia la gestión de la salud y seguridad en el trabajo cuya finalidad se aproxima al monitoreo no invasivo de la salud humana. Se han identificado sectores económicos con un nivel de peligro mayor como lo es el sector de la construcción, al requerir que los trabajadores excedan la capacidad física natural durante largos periodos de tiempo y que al no recuperarse adecuadamente causan lesiones osteomusculares traduciéndose a su vez en enormes pérdidas económicas. [41][42][43][44]

5. Aspectos Metodológicos

5.1 Tipo de estudio

Se realizó un estudio descriptivo el cual se basa en la observación y búsqueda de información, en el que no se interviene o manipula el factor de estudio [34], se determinan así parámetros para la elaboración de una metodología que permita evaluar a través de un software los efectos de la exposición a una inadecuada MMC.

5.2 Recolección de información

Para la recolección de la información se utilizó:

1. Fuentes secundarias, a través de la revisión documental mediante la cual se obtuvieron datos de softwares para análisis de movimiento y toda la temática relacionada con MMC.
2. Observación del uso de softwares de movimientos en el laboratorio de estudio.

6. Materiales y Métodos

Se relacionan las actividades que dieron cumplimiento a los objetivos propuestos.

Tabla 1. Descripción de las actividades según objetivos.

Objetivo específico	Actividades para realizar	Entregables de cada actividad	Recursos
Identificar factores de riesgo relacionados con la manipulación manual de cargas	<ul style="list-style-type: none"> • Definir las variables que están asociadas a la manipulación de cargas • Identificar las técnicas de MMC según sector socioeconómico 	<ul style="list-style-type: none"> • Matriz de operacionalización de variables. • Lista de chequeo para recolectar datos teniendo en cuenta las variables definidas. • Cuadro de técnicas de MMC 	Revisión documental. Guía técnica de MMC

		<ul style="list-style-type: none"> • Tabla MMC según sector socioeconómico 	
Establecer los requisitos legales y técnicos aplicables a la exposición ocupacional a manipulación manual de carga.	<ul style="list-style-type: none"> • Realizar una revisión de las leyes nacionales e internacionales, al igual que las normas técnicas o requisitos técnicos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Matriz legal y de requerimientos técnicos 	<p>Revisión documental</p> <p>Normas</p> <p>Leyes</p> <p>Guías técnicas</p>
Diseñar el protocolo de evaluación de manipulación manual de carga utilizando el	Identificar los puntos anatómicos donde deben colocarse los sensores para las pruebas con el software IMOTION™ .	<ul style="list-style-type: none"> • Mapa anatómico para sensores de movimiento 	<p>Revisión documental</p> <p>Guías técnicas</p>

Protocolo de una prueba directa para la evaluación de manipulación manual de carga con el software IMOTION™ en el laboratorio MOVYLAB.

Daniela Donado Dickson.
Diana Piñeros Borbón.

software IMOTION™	Identificar los puntos anatómicos donde deben colocarse los sensores del electromiógrafo.	<ul style="list-style-type: none">• Mapa anatómico electromiografía• Protocolo de evaluación.	
----------------------	---	--	--

Fuente: elaboración propia

7. Consideraciones éticas

Según la Comisión Internacional de Salud Ocupacional (ICOH) (*International Commission on Occupational Health* ICOH. Código Internacional de Ética para los profesionales de la Salud Ocupacional. Actualización 2002.), se realiza una investigación orientada a los aspectos relacionados con trabajo-salud, y que consecuentemente permite consolidar la información que puede ser aplicable en el campo de trabajo con el fin de asegurar las buenas prácticas laborales.

Para el objeto de esta investigación no será necesaria la aplicación de consentimiento informado, puesto que la metodología propuesta no requiere la intervención en la población, si no, el diseño de un protocolo a seguir.

Esta investigación se considera sin riesgo según lo menciona la Resolución número 8430 de 1993 del Ministerio de Salud en su artículo 11 (Colombia. Ministerio de Salud. Resolución 8430 de 1993 “por la cual se establecen las normas científicas, técnicas y administrativas para la investigación en salud”. Bogotá: Ministerio de Salud; 1993.) 42, ya que utiliza técnicas de investigación documental en el que no se realiza ninguna intervención o modificación intencionada.

8. Resultados

8.1 Factores de riesgo relacionados con la exposición a la manipulación manual de carga

Para el desarrollo de este objetivo se realizó un cuadro en Excel para priorizar los factores de riesgo de carga física según la actividad económica (Anexo 2) para la identificación cualitativa de factores de riesgo en tareas con MMC se elaboró la matriz de operacionalización de variables (Anexo 4) y la lista de chequeo de MMC (Anexo 5).

