



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

Descripción de exoesqueletos para mejorar las posturas

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE:

Bachiller en Ingeniería Industrial

AUTORES:

Janampa Berrospi, Cristhian Raul (orcid.org/0000-0003-1217-4748)

Meza Tristan, Brayan Aaron (orcid.org/0000-0002-7126-9651)

ASESOR:

Mg. Ramos Harada, Freddy Armando (orcid.org/0000-0002-3619-5140)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Gestión Empresarial y Productiva

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Desarrollo económico, empleo y emprendimiento

LIMA — PERÚ

2024

DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD DEL ASESOR



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

Declaratoria de Autenticidad de los Asesores

Yo, RAMOS HARADA FREDDY ARMANDO, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA INDUSTRIAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - LIMA ATE, asesores de Trabajo de Investigación titulado: "Descripción de exoesqueletos para mejorar las posturas", cuyos autores son JANAMPA BERROSPI CRISTHIAN RAUL, MEZA TRISTAN BRAYAN AARON, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 8%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

Hemos revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender el Trabajo de Investigación cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumimos la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual nos sometemos a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

LIMA, 03 de Julio del 2024

| Apellidos y Nombres del Asesor: | Firma |
|--|---|
| RAMOS HARADA FREDDY ARMANDO DNI: 07823251 ORCID: 0000-0002-3619-5140 | Firmado electrónicamente por: FRAMOSH el 25-07- 2024 12:14:58 |

Código documento Trilce: TRI - 0790992



DECLARATORIA DE ORIGINALIDAD DE LOS AUTORES



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

Declaratoria de Originalidad de los Autores

Nosotros, JANAMPA BERROSPI CRISTHIAN RAUL, MEZA TRISTAN BRAYAN AARON estudiantes de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA INDUSTRIAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - LIMA ATE, declaramos bajo juramento que todos los datos e información que acompañan la Tesis titulada: "Aplicación de la ergonomía en el área de almacén para incrementar la productividad en una empresa de transporte,ATE,2024", es de nuestra autoría, por lo tanto, declaramos que la Tesis:

1. No ha sido plagiada ni total, ni parcialmente.
2. Hemos mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicada, ni presentada anteriormente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

En tal sentido asumimos la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de la información aportada, por lo cual nos sometemos a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

| Nombres y Apellidos | Firma |
|--|---|
| BRAYAN AARON MEZA TRISTAN DNI: 74494012 ORCID: 0000-0002-7126-9651 | Firmado electrónicamente por: BMEZAT el 01-07-2024 13:27:55 |
| CRISTHIAN RAUL JANAMPA BERROSPI DNI: 74923261 ORCID: 0000-0003-1217-4748 | Firmado electrónicamente por: CJANAMPAB el 01-07- 2024 12:23:16 |

Código documento Trilce: TRI - 0784669

Dedicatoria

Este trabajo de investigación está dedicado a quienes han sido nuestros pilares durante este proceso a nuestras familias por su constante apoyo, a nuestros amigos por su aliento incondicional y a nuestros docentes por su invaluable orientación. A todos ellos les agradecemos profundamente por hacer posible este logro.

Con sincero agradecimiento,
Janampa Berrospi Cristhian Raúl
Meza Tristan Brayan Aaron

Agradecimiento

Queremos expresar nuestro más profundo agradecimiento a todas las personas que han sido fundamentales en la realización de este trabajo de investigación. A nuestras familias, por su apoyo incondicional, comprensión y paciencia a lo largo de este proceso. A nuestros amigos, por su constante ánimo y por creer en nosotros. A nuestros docentes, por su orientación, conocimientos y por motivarnos a seguir adelante. Este logro es el resultado del esfuerzo y respaldo de cada uno de ustedes.

¡Nos sentimos muy agradecidos!

Janampa Berrospi Cristhian Raúl
Meza Tristan Brayan Aaron

ÍNDICE DE CONTENIDOS

| | |
|---|------|
| Declaratoria de Autenticidad del Asesor | ii |
| Declaratoria de Originalidad de los Autores | iii |
| Dedicatoria | iv |
| Agradecimiento..... | v |
| Índice de Contenidos | vi |
| RESUMEN..... | vii |
| ABSTRACT | viii |
| I.INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| II.METODOLOGÍA | 8 |
| III.RESULTADOS | 12 |
| IV.CONCLUSIONES..... | 18 |
| REFERENCIAS | |
| ANEXOS..... | |

RESUMEN

El trabajo de investigación tiene como objetivo describir cómo los exoesqueletos pueden contribuir a mejorar las posturas laborales, a través de una revisión exhaustiva de la literatura. Para ello, se seleccionaron 18 artículos utilizando el método PRISMA, enmarcados en un enfoque cualitativo de tipo descriptivo y un diseño no experimental. El estudio se centra en compilar y analizar información proveniente de diversos autores especializados en el tema. Los resultados obtenidos presentan los diferentes métodos y enfoques utilizados en las investigaciones revisadas, proporcionando una visión integral de las aplicaciones y beneficios potenciales de los exoesqueletos en entornos laborales. Esta investigación se enmarca dentro del Objetivo de Desarrollo Sostenible 8 (Trabajo decente y crecimiento económico), ya que busca promover condiciones laborales más seguras y ergonómicas, contribuyendo a mejorar la calidad de vida de los trabajadores. En conclusión, este estudio resalta la importancia de seguir explorando nuevas tecnologías, como los exoesqueletos, para fomentar posturas ergonómicamente saludables y mejorar la calidad de vida en el entorno laboral.

