



ESPECIALIZACIÓN EN ERGONOMIA

**EL USO DE EXOESQUELETO Y SU IMPACTO ERGONÓMICO
EN LAS CONDICIONES LABORALES Y LA REDUCCIÓN DE
DME.**

FAISURY LUCIA RODRIGUEZ CASTAÑO

ROSALINDA BLANCO CARABALLO



**Universidad[®]
Católica
de Manizales**

VIGILADA MINEUCACIÓN

*Obra de Iglesia
de la Congregación*



**Hermanas de la Caridad
Dominicas de La Presentación
de la Santísima Virgen**

EL USO DE EXOESQUELETO Y SU IMPACTO ERGONÓMICO EN LAS CONDICIONES
LABORALES Y LA REDUCCIÓN DE DME.

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de *Especialista en
Ergonomía*.

Asesor

PAULA ANDREA PEÑA LÓPEZ¹

Autores:

FAISURY LUCIA RODRIGUEZ CASTAÑO

ROSALINDA BLANCO CARABALLO

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE MANIZALES
FACULTAD CIENCIAS DE LA SALUD DISTANCIA
INVESTIGACIÓN I
MANIZALES
2024

¹ ORCID: 0000-0001-9917-9474

TABLA DE CONTENIDO

1. INFORMACIÓN GENERAL DEL PROYECTO	5
4. PROBLEMÁTICA	8
5. JUSTIFICACIÓN	9
6. OBJETIVOS	10
General.....	10
Específicos	10
7. METODOLOGÍA.....	10
8. DESARROLLO DE RESULTADOS	14
CONCLUSIÓN	17
BIBLIOGRAFÍA.....	18

LISTA DE GRÁFICOS

Ilustración 1. Ficha de revisión bibliográfica elaborada por el grupo de investigación.	12
Ilustración 2. Resultados de los artículos incluidos en la revisión en el flujograma.	13

1. INFORMACIÓN GENERAL DEL PROYECTO

Título: El uso de exoesqueleto y su impacto ergonómico en las condiciones laborales y la reducción de DME.

Investigadores:

Faisury Lucia Rodríguez Castaño

Rosalinda Blanco Caraballo

Línea de Investigación:

Administración de la salud

Programa de Posgrado al que se articula:

Ergonomía

Lugar de Ejecución del Proyecto:

Ciudad: Manizales

Departamento: Caldas

Duración del Proyecto (periodos académicos):

II periodos académicos.

2. RESUMEN (Máximo 500 palabras)

Debido a las demandas y exigencias físicas de las actividades labores y los daños causados en la salud de los trabajadores, se adelantan proyectos de innovación y desarrollo de diferentes tipos de dispositivos como lo son los exoesqueletos, para ayudar a reducir las múltiples lesiones por DME en la población trabajadora, a raíz de estas prácticas por la ausencia de ayudas mecánicas o dispositivos que se ajusten a las exigencias o demandas de las tareas. Los DME que aparecen en los trabajadores producto de la actividad laboral persisten como una de las principales causas de incapacidad y ausentismo laboral, siendo así, ésta la brecha que los exoesqueletos podrían ayudar a contribuir en la disminución.

METODOLOGÍA: Se realizó la revisión bibliográfica de la literatura científica, en diferentes bases de datos internacionales y nacionales que contienen revistas científicas con acceso libre. **TIPO DE ESTUDIO:** Se realizó una revisión de tema.

INSTRUMENTOS: Fichas bibliográficas se compone de la siguiente manera: título, año, bases de datos de donde se tomó, autores, bibliografía, palabras claves, ideas principales, teoría donde se apoya el estudio, objetivo del artículo, resultados y discusión, metodología y conclusiones académicas y aportes al tema de investigación. **RESULTADOS:** Después del análisis se puede tener una

mirada más profunda del impacto del uso de los exoesqueletos en las empresas evidenciando los siguientes resultados: se determinó que 7 artículos evaluaban los diferentes impactos Ergonómicos, 3 artículos el impacto físico y 2 artículos el impacto económico. Se encontró que los exoesqueletos tienen una eficiencia en cuanto a la manipulación manual de carga y en la repetitividad de los movimientos articulares, otro impacto físico significativo es el deterioro en la salud de los trabajadores, que genera una complicación social y empresarial el cual se ve reflejado en la reducción de la rentabilidad, productividad y constante rotación del personal además en la economía de las empresas. Dentro de estos resultados se encontró 4 artículos que habla de las ventajas que, al usar los exoesqueletos, generan en la persona al momento del desarrollo de su actividad laboral al usarlo, encontrando que los exoesqueletos tienen una eficiencia en cuanto a la manipulación de carga y en la repetitividad de los movimientos articulares. Además de la disminución en el ausentismo laboral en las empresas, como desventaja se encontró que 2 artículos que hablan sobre los altos costos en los proyectos de desarrollo de los exoesqueletos y que estos pueden estar fuera del alcance de muchas empresas.