8.1.1 Procesos donde hay exposición a la manipulación manual de carga

Los sectores económicos en los cuales prevalece la MMC son variados entre los que se encuentran: agropecuario, servicios, industria, transporte, comercio, financiero, construcción, minero, manufactura, comunicaciones, hotelero y salud. [41, 43, 48]

Se elaboró un cuadro con las tareas de MMC (Anexo 2) en la que establecen recomendaciones ergonómicas entre las que están: levantamiento, tracción, empuje, colocación y transporte; se enuncian los factores de riesgo en cada una de las técnicas de manipulación teniendo en cuenta la característica de la carga, el esfuerzo físico, las características del medio de trabajo y las exigencias de la actividad. Adicional se construyó

una matriz en Excel donde se selecciona el sector económico y los factores de riesgo de carga física que se puedan priorizar de acuerdo a la actividad que se desarrolle para que sea diligenciado de acuerdo al sector económico donde se encuentre el trabajador que se va a evaluar. (Anexo 3).

8.1.2 Matriz de operacionalización de variables

Se consideraron variables personales, como edad, cargo, sexo, dominancia, estatura, frecuencia de actividad física, experiencia del trabajador, tiempo de descanso (Anexo 4).

Con respecto a las variables de características de la tarea y del entorno necesarias para la identificación y caracterización de la tarea y los factores de riesgo inherentes a la misma fueron, peso de la carga, distancia horizontal, distancia vertical, giros del tronco, forma anatómica del agarre, tipo de agarre de la carga, posición del mango de agarre, superficie de la carga, frecuencia de manipulación, transporte de la carga, fuerza de empuje, fuerza de tracción, tamaño de la carga, superficie de desplazamiento de la carga, superficie de desplazamiento del trabajador.

Las variables frecuencia de actividad física y frecuencia de manipulación de carga se agruparon en rangos para llevarlo al formato:

Frecuencia de actividad física:

1. No realiza actividad física
2. 1 vez al mes
3. 1 vez por semana
4. 3 días/semana
5. 5 o más días/ semana

Frecuencia de manipulación de carga:

1. Una vez durante la jornada laboral
2. 3-6 veces durante la jornada laboral
3. 7-10 veces durante la jornada laboral
4. Más de 10 veces durante la jornada laboral.

Para la variable **tipo de agarre** se definieron cada uno de los tipos así:

Agarre bueno: Son los llevados a cabo con contenedores de diseño óptimo con asas o agarraderas, o aquellos sobre objetos sin contenedor que permitan un buen asimiento y en el que las manos pueden ser bien acomodadas alrededor del objeto.

Agarre regular: Es el llevado a cabo sobre contenedores con asas a agarraderas no óptimas por ser de tamaño inadecuado.

Agarre malo: El realizado sobre contenedores mal diseñados, objetos voluminosos a granel, irregulares o con aristas, y los realizados sin flexionar los dedos manteniendo el objeto presionando sobre sus laterales.

8.1.3 Lista de chequeo

La lista de chequeo para la evaluación de la MMC (Anexo 5), considera en su contenido aspectos relevantes del método elaborado por *The National Institute for Occupational Safety and Health* (NIOSH) recomendado para tareas de levantamiento de cargas.

Durante la elaboración de la lista de chequeo se consideró el diseño de 2 grandes actividades que hicieran más completa la recolección de la información. Se debe realizar la entrevista al trabajador y un posterior análisis observacional de la tarea durante la recolección de información. Esta Lista deberá ser recolectada por la fisioterapeuta especialista en seguridad y salud en el trabajo o ergonomía quien luego de realizar una visita a la empresa realizará el análisis del trabajador en el laboratorio.

Su contenido clasifica los apartados en componentes propios de características de la carga, la tarea, el entorno y factores individuales en donde se contempla entre ellas la actitud postural y características del agarre.

El diseño del cuestionario consta de 58 preguntas tipo SI/NO formuladas de tal manera que el número de preguntas depende de la tarea en la manipulación manual que se realice, (Anexo 3), cada respuesta que sea afirmativa, representa un factor de riesgo que no cumple con las características ergonómicas observadas durante la manipulación de la carga y que son determinadas por las condiciones individuales, el entorno y la tarea. Lo anterior, determina el nivel de riesgo como se describe a continuación:

Interpretación para evaluar el factor de riesgo por exposición a MMC

Levantamiento

De las 58 preguntas, 52 son variables que evalúan la actividad de levantamiento, las cuales se ponderan de la siguiente manera:

1%-30%	1 a 15 respuestas positivas	RIESGO BAJO
31%-74%	16 a 38 respuestas positivas	RIESGO MEDIO
75%-100%	39 a 52 respuestas positivas	RIESGO ALTO

Colocación

De las 58 preguntas, 53 son variables que evalúan la actividad de colocación, las cuales se ponderan de la siguiente manera:

1%-30%	1 a 16 respuestas positivas	RIESGO BAJO
31%-74%	17 a 39 respuestas positivas	RIESGO MEDIO
75%-100%	40 a 53 respuestas positivas	RIESGO ALTO

Transporte

De las 58 preguntas, 50 son variables que evalúan la actividad de transporte, las cuales se ponderarán de la siguiente manera:

1%-30%	1 a 15 respuestas positivas	RIESGO BAJO
31%-74%	16 a 37 respuestas positivas	RIESGO MEDIO
75%-100%	37 a 50 respuestas positivas	RIESGO ALTO

Tracción y empuje

De las 58 preguntas, 54 son variables que evalúan la actividad de tracción y empuje, las cuales se ponderarán de la siguiente manera:

1%-30%	1 a 16 respuestas positivas	RIESGO BAJO
31%-74%	17 a 40 respuestas positivas	RIESGO MEDIO
75%-100%	40 a 54 respuestas positivas	RIESGO ALTO

Adicionalmente, se incluyen en el cuestionario preguntas abiertas relacionadas con los parámetros de la carga, como peso y tamaño de la misma; las características referentes al tiempo de exposición en MMC, experiencia y capacitaciones y finalmente se tienen en cuenta las características del agarre como su forma, la posición respecto a la distancia vertical del objeto y el tipo de agarre.

8.1.4 Requisitos legales y técnicos aplicables a la exposición ocupacional a manipulación manual de carga.

La matriz legal consta de 2 apartados; requisitos legales y normas técnicas. Dentro del primer conjunto se incluyen 1 real decreto, 1 decreto y 1 resolución. Por su parte, la normatividad técnica se compone de 2 normas técnicas colombianas, 1 norma técnica preventiva, 1 norma ISO, 1 guía de atención integral y 1 guía técnica. (Anexo 6)

Normativa Nacional:

Decreto 1072/2015: El empleador debe desarrollar acciones de vigilancia de la salud de los trabajadores mediante las evaluaciones médicas de ingreso, periódicas, retiro y los programas de vigilancia epidemiológica, con el propósito de identificar precozmente efectos hacia la salud derivados de los ambientes de trabajo y evaluar la eficacia de las medidas de prevención y control.

Resolución 2400/1979: En los establecimientos de trabajo, en donde los trabajadores tengan que manejar (levantar) y transportar materiales (carga), se instruirá al personal sobre métodos seguros para el manejo de materiales, y se tendrán en cuenta las condiciones físicas del trabajador, el peso y el volumen de las cargas, y el trayecto a recorrer, para evitar los grandes esfuerzos en estas operaciones.

Protocolo de una prueba directa para la evaluación de manipulación manual de carga con el software IMOTION™ en el laboratorio MOVYLAB.

Daniela Donado Dickson.
Diana Piñeros Borbón.

NTC 5693-2: Presenta los límites recomendados para empujar y halar con todo el cuerpo. Ofrece orientación sobre la evaluación de factores de riesgo que se consideran importantes en el empujar y halar manualmente, permitiendo la evaluación de los riesgos para la salud de la población trabajadora.

GATISO /2007 para dolor lumbar inespecífico y enfermedad discal: Emitir recomendaciones basadas en la evidencia para el manejo integral (promoción, prevención, detección precoz, tratamiento y rehabilitación) del dolor lumbar inespecífico (DLI) y la enfermedad del disco intervertebral (ED), relacionados con la MMC y otros factores de riesgo en el lugar de trabajo.

GATISO /2007 para síndrome del túnel del carpo, epicondilitis y enfermedad de Quervain: Emitir recomendaciones basadas en la evidencia para el manejo integral (promoción, prevención, detección precoz, tratamiento y rehabilitación) del STC, enfermedad de De Quervain y Epicondilitis relacionada con movimientos repetitivos y otros factores de riesgo en el lugar de trabajo

Normativa Internacional:

Real Decreto 487/1997: El presente Real Decreto establece las disposiciones mínimas de seguridad y de salud relativas a la MMC que entrañe riesgos, en particular dorsolumbares, para los trabajadores.

NTP 177/1998: En esta Nota Técnica se analizan los métodos de evaluación de las exigencias físicas de la tarea.

NTP 477/1998: El objetivo de esta Nota Técnica es la difusión de la ecuación del NIOSH (*National Institute for Occupational Safety and Health, USA*) para su aplicación práctica y para el cálculo del peso máximo recomendado en la MMC, con el fin de poder rediseñar el puesto de trabajo y evitar el riesgo de padecer una lumbalgia debida al manejo de cargas.