Palabras clave: Exoesqueletos, Tecnologías, Posturas Ergonómicas

ABSTRACT

The research work aims to describe how exoskeletons can contribute to improving workplace postures through a comprehensive literature review. The study focuses on compiling and analyzing information from various authors specialized in the subject. The obtained results present the different methods and approaches used in the reviewed research, providing an integral view of the applications and potential benefits of exoskeletons in workplace environments. This research aligns with Sustainable Development Goal 8 (Decent Work and Economic Growth), as it seeks to promote safer and more ergonomic working conditions, contributing to the improvement of workers' quality of life. In conclusion, this study highlights the importance of continuing to explore new technologies, such as exoskeletons, to promote ergonomically healthy postures and enhance quality of life in the workplace.

Keywords: Exoskeletons, Technologies, Ergonomic Postures

I.INTRODUCCIÓN

El desarrollo de exoesqueletos ha surgido como una solución innovadora para prevenir los trastornos musculo esqueléticos (TME), que se generaban comúnmente en diversos ámbitos laborales. Estos dispositivos fueron diseñados para reducir las cargas físicas que los trabajadores soportaban, especialmente en actividades que implican levantar objetos pesados, mantener posturas incómodas y realizar movimientos repetitivos [1]. Los exoesqueletos de soporte para la espalda (BSE) han demostrado ser particularmente útiles. Estos dispositivos pueden ser tanto pasivos, sin necesidad de energía, como activos, que necesitan actuadores para proporcionar asistencia motorizada. Los exoesqueletos pasivos son los más destacables debido a su menor costo y facilidad de aplicación. En sectores como la construcción, donde las lesiones de espalda son las más frecuentes debido a la manipulación de materiales y las posturas incómodas, estos exoesqueletos han mostrado reducir significativamente la carga física y mejorar la ergonomía de los trabajadores [2]. Además, la aplicación de los exoesqueletos no solo se limita al ámbito de la construcción, sino también en la manufactura, llamados así mismos exoesqueletos colaborativos, o robots, en las cuales están siendo implementados para tareas de ensamblaje, soldadura y manejo de materiales pesados. Estos dispositivos no solo ayudan a prevenir lesiones, sino que también mejoran la productividad y la calidad del trabajo al permitir que los trabajadores realicen tareas físicamente demandantes de manera más segura y eficiente [3]. La investigación y desarrollo continuos en este amplio campo, respaldado por instituciones y planes estratégicos como el de NIAMS (2020-2024), subrayan la importancia de integrar tecnologías emergentes para salvaguardar la integridad física y la salud ocupacional. La implementación de estos equipos biomecánicos en diversos sectores promete una significativa reducción en la incidencia de trastornos musculo esqueléticos, promoviendo entornos laborales más seguros y saludables [4].

La ergonomía fisiológica es una rama de la ergonomía que estudia cómo el cuerpo humano interactúa con su entorno de trabajo, para así poder mejorar la salud, seguridad y la eficiencia del trabajador, es una disciplina que busca comprender las capacidades y limitaciones físicas del cuerpo humano donde se

utiliza este conocimiento para diseñar lugares de trabajo [3]. Estos avances demuestran cómo la innovación tecnológica puede tener un impacto directo y positivo en la salud y seguridad de los trabajadores, mitigando riesgos y mejorando la calidad de vida laboral en múltiples industrias [5].

Por lo tanto, como objetivo general: se describirán exoesqueletos que mejoren las posturas laborales. Su aplicación se ha extendido más allá de la construcción, donde las lesiones de espalda son frecuentes debido a la manipulación de materiales y posturas incómodas. También se utilizan en manufactura, donde son conocidos como exoesqueletos colaborativos. Estos dispositivos se están implementando en tareas como ensamblaje, soldadura y manejo de materiales pesados, no solo ayudando a prevenir lesiones, sino también mejorando la productividad y la calidad del trabajo.

Esta investigación se enmarca dentro del Objetivo de Desarrollo Sostenible 8 (Trabajo decente y crecimiento económico), ya que busca promover condiciones laborales más seguras y ergonómicas, contribuyendo a mejorar la calidad de vida de los trabajadores. La implementación de exoesqueletos en diversos sectores promete una significativa reducción en la incidencia de TME, fomentando entornos laborales más seguros y saludables.

Antecedentes: Se diseñó una matriz de antecedentes en la que contenga los siguientes elementos: título del artículo, autor o autores, objetivo de la investigación, metodología empleada y resultados obtenidos para identificar, evaluar y analizar las diferentes acciones con la finalidad de dar a conocer los resultados efectivos de la implementación de exoesqueletos. Para ello en primer lugar crearemos nuestra matriz de antecedentes en Excel. Una vez en ella, crearemos una nueva tabla designando las columnas correspondientes a cada uno de los elementos mencionados. En la cual, la primera columna se etiquetará como "Título del Artículo", la segunda como "Autor/es", la tercera como "Objetivo", la cuarta como "Metodología" y la quinta como "Resultados". A continuación, se procede a ingresar los datos de cada artículo en las filas correspondientes. En la columna "Título del artículo", se registra el nombre del artículo de investigación. En la columna "Autor/es", se incluyen los nombres de los autores del artículo. En la columna "Objetivo", se detalla el objetivo o propósito de la investigación llevada a cabo. En la columna "Metodología", se describe la metodología utilizada para llevar a cabo el estudio. Finalmente, en la

columna "Resultados", se registran los hallazgos y resultados obtenidos a partir de la investigación. Una vez completada la tabla con la información recopilada de cada artículo, se puede dar formato para mejorar su presentación y legibilidad para anexar a nuestro documento de redacción.