3. ABSTRACT

Due to the demands and physical demands of work activities and the damage caused to the health of workers, innovation and development projects of different types of devices such as exoskeletons are being carried out to help reduce multiple injuries due to DME in the working population, as a result of these practices due to the absence of mechanical aids or devices that adjust to the requirements or demands of the tasks. The DME that appear in workers as a result of work activity persist as one of the main causes of disability and absenteeism from work, thus, this is the gap that exoskeletons could help contribute to the reduction. METHODOLOGY: A bibliographic review of the scientific literature was carried out in different international and national databases that contain scientific journals with free access. TYPE OF STUDY: A topic review was carried out. INSTRUMENTS: Bibliographic records are composed as follows: title, year, databases from which it was taken, authors, bibliography, keywords, main ideas, theory on which the study is supported, objective of the article, results and discussion, methodology and academic conclusions and contributions to the research topic. RESULTS: After the analysis, you can have a more in-depth look at the impact of the use of exoskeletons in companies, showing the following results: it was determined that 7 articles evaluated the different Ergonomic impacts, 3 articles the physical impact and 2 articles the economic impact. It was found that exoskeletons have efficiency in terms of manual load handling and the repetitiveness of joint movements, another significant physical impact is the deterioration in the health of workers, which generates a social and business complication which is seen reflected in the reduction of profitability, productivity

and constant staff turnover, as well as in the companies' economy. Within these results, 4 articles were found that talk about the advantages that, when using exoskeletons, they generate in the person at the time of carrying out their work activity when using them, finding that exoskeletons have efficiency in terms of handling load and in the repetitiveness of joint movements. In addition to the decrease in work absenteeism in companies, as a disadvantage it was found that 2 articles talk about the high costs in exoskeleton development projects and that these may be out of the reach of many companies.

4. PROBLEMÁTICA

Según la INSST de España. Debido a las demandas y exigencias físicas de las actividades laborales y los daños causados en la salud de los trabajadores, se adelantan proyectos de innovación y desarrollo de diferentes tipos de dispositivos como lo son los exoesqueletos, para ayudar a reducir las múltiples lesiones por DME en la población trabajadora, a raíz de estas prácticas por la ausencia de ayudas mecánicas o dispositivos que se ajusten a las exigencias o demandas de las tareas. (1)

Es por esto que en la búsqueda de la evolución de las condiciones en los lugares de trabajo y en búsqueda de la disminución de sobreesfuerzos y manipulación manual de cargas. Surgen los proyectos de innovación como lo son los exoesqueletos. Estos se definen como dispositivos externos portátiles (en inglés “wearable”), ya que se colocan sobre el cuerpo del usuario con el propósito de disminuir la carga física de trabajo e incrementar las capacidades físicas de los trabajadores. Estos suponen una ayuda para el trabajador durante el desarrollo de una determinada actividad, reduciendo su exigencia física. (2)

Por otro lado, los desórdenes musculoesquelético (DME) se vinculan a un gran número de signos y síntomas que se manifiestan en los trabajadores que se enfrentan a tareas repetitivas, que incluyen manejo manual de cargas o el accionamiento e impresión de fuerza en posturas mantenidas, específicamente en músculos, tendones, alteraciones articulares, vainas tendinosas, atrapamientos nerviosos y vasculares. (3)

Desde la revisión realizada a nivel mundial se ha encontrado datos importantes en relación a las lesiones originadas por sobreesfuerzo en el ámbito laboral que se desencadenaron en un accidente de trabajo. En 2020 la INSST realizó un análisis de accidentes de trabajo por sobreesfuerzo específicamente en España que arrojó un total de 144.903 ATJT (accidente de trabajo en jornada de trabajo).

Estos accidentes se agruparon en dos tipos de eventos irregulares y afectaron negativamente en el desarrollo de las actividades laborales y dieron lugar a ATJT por sobreesfuerzo, los cuales fueron por manipulaciones como: levantar, transportar y/o levantarse, presentando el 30,6% que equivale al 44.293 de los eventos reportados, seguido de movimientos no coordinados, gestos inoportunos con el 21,4% correspondiente a 30.959 de casos reportados. De los 20 sectores económicos reportados al Ministerio de Trabajo y Economía Social de España las actividades que presentaron mayor número de casos fue en el sector construcción con el 8,4% que equivale a 12.185 casos reportados seguido del sector de comercio minoritario con el 7.7% que equivale a 11.191 de casos reportados. (4)

Por otro lado, en Perú en 2017 se realizó una investigación con el objetivo de determinar la frecuencia de DME en trabajadores de una empresa de refinería, y se evidenció que los más frecuentes fueron lumbago asociado a hernia discal con el 21,1%, lumbago con el 13%, (3) síndrome del manguito rotador 10,3% y cervicalgia asociada a hernia discal con el 3,6%. (3)

A nivel nacional y de acuerdo con la tabla de enfermedades laborales de Colombia en su Decreto 1477 del 2014 del Ministerio del Trabajo en la sección I agentes etiológicos/factores de riesgo ocupacional ergonómico, se encontró que dentro de las patologías relacionadas como causales de enfermedades laborales por factores ergonómicos se encontraron: hernias discales, dorsalgia, trastornos de disco cervical con

radiculopatía, trastornos de disco intervertebrales lumbares, lumbago con ciática, lumbago no especificado, tendinitis, tenosinovitis, entre otros.