ISO 11228/2009: Las tres partes que componen esta norma establecen recomendaciones ergonómicas para las diferentes tareas de MMC. En primer lugar, la norma proporciona dos métodos para identificar los riesgos potenciales asociados con las tareas de empuje y tracción. Además, propone recomendaciones para la reducción del riesgo. En segundo lugar, se menciona que es aplicable al manejo manual de las máquinas y sus componentes, de peso igual o superior a 3 kg, que deban ser transportados a distancias inferiores a los 2 metros. Finalmente, en su último apartado, proporciona a los fabricantes de máquinas o de sus

Protocolo de una prueba directa para la evaluación de manipulación manual de carga con el software IMOTION™ en el laboratorio MOVYLAB.

Daniela Donado Dickson.
Diana Piñeros Borbón.

componentes orientaciones para el control de riesgos para la salud debidos a la realización de esfuerzos musculares relacionados con las máquinas.

8.1.5 Protocolo de evaluación de manipulación manual de carga utilizando el software IMOTION™

Para la elaboración del protocolo de evaluación se consideraron los siguientes elementos:

Se tuvieron en cuenta 2 instrumentos que se construyeron para la identificación cualitativa de factores de riesgos, teniendo en la matriz de priorización de factores de riesgos según sector económico (Anexo 3) y la lista de chequeo (Anexo 5).

Se realizará una evaluación cuantitativa de riesgo utilizando un software de movimiento que calculará las medidas de los ángulos programados para el análisis y permitirá identificar si estos están dentro de los valores de confort lo cual permitirá confirmar la presencia o no de un factor de riesgo por MMC, para ello será necesario la programación del software por parte del ingeniero biomédico quien ingresará los datos de los valores de referencia para poder realizar la evaluación. (Tabla 1)

Tabla 2. Valores de referencia para ángulos articulares

ARTICULACIÓN	MOVIMIENTO	RANGO DE MOVILIDAD ARTICULAR	RANGO DE MOVILIDAD ARTICULAR MÁXIMO PARA MMC	
Hombro	Flexión	0° a 180°	< o igual a 90°	CONFORT
			>90°	DISCONFORT
	Extensión	0° a 60°	0° a 15°	CONFORT
			>15°	DISCONFORT
	Rot externa	0° a 90°	< o igual a 45°	CONFORT
			>45°	DISCONFORT
Abducción	0° a 180°	0° o neutro	CONFORT	
		>0°	DISCONFORT	
Codo	Flexión	0° a 150°	>80°	CONFORT
			< o igual 80	DISCONFORT
Muñeca	Supinación	0° a 80°	0° a 35°	CONFORT
			>35°	DISCONFORT
	Pronación	0° a 80°	0° o neutro	CONFORT
			>0°	DISCONFORT
	Flexión	0° a 80°	15°	CONFORT
			>15°	DISCONFORT
Extensión	0° a 70°	15°	CONFORT	

			>15°	DISCONFORT
	Desv cubital	0° a 30°	0° o neutro	CONFORT
			>0°	DISCONFORT
	Desv radial	0° a 20°	0° o neutro	CONFORT
			>0°	DISCONFORT
Tronco	Flexión	0° a 80°	< o igual a 40°	CONFORT
			>40°	DISCONFORT
	Extensión	0° a 30°	0° o neutro	CONFORT
			>0°	DISCONFORT
	Rotación	0° a 30°	0° o neutro	CONFORT
			>0°	DISCONFORT
	Inclinación	0° a 40°	0° o neutro	CONFORT
			>0°	DISCONFORT
Rodilla	Flexión	0° a 135°	< o igual a 90°	CONFORT
			>90°	DISCONFORT
Tobillo	Plantiflexión	0° a 50°	< o igual a 20°	CONFORT
			>20°	DISCONFORT
	Inversión	0° a 35°	0° o neutro	CONFORT
			>0°	DISCONFORT
	Eversión	0° a 15°	0° o neutro	CONFORT
			>0°	DISCONFORT

Fuente Daniels, Pruebas funcionales musculares: Elaboración propia.

Se realizó un mapa anatómico del cuerpo humano para la ubicación de los sensores del software de movimiento IMOTION™ basado en el protocolo *Devis*, el cual es uno de los más utilizados para los puntos de referencia en las prominencias óseas, mencionando que es ideal para obtener movimientos más precisos. (Anexo 7)

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en esta medición junto con los resultados obtenidos con la evaluación cualitativa aportada por la lista de chequeo se podrá realizar un diagnóstico con respecto al riesgo y así poder dar recomendaciones de intervención.

Se realiza una electromiografía para evaluar la conducción neurosensorial en los músculos involucrados en la actividad a evaluar y para ello se hizo un mapa anatómico donde se muestra la ubicación de sensores con el fin de identificar los puntos anatómicos donde deben colocarse los sensores del electromiógrafo, teniendo en cuenta que se realiza una electromiografía de superficie se hace la colocación de electrodos para obtener una señal correcta, la ubicación adecuada es siempre que sea posible en la línea media del vientre muscular, entre la unión miotendinosa y el punto motor. Cada músculo se examina mediante la colocación de dos electrodos, separados por una distancia de uno o dos centímetros entre ellos. (Anexo 8).