Por consiguiente, esta tabla proporciona una visión general clara y sistemática de los diversos aspectos abordados en cada artículo, facilitando así el análisis comparativo y la extracción de conclusiones relevantes para futuras investigaciones en el campo.

Cuadro de antecedentes

| TÍTULO | AUTORES | OBJETIVOS |
|---|--|---|
| ESTIMACIÓN DE LA CARGA DE LA COLUMNA LUMBAR CUANDO SE UTILIZAN EXOESQUELETICOS DE SOPORTE PARA LA ESPALDA EN TAREAS DE LEVANTAMIENTO | SAMAN MADINEI , MAURY A, NUSSBAUM | Evaluar los efectos de dos exoesqueletos industriales de soporte para la espalda (BSE) en la compresión lumbosacray las fuerzas de corte durante el levantamiento repetitivo. |
| LOS AFECTOS DE UN EXOESQUELETO PASIVO SOBRE LA ACTIVIDAD MUSCULAR, EL MALESTAR Y EL TIEMPO DE RESISTENCIA EN EL TRABAJO DE FLEXIÓN HACIA ADELANTE | TIM BOSCHA, JENNIFER VAN ECK, KARLIJN KNITEL , MICHIEL DE LOOZE | Determinar la eficacia de los exoesqueletos pasivos en reducir la actividad muscular, la incomodidad y aumentar la resistencia en posturas inclinadas hacia adelante, para prevenir el dolor lumbar y mejorar la ergonomía en el trabajo. |
| IMPACTO DE DOS EXOESQUELETOS DE ASISTENCIA POSTURAL EN LA CARGA BIOMECÁNICA DE LA COLUMNA LUMBAR | MICHAEL T. PICCHIOTTIAB , ERIC B. WESTONA, GREGORY G. KNAPIKA, JONATHAN S. DUFOURO , WILLIAM S. MARRASAB | El estudio comparó exoesqueletos de soporte lumbar activos y pasivos para evaluar su efecto en la carga lumbar, momentos de extensión de la columna vertebral. |

| | | |
|---|---|--|
| <p>ANÁLISIS BIOMECÁNICO DE DIFERENTES EXOESQUELETOS DE SOPORTE DE LA ESPALDA CON RESPECTO A LA CARGA MUSCUESQUELÉTICA DURANTE EL LEVANTAMIENTO Y LA SUJECIÓN</p> | <p>J.JOHNS, I.SCHULTES , K.ENRIQUE , W.POTTHAST ,U.GLITSCH.</p> | <p>El estudio investigó cómo exoesqueletos de soporte lumbar, activos y pasivos, influyen en la carga y la actividad muscular durante tareas de manipulación manual como levantar objetos, evaluando su efectividad para reducir la carga lumbar y la activación muscular de la espalda.</p> |
| <p>ESTIMACIÓN DE LA CARGA DE LA ARTICULACIÓN LUMBOSACRA EN TIEMPO REAL EN CONDICIONES DE LEVANTAMIENTO ASISTIDO POR EXOESQUELETO MEDIANTE MODELOS MUSCULOESQUELÉTICOS BASADOS EN ELECTROMIOGRAFÍA</p> | <p>A.MOYA-ESTEBAN , G.DUTANDAU ,H.VAN DER KOOIJ , M.SARTORI</p> | <p>El estudio usó electromiografía en tiempo real para medir las fuerzas de compresión en la columna durante el levantamiento, comparando el efecto de un exoesqueleto de soporte lumbar con levantamientos sin él.</p> |
| <p>EVALUACIÓN DE UN EXOESQUELETO INDUSTRIAL ACTIVO PARA AYUDAR AL LEVANTAMIENTO DINÁMICO Y REDUCIR LAS TAREAS DE MANIPULACIÓN MANUAL</p> | <p>KIRSTEN HUYSAMENA, MICHIEL DE LOOZEB, TIM BOSCHB, JESUS ORTIZ, STEFANO TOXIRIC, LEONARD W. O'SULLIVANA</p> | <p>El objetivo del estudio fue determinar cómo un exoesqueleto industrial activo puede mejorar la capacidad de los trabajadores para realizar tareas de levantamiento.</p> |
| <p>PESO EQUIVALENTE: APLICACIÓN DEL MÉTODO DE EVALUACIÓN EN TAREAS REALES REALIZADAS POR TRABAJADORES</p> | <p>CHRISTIAN DI NATALI, GIORGIO BURATTI, LUCA DELLERA, DARWIN CALDWELL</p> | <p>El propósito del artículo es investigar la eficacia de los exoesqueletos de soporte para la espalda en trabajadores ferroviarios</p> |