Según reporte de FASECOLDA en su III encuesta nacional de condiciones de seguridad y salud en el trabajo en el sistema general de riesgos laborales de 2022 en Colombia, suministra datos estadístico sobre el comportamiento de DME de la empresas de los diferentes sectores económicos arrojando los siguiente datos: el factor de riesgo con mayor porcentaje corresponde al biomecánico por movimiento repetitivo en manos y brazos con el 73,58%, oficios con la misma postura durante toda o la mayor parte de la jornada representa el 70,06 % y peligro biomecánico que puede causar dolor el 57,81 %. Se ha evidenciado que el desenlace de estos accidentes desencadena enfermedades como patologías de la columna con el 15% y síndrome del túnel del carpo 8% a su vez fueron relacionadas con la ocupación. Los eventos laborales – ATEL ocuparon el (8 %) del total de incapacidades temporales. El estudio se aplicó a 23.726.000 a la población económicamente activa. (5)

Es por esto que se hace revisión en diferentes fuentes de información y/o bases de datos con proyectos de innovación y desarrollo como los son los exoesqueletos, que se han realizado en diferentes regiones a nivel mundial, en la búsqueda de herramientas y/o dispositivos que beneficien y ayuden a reducir los riesgos y peligros biomecánicos sobre la salud de los trabajadores, y que ayuden a aumentar los procesos productivos mediante la reducción de esfuerzo físico y disminución de cargas manuales que terminan siendo un resultantes de AT y EL.

De acuerdo con la literatura revisada se busca conocer el impacto y la adaptabilidad sobre las demandas y exigencias que tiene el exoesqueleto en la interacción con el trabajador y que tanto ayuda a reducir y/o controlar la demanda o exigencias físicas en la jornada laboral.

5. JUSTIFICACIÓN

Los DME que aparecen en los trabajadores producto de la actividad laboral persisten como una de las principales causas de incapacidad y ausentismo laboral, siendo así, ésta la brecha que los exoesqueletos podrían ayudar a contribuir en la disminución.

Se indaga mediante bases de datos internacionales y fuentes confiables, los diferentes tipos de exoesqueletos, sus estudios y pruebas en cuanto a la adaptabilidad de los trabajadores respecto a su uso y los impactos durante las pruebas.

Debido a esto se identifica la necesidad de conocer los pro y contras del uso de exoesqueleto, su integración, el impacto que este genera sobre la demanda del trabajador, y como ayuda a la reducción del ausentismo laboral originado por las lesiones derivadas por los DME. Los desórdenes músculo esqueléticos (DME) tienen origen multifactorial. En Colombia corresponden al principal grupo diagnóstico en procesos relacionados con la determinación de origen y pérdida de capacidad laboral. Por eso se decide indagar sobre el uso de los exoesqueletos, conociendo las ventajas y desventajas en su uso practico, y los múltiples resultados para el empleado y los empleadores, encontrando beneficioso el uso de estos para ambas partes; de acuerdo a las evidencias halladas en los procesos productivos de las organizaciones se encuentra que buscan controlar y mitigar la aparición de los DME, así como las medidas para la prevención y control de los DME a través de controles de ingeniería, que tiene como finalidad, impactar a través de la reducción del ausentismo laboral y la gravedad de las lesiones que estos puedan generar.(15)

Dentro de la literatura investigada se encontró un estudio realizado por FORD® acerca de pruebas desarrolladas y los resultados arrojados por el uso de los exoesqueletos, donde las personas que realizaron la prueba del estudio manifestaron sensación de confort y disminución de fatiga muscular. Con este estudio y las pruebas que se aplicaron buscan tener resultados para controlar y mitigar la aparición de DME, que, en fines últimos, impacta el ausentismo y la gravedad de las lesiones originadas tales como lumbalgia, tendinitis, hernias discales, entre otros. (8)

Debido a esto se considera importante conocer a cerca del uso de los exoesqueletos, en las empresas de todos los sectores económicos, donde se tenga en cuenta el análisis de los riesgos biomecánicos dentro de ellas, el cual termina siendo de gran relevancia, si se garantiza la Seguridad y Salud de los colaboradores, en el desarrollo de las actividades que tienen relación directa o indirecta con la manipulación manual de cargas (materiales, herramientas equipos, maquinaria, entre otros), posturas forzadas y sobreesfuerzos. Constantemente los trabajadores se encuentran expuestos a riesgo biomecánico, lo que conlleva a desarrollar fatiga física muscular, y que, con el paso del tiempo, resulta en DME y se convierten en patologías de origen osteomuscular.

Conocer más de los exoesqueletos ayuda a que las distintas empresas tengan mejores elementos para contribuir en la administración e intervención de la seguridad y salud en el trabajo de los colaboradores.

6. OBJETIVOS

General

- Analizar los impactos del uso de exoesqueletos en trabajadores de distintos sectores económicos.