Se diseñó una base de datos en el programa excel para consolidar toda la información de las variables trabajadas. (Anexo 9).

Protocolo de una prueba directa para la evaluación de manipulación manual de carga con el software IMOTION™ en el laboratorio MOVYLAB.

Daniela Donado Dickson.
Diana Piñeros Borbón.

Finalmente se construyó una herramienta ofimática donde se incluyen todos los instrumentos elaborados como parte de la aplicación del protocolo. (Anexo 11).

9. Discusión

El presente trabajo de grado; si bien es cierto, no pretende determinar cuáles son los segmentos corporales con sintomatología dolorosa, su aplicación es de vital importancia para la identificación de hábitos posturales inadecuados en el desarrollo de la tarea específicamente en el ámbito laboral, que con el paso del tiempo puede ser un factor predisponente para la aparición de sintomatología dolorosa en los diferentes segmentos corporales afectando de esta manera el rendimiento laboral y por ende su productividad.

Por su parte, las normas internacionales 11228-1, 2 y 3, 11226, TR 12295 y TR 12296 aceptan y enumeran los métodos capaces de detectar factores de riesgo físico - ocupacional y evalúan la utilidad de intervenciones ergonómicas. La fuerza de estos enfoques tradicionales para la clasificación del riesgo biomecánico que puede utilizarse en una amplia gama de condiciones profesionales, se basa en su bajo costo y no invasividad. Sin embargo, por su parte Ravolo afirma que estos métodos tienen algunas debilidades, principalmente debido a su naturaleza observacional y subjetividad relacionada con la experiencia del profesional. En la mayoría de los casos se evalúa el comportamiento del trabajador en hojas pro-forma mientras observa en el campo o reproduce videos, un enfoque considerado inexacto, impreciso y lento. Adicionalmente, la literatura científica destaca ecuaciones y restricciones de parámetros, con precisión insuficiente, irrepetibilidad y falta de fiabilidad. Estas preocupaciones se deben principalmente a la necesidad de asignar puntuaciones a cada

determinante de riesgo; como ángulos articulares de extremidades superiores e inferiores, desplazamiento de cargas, fuerzas, ciclos de trabajo, frecuencia de acciones, fuerzas y tiempos de recuperación.

Con relación a lo anterior y continuando con la revisión sistemática de Ravolo, en donde afirma que la utilización de herramientas tecnológicas como las IMU (Unidades de medición inercial), los dinamómetros y los sensores EMG en entornos experimentales, son de gran utilidad al permitir ubicarse directamente en los segmentos corporales apropiados para la medición de ángulos articulares, fuerzas y comportamientos musculares respectivamente. Los anteriores, precisamente elementos que en el protocolo propuesto en la presente investigación podrían tener una respuesta acertada en el desarrollo y análisis de cada segmento corporal y la postura en general con relación a la orientación, velocidad y aceleración de cada investigado. Por tanto, dicho protocolo se convierte en un aporte para realizar análisis biomecánicos a través del uso de sensores ubicados en los diferentes segmentos corporales de los trabajadores capturando de esta manera parte o la totalidad de los parámetros necesarios en el cálculo del nivel de riesgo. Para concluir, estas herramientas cuantitativas basadas en sensores podrían aumentar considerablemente la precisión de estos métodos y reducir ampliamente el tiempo de análisis.

Protocolo de una prueba directa para la evaluación de manipulación manual de carga con el software IMOTION™ en el laboratorio MOVYLAB.

Daniela Donado Dickson.
Diana Piñeros Borbón.

Es importante mencionar que una de las limitantes durante el desarrollo del diseño del protocolo fue la dificultad de visitar el laboratorio y poder realizar la programación del software y realizar algunas pruebas de la aplicación del protocolo.

10. Conclusiones

- Los factores de riesgo asociados a los peligros biomecánicos son determinados por las características de la carga, el entorno, la tarea y el individuo, que predominan en sectores industriales, agrícolas y de asistencia sanitaria.
- La normatividad y requisitos técnicos legales que principalmente se tuvieron en cuenta para el desarrollo del protocolo de evaluación de MMC fueron las normas técnicas españolas y normas ISO relacionadas con la MMC.
- Se propone mediante el uso del software IMOTION del laboratorio MOVYLAB, el registro de los rangos de movimiento articular y neuroconducción muscular de una manera rápida y eficaz que permita el análisis biomecánico del cuerpo humano.
- La implementación de la EMG como herramienta para el análisis de las señales eléctricas producidas durante la contracción muscular, permitirá reconocer las posibles compensaciones y sobrecargas en este sistema derivadas de la MMC requerida en una actividad laboral específica.