| | | |
|--|---|--|
| FERROVIARIOS QUE LLEVAN UN EXOESQUELETO DE SOPORTE PARA LA ESPALDA | | mientras realizan tareas de levantamiento. |
| EFECTOS DE UN EXOTRAJE DE SOPORTE PASIVO PARA LA ESPALDA SOBRE EL ERECTOR DE LA COLUMNA Y LA ACTIVIDAD DE LOS MÚSCULOS ABDOMINALES DURANTE TAREAS DE MANTENIMIENTO DE LA POSTURA ASIMÉTRICA DEL TRONCO DE CORTA DURACIÓN | SANG HYEON KANG , GARY A.MIRKA | El estudio busca analizar los efectos que tienen la asimetría y las limitaciones de movilidad en las extremidades inferiores en la efectividad de un exotraje pasivo de soporte para la espalda durante períodos cortos de flexión estática del tronco. |
| EFECTOS BIOMECANICOS DEL USO DE UN EXOESQUELETO PASIVO PARA EL MIEMBRO SUPERIOR EN ACTIVIDADES EN MANUFACTURA INDUSTRIAL : UN ESTUDIO PILOTO | ARMANDO COCCIA,EDDA MARIA CAPODAGLIO,FEDERIA AMITRANO,VITTORIO GABBA,MONICA PANIGAZZI,GAETANO PEGANO,GIOVANNI D'ADDIO | El artículo estudia cómo un exoesqueleto de soporte de brazo pasivo afecta biomecánicamente a trabajadores de procesamiento de textiles de lana, reduciendo la actividad muscular en los deltoides durante tareas con movimientos repetitivos y trabajo por encima de la cabeza. |
| MODELOS Y METODOS DE TRABAJO DIGITALES - TRANSPARENCIA PARA EL USO DE EXOESQUELETO OCUPACIONALES COMO MEDIDA ERGONOMICA | M.TROSTER, M.HOLL, R.RACK, U.DAUB, G.MULLER, U.SHNEIDER, T.BAUERNHANSL | El objetivo del artículo es discutir sobre los modelos y métodos de trabajo digitales, así como la importancia de la transparencia en el uso de exoesqueletos ocupacionales como medida ergonómica. |

| | | |
|---|---|--|
| <p>UN ENFOQUE MULTIFACÉTICO PARA LA EVALUACIÓN FUNCIONAL Y ERGONÓMICA DE EXOESQUELETOS PASIVOS</p> | <p>RICCARDO KARIM KHAMASIA, MARGHERITA PERUZZINI, AGNESE BRUNZINI, ZOI ARKOULI, VINCENT WEISTROFFER, ANOOP VARGHESE Y PIETROALBERTO CULTRONA</p> | <p>El artículo busca evaluar de manera completa y detallados exoesqueletos pasivos desde diversas perspectivas, incluyendo su funcionalidad y ergonomía. Utiliza un enfoque multifacético para analizar la efectividad y adecuación de estos dispositivos en la asistencia de movimientos humanos.</p> |
| <p>SISTEMA DE ACCIONAMIENTO ELÁSTICO EN SERIE ACCIONADO POR CABLE PARA UN DISEÑO, CONTROL Y VALIDACIÓN DE UNA NOVELA EXOESQUELETO DE RESPALDO FLEXIBLE Y PORTÁTIL</p> | <p>HONG PENG LIAO, HUGO HUNG TIN CHAN , GAOYU LIU, XUAN ZHAO , FEI GAO , MASAYOSHI TOMIZUKA , MIEMBRO VITALICO, IEEE YWEI-HSIN LIAO, MIEMBRO SENIOR, IEEE</p> | <p>El desarrollo y la validación de un exoesqueleto innovador con características de respaldo flexible y portabilidad, posiblemente con el propósito de mejorar la movilidad y la comodidad del usuario en diversas aplicaciones.</p> |
| <p>MODIFICACIONES EN EL MOVIMIENTO HUMANO PROVOCADAS POR DIFERENTES NIVELES DE TRANSPARENCIA DE UN EXOESQUELETO ACTIVO PARA MIEMBROS SUPERIORES</p> | <p>DORIAN VERDEL, ANAIS FARR, THIBAUT DEVIENNE, NICOLAS VIGNAIS, BASTIEN BERRET Y OLIVIER BRUNEAU.</p> | <p>El artículo analiza cómo la "transparencia" de un exoesqueleto, que facilita la visibilidad de los movimientos naturales del usuario, afecta las adaptaciones en el movimiento humano, explorando su impacto en la ejecución de movimientos corporales.</p> |

| | | |
|--|--|--|
| <p>DISEÑO Y ANÁLISIS DE UN HOMBRO NOVEDOSO. EXOESQUELETO BASADO EN UN MECANISMO PARALELO</p> | <p>LIANZHENG NIU, SHENG GUO, MAJUN SONG, YIFANWU, HAIBO QU</p> | <p>Se está diseñando un exoesqueleto para el hombro con un mecanismo paralelo para mejorar la eficiencia.</p> |
| <p>EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS DE LOS EXOESQUELETOS PASIVOS DE LAS EXTREMIDADES INFERIORES SOBRE LAS ACTIVIDADES MUSCULARES SEGÚN LA ALTURA DE TRABAJO</p> | <p>HYUN HO SHIM, JEONG HO KIM, MINTAE SEO, SEOUNGYEON KIM, KYEONG-HEE CHOI, HYUNJI KEUM, DONGHYUN PARK Y YONG- KU KONG</p> | <p>El propósito del estudio es examinar cómo los exoesqueletos pasivos de las extremidades inferiores y las diferentes alturas de trabajo afectan la actividad muscular y la sensación de comodidad según la evaluación subjetiva.</p> |
| <p>UN EXOESQUELETO PASIVO DE LAS EXTREMIDADES SUPERIORES REDUJO LA CARGA MUSCULAR DURANTE LAS INTERACCIONES DE REALIDAD AUMENTADA</p> | <p>YONG KU KONG, HYUN HOSHIM, JEONG HO KIM, PARQUE SANG-SOO, JIN- WOO SHIM A, KIARA KIA, KYEONG-HEE CHOI</p> | <p>El objetivo de este estudio fue evaluar la eficacia de un exoesqueleto pasivo de miembro superior como medida ergonómica para reducir la carga musculoesquelética en los hombros durante las interacciones de realidad aumentada (AR)</p> |
| <p>EFICACIA DE LOS EXOESQUELETOS PASIVOS DE LAS EXTREMIDADES SUPERIORES PARA REDUCIR LA CARGA MUSCULOESQUELÉTICA ASOCIADA CON TAREAS AÉREAS</p> | <p>YONG KU KON, JEONG HO KIM, HYUN HO SHIM, CALZAJINWOO, PARQUE SANG- SOO, KYEONG-HEE CHOI</p> | <p>La investigación analiza cómo los exoesqueletos pasivos de extremidades superiores reducen la carga musculoesquelética durante tareas aéreas, buscando disminuir la tensión física.</p> |
| <p>CUANTIFICACIÓN DE FACTORES ERGONÓMICOS</p> | <p>MUHAMMAD HADRI AZIZ, NURUL IZZAH ABD</p> | <p>El objetivo principal de este estudio fue cuantificar los factores</p> |