Específicos

- Clasificar el impacto según el enfoque ergonómico, físico y económico en el uso de exoesqueletos en trabajadores y en las empresas.
- Identificar las ventajas del uso de exoesqueletos en los trabajadores y las empresas.
- Identificar las desventajas del uso de exoesqueletos en los trabajadores y las empresas.

7. METODOLOGÍA

Se realizó la revisión bibliográfica de la literatura científica, en diferentes bases de datos internacionales y nacionales que contienen revistas científicas con acceso libre: Scielo, Google académico, Scopus, e-libro y EBSCO; se emplearon criterios de inclusión como: idioma español, 5 años de antigüedad, estudios de cohorte, estudio de casos y controles y de revisión bibliográfica con los criterios de búsqueda: exoesqueletos, ventajas, desventajas, biomecánica y DME (desorden musculoesquelético). La búsqueda se realizó durante los meses de julio hasta noviembre del año 2023.

La revisión bibliográfica obtuvo su información de las fuentes académicas (bases de datos) ya mencionadas, utilizando la siguiente ecuación de búsqueda: exoesqueletos, ventajas, desventajas, biomecánica y DME.

Para recopilar la información pertinente para la revisión bibliográfica, se combinó con el operador booleano "AND". (se demuestra en el diagrama de flujo de la metodología de búsqueda).

Se tuvo en cuenta un periodo de tiempo de 5 años desde el 2018 hasta 2023, se incluyeron 1 (un) artículo que se sale de este rango de periodo, ya que aportan significativamente al proyecto de investigación de revisión bibliográfica.

El idioma que mayormente se encontró información fue en español que respondieron a variables como condiciones laborales donde se usan los exoesqueletos sus ventajas, desventajas y en el impacto desorden musculoesquelético. En el idioma inglés se encontraron una cantidad total de 4 artículos que cumplieron con los criterios de inclusión de la revisión bibliográfica.

Se tomaron de estas bases de datos artículos con más relevancia en el ámbito laboral, sin embargo, los artículos que principalmente presentan investigación en el uso de exoesqueletos, se enfocan en la rehabilitación y en datos médicos (proyectos de adaptación y rehabilitación humana), lo que implica que el uso de exoesqueletos abarca muchas disciplinas.

Teniendo en cuenta lo anterior, y pese a que el proyecto se enfoca de un campo de estudio relacionados con biomecánica laboral todavía no es mucha la información encontrada y relacionada con el impacto de uso de exoesqueletos en las diferentes empresas y en las condiciones laborales. En cuanto a la información encontrada sobre los exoesqueletos es un tema que sigue siendo muy amplio, por lo que el grupo de investigación decidió excluir numerosos artículos que se enfocaban en temas de rehabilitación y medicina, por lo que no cumple con el objetivo del presente proyecto.

Según el resultado de búsqueda se obtuvieron 1215 artículos, de los cuales se seleccionaron 68. En la base de datos donde se encontró mayor número de artículo que aportan al proyecto fue Google académico con 1000, seguido de SciELO con 80 y Biblioteca Virtual de Salud (BVS) 134.

Por lo tanto, el grupo de investigación selecciona 68 artículos de los cuales se excluyen 34 artículos y se incluyen 34 en los cuales se encontraron aporte a los objetivos del proyecto; se tiene en cuenta artículos originales de estudios descriptivos, proyectos de desarrollo, revisiones bibliográficas y tesis de grado.

En la siguiente fase en la matriz de depuración se busca, artículos incluidos y excluidos, disponibles en formato PDF en su mayoría o de lectura libre según la web y base de datos utilizada.

Se tomaron 34 a los cuales se llevaron a una ficha bibliográfica teniendo en cuenta los siguientes criterios: título, año, bases de datos de donde se tomó, autores, bibliografía, palabras claves, ideas principales, teoría donde se apoya el estudio, objetivo del artículo, resultados y discusión, metodología y conclusiones académicas y aportes al tema de investigación.

En los artículos incluidos para cumplir los objetivos del proyecto se tuvo en cuenta la captación de la información los datos de la ficha bibliográfica y criterios de recopilación antes mencionados.

TIPO DE ESTUDIO: Se realizó una revisión de tema.

INSTRUMENTOS: Fichas bibliográficas se compone de la siguiente manera: título, año, bases de datos de donde se tomó, autores, bibliografía, palabras claves, ideas principales, teoría donde se apoya el estudio, objetivo del artículo, resultados y discusión, metodología y conclusiones académicas y aportes al tema de investigación.