- Se propone un protocolo para validación de MMC que permita establecer los parámetros de las diferentes técnicas de manipulación en la población trabajadora a través de herramientas cualitativas y cuantitativas determinando así las características posturales frente a la actividad muscular y rangos de movilidad articular presentes durante la MMC.
- La información ingresada en los instrumentos evaluativos se realiza a través de una herramienta ofimática desarrollada por el equipo investigador para consolidar la información y lograr un posterior análisis biomecánico por el equipo interdisciplinario.

11. Recomendaciones

A partir de los resultados obtenidos se plantean las siguientes recomendaciones:

11.1 Para las empresas

Recomendaciones Generales

- Implementar herramientas tecnológicas que permitan realizar valoraciones cuantitativas según las exigencias de la tarea.
- Es recomendable implementar estrategias ergonómicas en busca del trabajo colaborativo, estableciendo a su vez la importancia de ayudas mecánicas para reducir el riesgo de presentar TME.
- Contar con insumos que identifiquen de forma preventiva los factores de riesgo biomecánico impactando en los indicadores de ausentismo a largo plazo.
- Mejorar los protocolos o procedimientos para las tareas que necesariamente requieran de una MMC teniendo en cuenta para ello la valoración de las características de la carga, la tarea y el individuo.
- Implementar programas para la prevención de los TME relacionados con la MMC.
- Desarrollar un plan de entrenamiento específico en la empresa para la población expuesta a MMC según el requerimiento de la tarea.

Recomendaciones para la aplicación del protocolo

- Este protocolo será tenido en cuenta para ser aplicado en población que se encuentra restringida en la compañía de acuerdo al diagnóstico emitido por un Médico Ocupacional
- Se recomienda este protocolo de prueba directa para ser aplicada luego de la aplicación de herramientas de primer y segundo nivel
- En caso de tener sospecha de un trabajador “simulador”, se sugiere a la empresa contar con una prueba directa con el apoyo exámenes diagnósticos adicionales que permitan establecer la veracidad del concepto médico.
- Contar con la evaluación directa con el software IMOTION para emitir el concepto médico y así determinar la capacidad funcional del trabajador para ser reubicado en un puesto de trabajo que le permita continuar desempeñando sus funciones.

11.2 Para el trabajador

- El trabajador deberá cumplir con los lineamientos emitidos por la empresa para evitar adquirir TME derivados de la MMC.
- Participar activamente del plan de entrenamiento que sea emitido por la empresa buscando la mitigación de la aparición de TME.

11.3 Para el laboratorio

- Realizar una propuesta de costos para ofrecer los servicios a las diferentes entidades interesadas en la aplicación de la prueba directa.
- Contar con equipos portátiles para realizar análisis de movimiento en condiciones reales dentro de las empresas.
- Realizar pruebas directas de evaluación a nivel funcional para trabajadores que puedan ser ofertadas a ARL con el fin de disminuir el pago de las incapacidades.
- Realizar pruebas directas de evaluación a nivel funcional para trabajadores que puedan ser ofertadas por las diferentes IPS, que sirva como un servicio para dar respuestas más detallada de evaluaciones de puestos de trabajo.
- Realizar pruebas directas de evaluación a nivel funcional para trabajadores que sean ofertadas a Médicos laborales que sirva de insumo para emitir diagnósticos más verídicos.
- Realizar pruebas directas de evaluación a nivel funcional para trabajadores que puedan ser ofertadas a Juntas de calificación laboral para ayudar a la recolección de la información.
- Tener en cuenta la historia clínica del trabajador y antecedentes para el apoyo de la emisión del concepto.
- Es indispensable que la lista de chequeo sea implementada por un fisioterapeuta especialista en SST.

11.4 Para la academia

- Implementar el protocolo desarrollado en la presente investigación para realizar un estudio piloto que permita evaluar las condiciones de los diferentes escenarios que requieran la MMC.
- Realizar investigaciones en escenarios laborales con diferentes requerimientos biomecánicos que permitan a las empresas crear estrategias preventivas de TMEs.
- Mantener el convenio colaborativo entre la Universidad el Bosque y el laboratorio MOVYLAB para desarrollar protocolos de evaluación para diferentes tipos de puestos de trabajo.
- Continuar con el desarrollo de este tipo de protocolos para la evaluación de otros factores de riesgo presentes en el escenario laboral.

12. Referencias

1. Hasanuddin, I. Analysis of transport workers' postures in the loading process of manual material handling activities by using the photogrammetric method. 2018
2. Ministerio de trabajo y economía social. Manipulación manual de cargas. Disponible en <https://www.insst.es/metodologia-de-evaluacion.-manipulacion-manual-de-carga>
3. Chester V. L., Tingley M., Biden E. N. Comparison of two normative paediatric gait databases. *Dynamic Medicine*, 6, July 2007.
4. Riesgos asociados a la manipulación manual de cargas en el lugar de trabajo. Disponible en <https://osha.europa.eu/es/publications/factsheets/73/view>
5. Prat J. M., Sánchez-Lacuesta, J. Biomecánica de la marcha humana normal y patológica. Instituto de Biomecánica de Valencia. IMPIVA Generalitat Valenciana, 2002.
6. Agudo, A.NBCI. A novel movement monitoring system to evaluate the functional rehabilitation of the upper extremities. 2013.