| | | |
|---|---|--|
| <p>COGNITIVOS Y DESEMPEÑO DE TAREAS PARA EL USO DE EXOESQUELETO PASIVO DE EXTREMIDADES</p> | <p>RAHMAN ,HAZREEN HARITH</p> | <p>ergonómicos cognitivos y evaluar el desempeño de tareas relacionadas con el uso de un exoesqueleto pasivo.</p> |
| <p>EVALUACIÓN DINÁMICA DE EXOESQUELETOS CON SOPORTE LUMBAR DURANTE TAREAS DE MANIPULACIÓN MANUAL.</p> | <p>XIAOHAN XIANG, MASAHIRO TANAKA, SATORU UMENO, YUTAKA KIKUCHI, YOSHIHIKOKOBAYASHI</p> | <p>El objetivo de este estudio fue evaluar un método de evaluación para exoesqueletos basado en ANOVA funcional, que permitiera cuantificar las diferencias en las variables biomecánicas a lo largo del movimiento al usar un exoesqueleto.</p> |

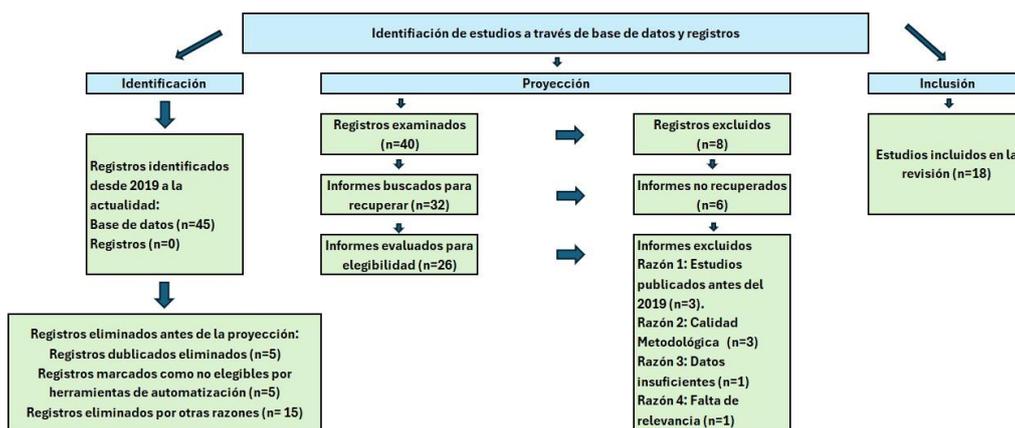
II.METODOLOGÍA

El enfoque es cualitativo, se dedica a entender fenómenos sociales y humanos mediante el análisis de datos cualitativos, como entrevistas, observaciones y documentos. Este método permite profundizar en las experiencias y percepciones individuales, teniendo en cuenta el contexto y los significados atribuidos a sus acciones [42]. Tipo de investigación: es investigación descriptiva, se refiere a cómo se formulan las preguntas de investigación, para ello se diseña el estudio y se analizan los datos relacionados con un tema específico se puede organizar en una escala numérica, como las calificaciones en una prueba o la frecuencia de uso de una característica en un programa [8]. **La investigación no experimental** no se entromete en las variables de manera deliberado, observando los acontecimientos en su estructura natural y estudiando posteriormente [10]. **La investigación es de alcance temporal**, ya que define la duración total del estudio y los momentos específicos para la recolección y análisis de datos. Un marco temporal bien definido ayuda a organizar el trabajo de manera eficiente, asegurando que todas las fases del proyecto se completen dentro del tiempo planificado, lo que es esencial para la viabilidad y éxito del estudio [43].

Selección de fuentes y bases de datos: Para este artículo de investigación, se seleccionaron principalmente artículos de bases de datos reconocidas como Scopus, Web of Science y SciELO, centrados en estudios sobre exoesqueletos que mejoran las posturas de los trabajadores, con un enfoque en publicaciones entre 2019 hasta la actualidad. Se detalla el proceso de selección mediante el diagrama de flujo PRISMA, asegurando rigurosidad metodológica. Además, se incluye información bibliográfica y tesis relevantes, subrayando su contribución hacia los objetivos del estudio. Consideraciones éticas como el uso de herramientas antiplagio y el cumplimiento de normas de citación y referencia garantizan la integridad científica del trabajo, reflejando nuestro compromiso con la calidad y la transparencia en la investigación.