TITULO Seven principles for implementing industrial exoskeletons using the ergonomic approach	SUBTITULO (SI LO TIENE)
AÑO DE PUBLICACION 2023	BASE DE DATOS DONDE SE LOCALIZO EL ARTICULO Google académico
AUTOR Yaniel Torres-Medina, Yordán Rodríguez	
BIBLIOGRAFIA (NORMAS VANCOUVER) Torres Y, Rodríguez Y, Seven principles for implementing industrial exoskeletons using the ergonomic approach. 2023; 22 (4): 73 – 84.	
PALABRAS CLAVE acceptability; comfort; cost-benefit; musculoskeletal disorders; ergonomics; industrial exoskeletons; occupational health; safety; work; usability; utility.	
IDEAS PRINCIPALES El interés por el uso de exoesqueletos industriales para la prevención de DME ha aumentado en los últimos años. Sin embargo, existen muchas dudas con las ventajas y desventajas de adoptar este avance de esta tecnología. Existen muchas tareas que implican exigencias físicas importantes y que exponen a los trabajadores a factor de riesgo biomecánico que puede dar origen a la aparición de DME.	
TEORIAS EN LAS QUE SE APOYA EL ESTUDIO Ninguna	
OBJETIVO DEL ARTICULO El objetivo de este artículo es llevar a cabo un análisis crítico sobre el uso de los exoesqueletos industriales como estrategia de prevención de desórdenes musculoesqueléticos y proponer siete principios para guiar su implementación en contextos de trabajo desde la perspectiva de la ergonomía.	
RESULTADOS Y DISCUSION Se exponen los 7 principios: Principio 1: Definición y caracterización de la tarea, Principio 2: Seguridad y condiciones de utilización, Principio 3: Confort y facilidad de uso, Principio 4: Utilidad, Principio 5: Impacto en la ejecución de la tarea, Principio 6: Aceptabilidad y aceptación y Principio 7: Costo y factibilidad económica.	
METODOLOGIA Con base en el análisis de la literatura científica, reportes e informes de institutos y agencias gubernamentales, así como por la experiencia de los autores como investigadores, profesores y consultores en ergonomía por más de 15 años en diversos sectores económicos, se proponen siete principios que pueden servir de referencia para incrementar el éxito de la implementación de exoesqueletos industriales en entornos laborales. Para ello, se definieron inicialmente los siete principios tomando como base la perspectiva de la ergonomía y una secuencia lógica del proceso de selección e implementación de los exoesqueletos. Posteriormente cada principio fue enriquecido a partir del análisis crítico de la literatura y de la discusión entre los autores.	

Ilustración 1. Ficha de revisión bibliográfica elaborada por el grupo de investigación.