Protocolo de una prueba directa para la evaluación de manipulación manual de carga con el software IMOTION™ en el laboratorio MOVYLAB.

Daniela Donado Dickson.
Diana Piñeros Borbón.

7. Normas ISO 11228 en el Manejo Manual de Cargas. Disponible en. Disponible en <http://www.semac.org.mx/archivos/congreso11/Pres09.pdf>

8. Incomodidad Corporal, Carga Física y Nivel de Flexibilidad en Trabajadores del Sector Administrativo de una Institución de Enseñanza Superior en Florianópolis, del Sur de Brasil. Disponible en https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-24492016000300145

9. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el trabajo. Disponible en <https://www.insst.es/documents/94886/524420/La+carga+f%C3%ADsica+de+trabajo/9ff0cb49-db5f-46d6-b131-88f132819f34>

10. NIOSH. Datos Breves de NIOSH: Cómo prevenir los trastornos musculoesqueléticos. Disponible en https://www.cdc.gov/spanish/niosh/docs/2012-120_sp/default.html.
[2012.](https://www.cdc.gov/spanish/niosh/docs/2012-120_sp/default.html)

11. OMS. Trastornos musculoesqueléticos. Disponible en <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/musculoskeletal-conditions>
12. Laboratorio de análisis de marcha y movimiento. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0716864014700343>
13. Ramírez, A. and Garzón, D. Análisis de sensibilidad por la colocación de los electrodos en la electromiografía de superficie. *Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia*. Disponible en <http://www.scielo.org.co/pdf/rfiua/n46/n46a07.pdf> (2008).
14. Ecuación de NIOSH, Ergonautas. Disponible en <https://www.ergonautas.upv.es/metodos/niosh/niosh-ayuda.php>
15. Seguridad y salud en el trabajo, OIT. Disponible en <https://www.ilo.org/global/topics/dw4sd/themes/osh/lang--es/index.htm>
16. OIT. Seguridad y salud en el trabajo. Disponible en <https://www.ilo.org/global/topics/dw4sd/themes/osh/lang--es/index.htm>

17. OMS. Protección de la salud de los trabajadores. Disponible en <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/protecting-workers'-health>
18. Pérez, R., Costa, Ú., Torrent, M., Solana, J., Opisso, E., Cáceres, C., ... y Gómez, EJ Sistema portátil de análisis de movimiento de miembros superiores basado en tecnología de inercia para fines de neurorehabilitación. *Sensores* , 10 (12), 10733-10751.2010.
19. Ariza L., Idrovo A. Carga física y tiempo máximo de trabajo aceptable en trabajadores de un supermercado en Cali, Colombia. Disponible en <https://www.scielo.org/article/rsap/2005.v7n2/145-156/>. 2005
20. Benedetti M. G., Catani F., Leardini A., Pignotti E., Giannini S. Data management in gait analysis for clinical applications. *Clinical Biomechanics*,13, 204-215, 1998
21. Valentina V, Fabio S, Martina C, Alessandro P. Fatigue accumulation in the assignment of manual material handling activities to operators. Disponible en <https://www-sciencedirect-com.ezproxy.unbosque.edu.co/science/article/pii/S24058963183156>Science Direct. 2019

22. Diego-Mas, Jose Antonio. Evaluación de la manipulación manual de cargas mediante GINSHT. Ergonautas, Universidad Politécnica de Valencia, [consulta 10-03-2020]. Disponible online: <http://www.ergonautas.upv.es/metodos/ginsht/ginsht-ayuda.php> 2015.
23. NTP 477: Levantamiento manual de cargas: ecuación del NIOSH, Disponible en https://www.insst.es/documents/94886/326962/ntp_477.pdf/ac6514ab-a43f-4fe4-bb93-ac1a65d9c19d
24. Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo. Metodología de evaluación. Manipulación manual de cargas. Disponible en <https://www.insst.es/metodologia-de-evaluacion.-manipulacion-manual-de-carga>
25. Baker R. Gait analysis methods in rehabilitation. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*. March 2006.
26. Movylab. Laboratorio de análisis de movimiento. 2019.
27. Wearable Monitoring Devices for Biomechanical Risk Assessment at Work: Current Status and Future Challenges—A Systematic Review