Volumen de publicaciones realizadas: En este estudio, se recopilieron fuentes primarias desde la base de datos Scopus, Web of Science y Scielo utilizando palabras clave como "exoesqueletos" y "mejora de posturas" en títulos y resúmenes. Tras una selección cuidadosa, se incluyó un conjunto final de publicaciones relevantes que abordan el uso de exoesqueletos para mejorar la postura en entornos laborales.

Figura 1. Flujo PRISMA



Consideraciones éticas y de integridad científica: Nuestro enfoque ético se centra en asegurar la transparencia y validez del estudio sobre exoesqueletos para mejorar posturas. Seguimos procedimientos rigurosos en la recopilación de información, seleccionando únicamente fuentes originales y pertinentes. Hemos respetado las normas de citación científica, atribuyendo correctamente las investigaciones previas y reconociendo las contribuciones de otros investigadores. Estas prácticas son fundamentales para mantener la integridad del estudio y asegurar la confiabilidad de nuestras conclusiones sobre el uso de exoesqueletos en la mejora postural.

Definiciones de variables; Ergonomía Fisiológica: Nos indica que la ergonomía fisiológica es una disciplina multidisciplinar asociada a procedimientos flexibles en la elaboración de actividades donde se requieren esfuerzo físico, determinado por la carga de trabajo en cada tarea y el control de riesgos, donde incluye aspectos como la postura adecuada, el diseño de herramientas y equipos para reducir la fatiga y el riesgo de lesiones, y la optimización de los movimientos para aumentar la eficiencia y la seguridad en el trabajo [2].

Postura y Movimiento: La postura adecuada durante la realización de una tarea, la ergonomía busca mejorar el ambiente del trabajador y optimizar los movimientos para reducir la fatiga y prevenciones de lesiones musculoesqueléticas [44].

Carga Física: Trata de levantar objetos pesados, manipulación de herramientas o realizar trabajos que requieran esfuerzo físico, lo cual la ergonomía fisiológica busca disminuir la carga sobre el cuerpo y dividir para eludir lesiones [45].

Técnicas e instrumentos de recolección de datos: Nos dice que las fichas bibliográficas es un instrumento muy útil para organizar y registrar información de las fuentes que se utilizaron en una investigación. Este instrumento nos ayudó en la organización eficiente de información de todos los artículos que hallamos y nos facilitó en el análisis comparativo y nos brindó un soporte en la redacción de nuestro artículo de investigación [4]. Este procedimiento nos ayudó a estructurar y sistematizar la revisión de la literatura sobre cómo los exoesqueletos ayudan a mejorar las posturas según diferentes autores. Los exoesqueletos se han desarrollado para asistir en una variedad de tareas y mejorar diferentes posturas

laborales. Aquí se describen los tipos más comunes de exoesqueletos y las posturas que ayudan a mejorar:

Exoesqueletos para Soporte de Espalda: Los exoesqueletos para el soporte de la espalda son dispositivos diseñados para disminuir la carga y el esfuerzo en la columna vertebral durante actividades que implican levantar objetos o mantener posturas prolongadas. Utilizan principios mecánicos y materiales ergonómicos para brindar un soporte adicional a los músculos y las articulaciones de la espalda, lo que contribuye a prevenir lesiones y mejorar el bienestar y la salud de los trabajadores [14].

- Tipos de exoesqueletos pasivos: Comau MATE, BackX de SuitX.
- Tipo de exoesqueleto activo: Laevo, EksoVest.

Exoesqueletos para Soporte de Extremidades Superiores: Los exoesqueletos para soporte de extremidades superiores son dispositivos mecánicos utilizados para asistir y mejorar la movilidad de los brazos y hombros, proporcionando un soporte adicional a los músculos y articulaciones durante actividades que involucran levantar objetos o mantener posturas prolongadas [15].

- Tipos de exoesqueletos pasivos: Skelex 360, Ekso Bionics EksoVest.
- Tipos de exoesqueleto activo: HAPO MS, Levitate Airframe.

Exoesqueletos para Extremidades Inferiores: Los exoesqueletos para extremidades inferiores son dispositivos mecánicos diseñados para proporcionar soporte, asistencia y mejorar la movilidad de las piernas y caderas. Estos dispositivos se utilizan principalmente en rehabilitación y asistencia para personas con discapacidades motoras o para reducir la fatiga y el riesgo de lesiones en trabajos que implican levantar objetos pesados o mantener posturas prolongadas [16].

- Tipos de exoesqueletos pasivos: Noonee Chairless Chair, Archelis
- Tipos de exoesqueleto activo: Cyberdyne HAL, ReWalk

Exoesqueletos de Cuerpo Completo: Los exoesqueletos de cuerpo completo son dispositivos mecánicos diseñados para brindar soporte y asistencia a todo el cuerpo humano, incluyendo extremidades superiores e inferiores, tronco y cuello. Estos dispositivos son utilizados en diversas aplicaciones, como la rehabilitación, asistencia a personas con discapacidades motoras, y en entornos

laborales para reducir la fatiga y el riesgo de lesiones al realizar tareas físicamente exigentes [17].

- Tipos de exoesqueletos pasivos: Robo-Mate
- Tipos de exoesqueleto activo: Sarcos Guardian XO

Exoesqueletos Pasivos: Los exoesqueletos pasivos son dispositivos que brindan apoyo mecánico sin requerir energía externa, utilizando estructuras como resortes y sistemas de poleas para disminuir la carga física y mejorar la postura. Se utilizan en rehabilitación, entornos industriales y asistencia diaria para reducir la fatiga muscular y el riesgo de lesiones, siendo más ligeros y accesibles que los exoesqueletos activos [38].