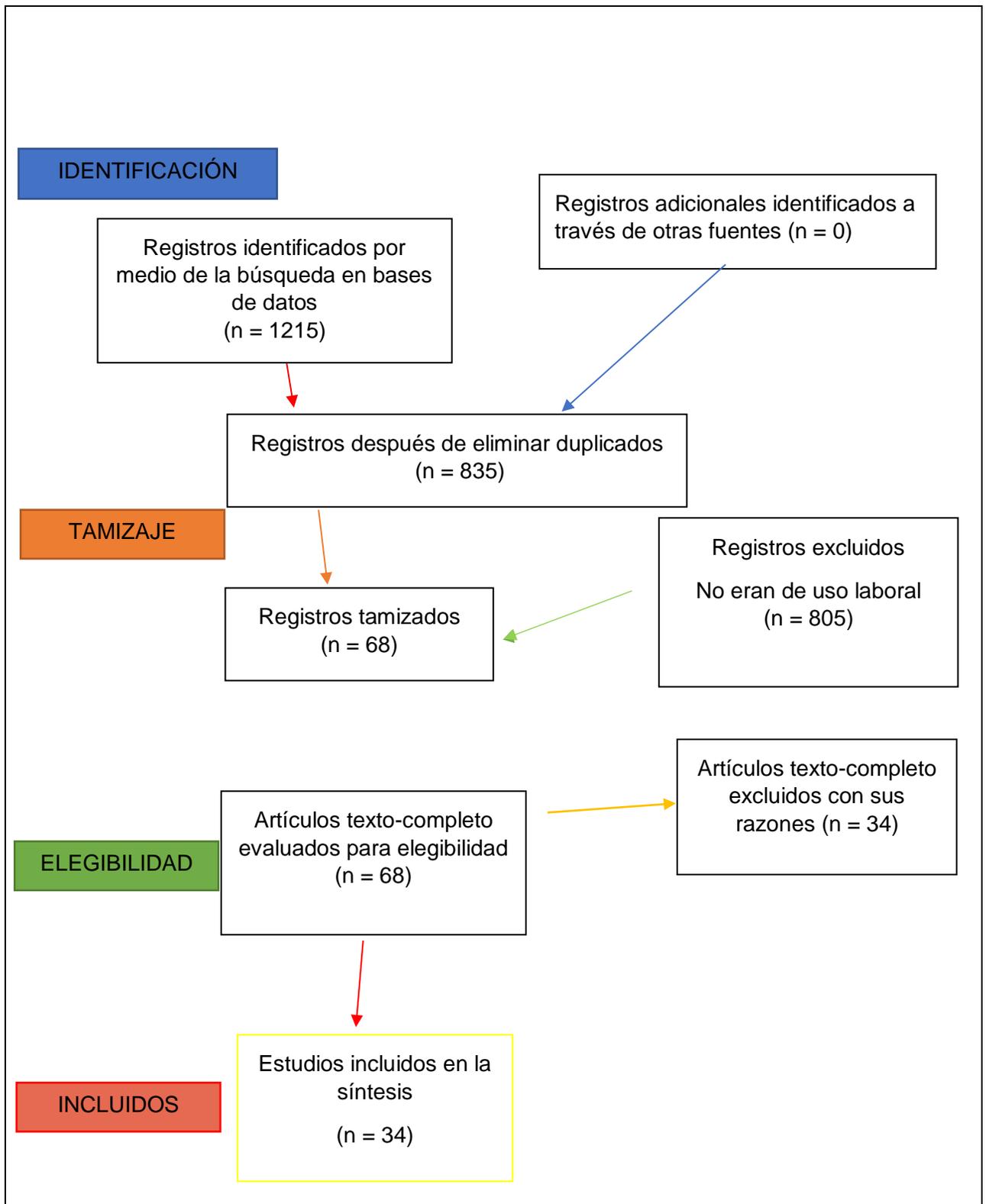


Ilustración 2. Resultados de los artículos incluidos en la revisión en el flujograma.

8. DESARROLLO DE RESULTADOS

En los análisis realizados para elaborar la revisión bibliográfica se enfocó en buscar información relevante que aporta a los objetivos del proyecto, el cual es el uso de exoesqueleto, clasificar los diferentes impactos del uso en las condiciones laborales y la reducción de DME, sus ventajas y desventajas; se obtuvo información acertada y principal a nivel mundial.

Según el análisis realizado se encontró que el **21%** de los artículos definen el **impacto ergonómico** del uso de los exoesqueletos en las empresas, evidenciando los siguientes resultados: se determinó que 7 artículos evaluaban los diferentes usos que se le dan a los exoesqueletos y el impacto que genera en la persona en el desarrollo de su actividad laboral al usarlo, encontrando que los exoesqueletos tienen una eficiencia en cuanto a la manipulación manual de carga y en la repetitividad de los movimientos articulares. (6) (7) (8) (16)

Se encontró que el impacto en la ergonomía laboral por la aparición de DME desencadena un significativo deterioro en la salud de los trabajadores, que genera una complicación social y empresarial el cual se ve reflejado en la reducción de la rentabilidad, productividad y constante rotación del personal además del impacto en el ausentismo laboral y en la economía de las empresas. (9)

En cuanto a las pruebas de los exoesqueletos en humanos el impacto físico ha sido satisfactorio y demuestra una buena e innovadora alternativa, cumpliendo con el requerimiento de adaptabilidad. (10) En los niveles de activación muscular y el impacto físico en las personas, el exoesqueleto reduce un 34% la actividad media del deltoides, y un 18% la del trapecio. Estos resultados pueden alinearse a una reducción de la fatiga en el músculo, el discomfort y de riesgos relacionados con actividades repetitivas. (19)

Por otra parte, en los músculos potencialmente perjudicados por el uso del exoesqueleto (el dorsal y el erector espinal) no se observó ninguna diferencia significativa en cuanto a su activación. Por lo que el exoesqueleto mejora los esfuerzos en los músculos más afectados por la manipulación de cargas y no tiene efectos adversos en otra musculatura que podría verse afectada por el exoesqueleto. (8) .El **9%** de los artículos revisados se enfocaban en el impacto físico en las personas que utilizaban el exoesqueleto.

En términos de efectos e impacto económico se encontró que el **6%** de los artículos seleccionados nos dice que las empresas asumen diariamente un costo alto por ausentismo derivado de accidentes y enfermedades de origen laboral por DME. Teniendo en cuenta la problemática y la situación global de las empresas por estos factores y los grandes avances de la tecnología, se está impulsando la adopción de diferentes exoesqueletos debido a los múltiples beneficios que, según algunos estudios y los propios fabricantes, ofrecen al ayudar y reducir las

demandas físicas y la fatiga que experimentan los trabajadores y mejorar la salud, la seguridad y el rendimiento de los trabajadores. (11) (9)

De esta manera se evidencia el impacto positivo en el uso de los exoesqueletos en tres aspectos: económico, físico y ergonómico. Los impactos generales están asociados a las mismas ventajas los cuales se van a mencionar de manera detallada a continuación:

El **12%** de los artículos seleccionados muestra las ventajas encontradas en el uso de exoesqueletos.

Estudios realizados como el de la facultad de ingeniería y arquitectura en la universidad Cesar Vallejo, se evidencia que el diseño del exoesqueleto de extremidades superiores, tiene como ventaja el aumento del límite de carga de levante para los operarios de la empresa ETRAL SAC. Otra de las ventajas del uso de los exoesqueletos desde el punto de vista de la ergonomía es el impacto positivo en la disminución significativa del ausentismo laboral en las empresas por accidentes y/o enfermedades laborales originadas por DME. (12)

En los resultados del estudio se evidencio que el diseño y posterior a la fabricación de un exoesqueleto permite incrementar la capacidad de levante en los operarios, reducir la fatiga y evitar lesiones de origen osteomuscular, Además de disminuir la carga muscular en miembros superiores cuando se ejecutan tareas que requieren de posturas prolongadas ó forzadas. (12) (20)