28. The Nemours foundation. EMG. Disponible en http://www.kidshealth.org/PageManager.jsp?dn=nemours&article_set=25139&lic=60&cat_id=128. (2007)
29. Prat J. M., Sánchez-Lacuesta, J. Biomecánica de la marcha humana normal y patológica. Instituto de Biomecánica de Valencia. IMPIVA Generalitat Valenciana, 2002.
30. S. Collado-Vasquez. La marcha: historia de los procedimientos de análisis. Biociencias (Revista de la Facultad de Ciencias de la Salud). 2004.
31. Cifuentes, C., Martínez, F. and Romero, E. *ANÁLISIS TEÓRICO Y COMPUTACIONAL DE LA MARCHA NORMAL Y PATOLÓGICA: UNA REVISIÓN*. [online] Scielo.org.co. Available at: <http://www.scielo.org.co/pdf/med/v18n2/v18n2a05.pdf>. 2010.
32. Gil-Agudo, Á., De Los Reyes-Guzmán, A., Dimbwadyo-Terrer, I., Peñasco-Martín, B., Bernal-Sahún, A., López-Monteagudo, P., ... & Pons, JL. Un novedoso sistema

de seguimiento del movimiento para evaluar la rehabilitación funcional de las extremidades superiores. *Investigación de regeneración neural*. 2013.

33. Nipun D. Nath a, Reza Akhavan b, Amir H. Behzadan. Science Direct. Ergonomic analysis of construction worker's body postures using. 2017.
34. Hernández R, Fernández C, Baptista L, Metodología de la Investigación. México: Mc Graw Hill; 1997.
35. Gazapo, V., García A, B. and Cruz J, M. ANÁLISIS BIOMECÁNICO PARA DETERMINAR LA INTERVENCIÓN MUSCULAR EN LOS ESTIRAMIENTOS BALÍSTICOS. *Motricidad.European Journal of Human Movement*. Disponible en <https://recyt.fecyt.es/index.php/ejhm/article/view/56163/34018>. 2003.
36. Datta D., Heller B., Howitt J. A comparative evaluation of oxygen consumption and gait pattern in amputees using Intelligent Prostheses and conventionally damped knee swing-phase control. *Clinical Rehabilitation*, 19, 398-403, 2005.
37. Davis RB, Ounpuu S, Tybursky D, Gage JR. A gait analysis data collection and reduction technique. *Human Mov Sci*, 10, 1991.

38. Ergonautas. Guía para el levantamiento de carga del INSHT. Disponible en

<https://www.ergonautas.upv.es/metodos/ginsht/ginsht-ayuda.php>

39. Harari, Y. Differences in spinal moments, kinematics and pace during single-task and combined manual material handling jobs. Applied Ergonomics. 2019

40. Valbuena Amaris N. GUIA DE BUENAS PRÁCTICAS. Portal.posipedia.co.

Disponible en <https://portal.posipedia.co/wp-content/uploads/2018/09/guia-buenas-practicas-control-peligro-manipulacion-cargas.pdf>.2015.

41. Acevedo M. ESTUDIO DE RIESGO ERGONÓMICO POR MANIPULACIÓN MANUAL DE CARGAS EN LOS DOCENTES DE LA FACULTAD DE INGENIERIA DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA. Universidad Catolica; 2017.

42. Colombia. Ministerio de Salud. Resolución 8430 de 1993 “por la cual se establecen las normas científicas, técnicas y administrativas para la investigación en salud”. Bogotá: Ministerio de Salud; 1993.

43. Visentin, V. Fatigue accumulation in the assignment of manual material handling activities to operators. 2018.
44. Hasanuddin. IOP SCIENCE. Analysis of transport workers' postures in the loading process of manual material handling activities by using the photogrammetric method. 2019.
45. International Commission on Occupational Health ICOH. Código Internacional de Ética para los Profesionales de la Salud Ocupacional. Actualización 2002.
46. Colombia. Ministerio de Salud. Resolución 8430 de 1993 “por la cual se establecen las normas científicas, técnicas y administrativas para la investigación en salud”. Bogotá: Ministerio de Salud; 1993.
47. AGENCIA EUROPEA PARA A SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO:
Hojas informativas electrónicas: FACTS. Disponible en web:
[Http://osha.europa.eu/es/publications/factsheets](http://osha.europa.eu/es/publications/factsheets)
48. Moreno, C., 2016. *Riesgo Ergonómicos Relativos A La Manipulacion Manual De Cargas..*

Protocolo de una prueba directa para la evaluación de manipulación manual de carga con el software IMOTION™ en el laboratorio MOVYLAB.

Daniela Donado Dickson.
Diana Piñeros Borbón.

[online]Dspace.umh.es.Availableat:<<http://dspace.umh.es/bitstream/11000/3341/1/>

Moreno%20Mart%C3%ADnez%2C%20Cristina%20Eulalia%20TFM.pdfH.pdf>.