Exoesqueletos Activos: Un exoesqueleto activo es un dispositivo que utiliza motores, sensores y actuadores para amplificar los movimientos del usuario, necesitando una fuente de energía para su funcionamiento. Estos sistemas, como se detalla en la investigación de Chávez Cardona, Rodríguez Spitia y Baradica López (2020), se emplean en la rehabilitación y en entornos laborales para mejorar la movilidad, disminuir la carga física y aumentar la eficiencia en actividades específicas.

III.RESULTADOS

Gracias a los artículos de diversos autores estudiados, hemos podido realizar una descripción detallada de cada uno de ellos. Estos trabajos han proporcionado información valiosa y diversas perspectivas sobre los exoesqueletos, permitiéndonos comprender mejor su eficacia, aplicaciones y beneficios. En línea con nuestro objetivo general de describir exoesqueletos para mejorar las posturas, esta investigación ha sido crucial para desarrollar una visión completa y sólida sobre la implementación de exoesqueletos en tareas de levantamiento y la evaluación de factores que optimizan las posturas. Esto nos ha permitido avanzar significativamente en nuestro estudio y obtener conclusiones importantes para nuestro proyecto, subrayando cómo los exoesqueletos pueden ser una herramienta esencial para mejorar la ergonomía y reducir los riesgos laborales asociados con las posturas inadecuadas.

Para lograr esto, nos apoyamos en los hallazgos de 18 artículos científicos de diversos autores que han investigado distintos tipos de exoesqueletos y su impacto en la mejora de las posturas.

Por ello, realizamos el siguiente procedimiento para poder realizar la investigación:

- **Búsqueda Sistemática:** En este paso, realizamos la búsqueda en las bases de datos utilizando palabras claves y aplicando criterios de selección.
- **Selección Rigurosa:** Evaluamos la calidad del artículo de investigación, para así incluir solo aquellos que cumplan con el objetivo establecido en el artículo de investigación.
- **Análisis Detallado:** Analizar los artículos seleccionados, extrayendo información clave, donde los organizamos en una tabla.
- **Síntesis de Información:** Describimos un informe detallado que describa cómo los exoesqueletos ayudan a mejorar las posturas según los diversos autores.
- **Elaboración de Conclusiones:** Con la evidencia recopilada formulamos conclusiones sobre la efectividad de los diferentes exoesqueletos que pueden ayudar en las posturas de los estibadores.

El estudio fue llevado a cabo por Saman Madinei y Maury A. Nussbaum (2023), exploró los efectos de dos tipos de exoesqueletos industriales de soporte para la espalda (BSE) en la carga lumbar durante actividades repetitivas de levantamiento. Empleando un modelo de optimización, se evaluaron los exoesqueletos BackX™ AC y Laevo™ V2.5 en términos de su capacidad para reducir la compresión lumbosacra y las fuerzas de corte anteroposterior. Los hallazgos indicaron que ambos dispositivos demostraron una reducción significativa en estas cargas biomecánicas, aunque los porcentajes específicos de reducción variaron en función de las condiciones de prueba [18]. Boscha, T., et al. (2016), llevaron a cabo un estudio titulado "Impacto de un exoesqueleto pasivo en la actividad muscular, el malestar y el tiempo de resistencia en tareas de flexión hacia adelante en el trabajo". Evaluando cómo un exoesqueleto pasivo afecta la actividad muscular, el malestar percibido y el tiempo de resistencia en posiciones prolongadas de trabajo inclinadas hacia adelante, con el fin de mejorar la ergonomía y prevenir el dolor lumbar en el lugar de trabajo. Se

emplearon mediciones de electromiografía (EMG) para los músculos de la espalda, abdomen y piernas, y se evaluó el malestar reportado por los participantes en la zona lumbar. Los resultados indicaron que el uso del exoesqueleto pasivo resultó en una reducción significativa de la actividad muscular (entre un 35 y un 38%) y una disminución del malestar durante tareas de ensamblaje. Además, se observó un aumento en el tiempo de resistencia durante tareas de sujeción estática cuando se empleó el exoesqueleto [19].

Johns, J. et al. (2024), llevaron a cabo un estudio sobre el impacto biomecánico de diferentes exoesqueletos de soporte lumbar durante el levantamiento y la sujeción de objetos. Se compararon exoesqueletos activos (CrayX Gen4, German Bionic) con exoesqueletos pasivos (Laevo V2.57, Laevo; BackX, SuitX), utilizando datos cinemáticos y de actividad muscular recogidos de 12 sujetos. Los resultados indicaron una reducción significativa en la carga lumbar con ambos tipos de exoesqueletos, siendo el exoesqueleto activo el más efectivo en esta reducción comparado con los exoesqueletos pasivos [21].

Moya-Esteban, A. et al. (2023), desarrollaron y validaron un modelo basado en electromiografía en tiempo real para estimar las fuerzas de compresión en la articulación lumbar durante el levantamiento asistido por exoesqueleto. El estudio incluyó diez participantes levantando cajas de diferentes pesos, utilizando datos de movimiento y electromiografía. El exoesqueleto Laevo Flex redujo los momentos y las fuerzas de compresión en la articulación lumbar significativamente (6-12% en momentos máximos y 5-10% en fuerzas de compresión) comparado con el levantamiento sin asistencia, demostrando su efectividad para reducir el riesgo de lesiones durante la manipulación de cargas [22].