Al colocarse el exoesqueleto, los ángulos de flexión de la cintura y los ángulos de torsión de los hombros de las personas disminuyeron, lo que indica que el sistema propuesto evitaba que los usuarios se esforzaran en los músculos de la cintura y los hombros. En este trabajo fue demostrado que el exoesqueleto evita físicamente que los trabajadores tengan posturas inseguras para que los trabajadores se habitúen a tener posturas más seguras y ergonómicas. (12)

Por otro lado, un estudio realizado por la universidad de Barcelona en España sobre los exoesqueletos y sus funcionalidades en la sociedad, demuestran ventajas puntuales como: reducción en el esfuerzo de la columna lumbar y una corrección en la postura en el plano sagital, disminuye las fuerzas ejercidas sobre los discos intervertebrales en movimientos de flexión, extensión de tronco y en donde manipulan cargas, reduce significativamente la actividad muscular donde el mínimo exceso de la misma puede ser perjudicial, el uso de exoesqueletos puede ayudar a prevenir ciertas lesiones musculoesqueléticas en los trabajadores, generando una reducción de costos monetarios para la empresa en cuanto a incapacidades profesionales y accidentes provocadas por DME. (9) (13)

Según la revisión realizada, el **6%** de los artículos seleccionados muestra las desventajas encontradas en el uso ó aplicabilidad de exoesqueletos.

Dentro de las desventajas en el uso de exoesqueletos y su impacto ergonómico en las condiciones laborales y la reducción de DME. Se mencionan los costos

económicos, la adaptación de exoesqueleto en el trabajador y el alto costos que puede generar los tiempos dedicados a la formación y capacitación de este.

Otra de las desventajas en cuanto a los trabajadores no asegura una adaptabilidad completa y puede conllevar a riesgos laborales relacionados con el uso de exoesqueletos. (14) (19).

Al realizar el análisis de la información recopilada de manera general, podemos evidenciar que no se encontró un impacto o diferencias para los distintos sectores económicos en el uso de los exoesqueletos. Dentro de los numerosos beneficios encontrados sugiere el impacto positivo en la ergonomía laboral a la hora de ser tenido en cuenta para la reducción de los diferentes DME, que resultan por la exposición a movimientos repetitivos, posturas prolongadas, manipulación manual de cargas, los ángulos de confort y en la higiene postural al momento de realizar la labor.

Para cerrar este análisis el impacto está en: la ergonomía laboral y en la reducción de accidentes y enfermedades laborales por DME, como principal ventaja la disminución del ausentismo laboral y de los costos directos e indirectos que estos generan, dentro de las desventajas encontramos el alto precio monetario que tienen los exoesqueletos lo que hace la difícil adquisición por parte de las empresas.

De los otros artículos incluidos en la presente investigación, el **21 %** responden a la problemática y justificación de la revisión de tema. Y el **25 %** responden al impacto frente a los DME y fueron tenidos en cuenta para el análisis general pero no responden de manera específica a los objetivos.

9. CONCLUSIÓN

Se puede concluir que los exoesqueletos cada vez ganan más importancia y generan un gran impacto en los entornos laborales y en las empresas de las grandes industrias, esto con el fin de generar lugares, condiciones y entornos de trabajo seguros, disminuyendo los factores de riesgo biomecánicos y generando un confort ergonómico, además de la disminución significativa en las cargas excesivas, posturas forzadas/prolongadas, sobreesfuerzo y movimiento repetitivo.

Los estudios sobre el uso y el impacto de generar el uso de los exoesqueletos en las industrias, han sido escasos, pero con los proyectos de desarrollo que se vienen trabajando sobre su uso e implementación, crea la necesidad de conocer más a fondo sobre la integración de estos en las industrias y entornos laborales, es por ello que cada vez son más las investigaciones y los estudios del uso de exoesqueletos

También se puede concluir que aún falta más proyectos de investigación y desarrollo que orienten al uso de exoesqueletos y todas sus ventajas y los beneficios que puede traer a los trabajadores y empresas, para la mitigación de enfermedades y accidentes de trabajo derivados de DME o factores de riesgos biomecánicos que se desencadenan en DME.

A largo plazo, la inversión de los recursos suficientes en las fases iniciales de este tipo de proyectos, se traducen en mejores diseños y en el desarrollo de mejores productos, que producidos a gran escala diluyen estos costos, permitiendo masificar el uso de los exoesqueletos.

Referente a las desventajas, se puede afirmar que estas están asociadas a los altos costos en que se deben incurrir en el diseño y fabricación de los exoesqueletos y en su implementación en la industria, lo cual normalmente se presenta en el desarrollo de nuevas tecnologías.

A pesar de que se cuentan con herramientas tecnológicas para realizar nuevos diseños mediante simulaciones, modelaciones e incluso IA, siempre es necesaria la fabricación de modelos físicos y prototipos para evaluar su funcionamiento, lo que se traduce en la inversión de dinero, así como los procesos de capacitación para los operadores de los exoesqueletos.

10. RECOMENDACIONES

Realizar proyectos de investigación enfocados al uso de exoesqueletos en el ámbito laboral implementando la ergonomía.

Desarrollar estudios de innovación para la reducción de DME donde se incorpore la biomecánica corporal, la ergonomía y el diseño universal.

Ampliar el repositorio en cuanto a estudios e investigaciones en el uso de exoesqueletos en el ámbito laboral.

11. BIBLIOGRAFÍA

1. Trabajo. INdSySee. Exoesqueletos I: Definición y clasificación. Notas Técnicas de Prevención. INSST, España; 2021. Report No.: 1.162.
2. Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST) OA,MP. Introducción a los aspectos ergonómicos y a otros factores de riesgos derivados del uso de robots, exoesqueletos y drones. Folleto. Madrid: INSST; 2023 mayo.
3. Ramírez-Pozo EG MM. Frecuencia de trastornos musculoesqueléticos en los trabajadores de una refinería de Lima, 2017. An. Fac. med.. 2019 sep; 80(3).
4. Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST) OA,MP. Accidentes de trabajo por sobreesfuerzos. 2020. Catálogo. Madrid: Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST), O.A., M.P. C/ Torrelaguna, 73 - 28027 Madrid, Departamento de Investigación e Información (INSST); 2021.
5. OISS. III Tercera encuesta Nacional de Condiciones de Seguridad y Salud en el Trabajo en el Sistema General de Riesgo Laborales. Bogotá: FASECOLDA, Ministerio de Trabajo; 2022.
6. Hurtado JJD. ESTUDIO SOBRE LA APLICACIÓN DE LOS EXOESQUELETOS EN EL ÁMBITO DE LA ERGONOMÍA LABORAL. Repositorio Institucional de la Universidad Alicante. 2022 febrero.
7. Harold Cohen Padilla MCLEBM. Análisis del impacto ergonómico asociado a la manipulación de cargas en trabajadores de equipos de perforación del sector petrolero. Estrella Nueva. 2021 enero; 18(34).

8. etal SIEy. Evaluación del impacto del uso de un exoesqueleto de miembro superior en condiciones reales. El caso de Ford. Revista de biomecánica. 2019; 42-46(66).
9. JJD H. ESTUDIO SOBRE LA APLICACIÓN DE LOS EXOESQUELETOS EN EL ÁMBITO DE LA ERGONOMÍA LABORAL. Tesis de Grado Alicante. Universidad de Alicante; 2022.
- 10 Gutiérrez R,NSPA,ASOF,VF,&DJ. Exoesqueleto Mecatrónico Para .Rehabilitación Motora. 8º CONGRESO IBEROAMERICANO DE INGENIERIA MECANICA. 2007 octubre; Coscu(Perú).
- 11 Nicolás BRJAYDR. Repositorio Institucional Javeriano. [Online].; 2020 [cited . 2023 noviembre 20. Available from: <https://repository.javeriana.edu.co/>.
- 12 Castañeda Gonzales DAYGGJA. Repositorio de la Universidad César Vallejo. .[Online].; 2021 [cited 2023 diciembre 5. Available from: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/81974>.
- 13 Majumder J KSSLKS. Upper extremity muscular strength in wrist-twisting tasks: Model approach towards task design.. Hum Fact Ergon Manuf. 2020; 30(50-58).
- 14 Esteves Lorenzo E. Los exoesqueletos y sus funcionalidades en la sociedad. .universidad de Barcelona. 2022 febrero.
- 15 Medina AFS. Prevalencia de desórdenes músculo esqueléticos en .trabajadores de una empresa de comercio de productos farmacéuticos. Rev. Cienc. Salud. Bogotá Colombia. 2018 mayo-agosto; 16(2).
- 16 Hurtado JJD. ESTUDIO SOBRE LA APLICACIÓN DE LOS .EXOESQUELETOS EN EL ÁMBITO DE LA ERGONOMÍA LABORAL. Tesis de grado. Alicante: Universidad de Alicante; 2022.
- 17 Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST) OA,MP. Informe . anual de accidentes de trabajo en España 2020. Informe anual. Madrid: Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST), O.A., M.P. C/ Torrelaguna, 73 - 28027 Madrid; 2021.
- 18 Dr. Yukio Rosales Luengas DJRLG. Exoesqueletos, la robótica que abraza a . los humanos. Gaiabit. 2023 marzo.
- 19 Sofía Iranzo Egea ÚMIye. Evaluación del impacto de uso de exoesqueleto de . miembro superior en condiciones reales. Rvista de Biomecánica. 2019; 42-46(66).

20 Bonilla Ramos Julián Andrés y Díaz Rueda N. Diseño de un exoesqueleto para .uso industrial de miembros superiores a base de materiales reciclados. Pontificia Universidad Javeriana. 2020.



Universidad[®]
Católica
de Manizales

VIGILADA MINEDUCACIÓN

*Obra de Iglesia
de la Congregación*



Hermanas de la Caridad
Dominicas de La Presentación
de la Santísima Virgen

Universidad Católica de Manizales
Carrera 23 # 60-63 Av. Santander / Manizales - Colombia
PBX (6) 8 93 30 50 - www.ucm.edu.co