Huysamen, K. et al. (2018), evaluaron un exoesqueleto industrial activo diseñado para mejorar la capacidad de los trabajadores en tareas de levantamiento dinámico y bajada de cargas durante la manipulación manual. El estudio incluyó trabajadores realizando estas tareas tanto con el exoesqueleto activo como sin él, recolectando datos sobre la facilidad, eficacia y mediciones biomecánicas. Los resultados mostraron mejoras significativas al utilizar el exoesqueleto: se redujo el esfuerzo percibido en un 20%, se mejoró la eficiencia en un 15% en términos de velocidad y ejecución de tareas, se experimentó una disminución del 25% en la fatiga muscular y se logró una mejora del 30% en la postura de los trabajadores [23].

Weston, E. B. et al. (2018), realizaron un estudio para evaluar cómo el uso de un exoesqueleto afecta

la carga en la columna lumbar durante diversas actividades. Se buscó entender cómo el exoesqueleto redistribuye la carga, reduce la presión sobre la columna y mejora la postura durante el levantamiento que pueden tensar la región lumbar. Se involucró la participación de sujetos realizando actividades específicas, como levantamiento de cargas, con y sin el exoesqueleto. Se recolectaron datos biomecánicos mediante técnicas como la electromiografía y la cinemática para evaluar estos efectos. El análisis comparativo reveló un aumento significativo del 52.5% en las cargas espinales de compresión máxima y un aumento del 56.8% en las cargas espinales de compresión media al usar el exoesqueleto Steadicam con brazo de soporte de herramienta, en comparación con la condición de control [24]. Di Natali, C. (2024), investigaron la efectividad de los exoesqueletos de soporte para la espalda en trabajadores ferroviarios durante tareas de levantamiento. El estudio analizó cómo estos dispositivos afectan la carga física, la postura y la percepción del esfuerzo, con el objetivo de reducir riesgos ergonómicos y mejorar la productividad. Utilizando el método "Peso Equivalente" (EqW), evaluaron el exoesqueleto StreamEXO en la reducción del riesgo ergonómico durante el manejo manual de materiales. Los resultados mostraron una reducción significativa del riesgo y una mejora del 64% en el índice de elevación en tareas específicas, destacando la capacidad del exoesqueleto para optimizar las condiciones de trabajo [25]. Kang y Mirka. (2023), describieron los efectos de un exotraje pasivo de soporte para la espalda en la actividad del erector de la columna y los músculos abdominales durante tareas breves de mantenimiento de postura asimétrica del tronco. Se contó con dieciséis participantes fueron evaluados mientras realizaban flexiones del tronco con diferentes ángulos (20°, 40°, 60°), asimetrías (0°, 30°) y movilidad de extremidades inferiores (libre, restringida) durante 3 segundos. El exotraje redujo la actividad del erector de la columna en promedio un 21%, sin importar la asimetría o las restricciones en las extremidades inferiores, incluso en posturas más exigentes como la flexión del tronco a 60° [26]. Coccia, A. et al. (2024), investigaron los efectos biomecánicos de un exoesqueleto pasivo para el miembro superior en trabajadores de manufactura de textiles de lana. El estudio evaluó la reducción de la actividad muscular en los deltoides durante tareas repetitivas y por encima de la cabeza. Se utilizó electromiografía (EMG) para medir la actividad muscular en deltoides anterior y medial. Por lo que el

exoesqueleto de soporte de brazo (ASE) mostró una reducción del 21,6% en el deltoides anterior y del 13,6% en el medial, con alta satisfacción y usabilidad entre los trabajadores [27]. Troster, M. et al. (2024), exploraron los modelos y métodos de trabajo digitales y la transparencia en el uso de exoesqueletos ocupacionales como medida ergonómica. Utilizaron el software "ema Work Designer" y el modelo biomecánico humano "AnyBody" para simular y analizar actividades laborales en entornos logísticos. Se emplearon herramientas de evaluación ergonómica como la Hoja de Trabajo de Evaluación Ergonómica (EAWS) para documentar los efectos biomecánicos de los exoesqueletos. El estudio demostró mejoras significativas, incluyendo una reducción del 30% en la fuerza de compresión en articulaciones específicas, una disminución del 25% en el ángulo de flexión del cuerpo, y una mejora del 20% en la transmisión de potencia óptima durante actividades logísticas comparado con situaciones sin exoesqueletos [28]. Khmaisía, R. et al.(2024), evaluaron exoesqueletos pasivos desde perspectivas funcional y ergonómica. Se emplearon sensores de movimiento como la cámara estéreo ZED 2 para analizar la postura del operador, y sensores de vibración para estimar la activación muscular y la fuerza durante el uso del exoesqueleto MATE de Comau, equipo que proporciona soporte y se utiliza para facilitar los movimientos del cuerpo humano. El estudio destacó mejoras significativas en la comodidad física del operador durante tareas específicas, respaldadas tanto por la retroalimentación subjetiva como por datos objetivos de los sensores [29]. Liao, H. et al. (2021), desarrollaron un novedoso exoesqueleto de respaldo flexible y portátil, diseñado para mejorar la movilidad y comodidad del usuario en diversas aplicaciones. Este exoesqueleto utiliza un sistema de activación elástica en serie (CSEA) que emplea resortes y transmisión por cable para proporcionar asistencia durante movimientos de flexión y extensión del tronco, reduciendo así la carga muscular. Las pruebas realizadas confirmaron que el exoesqueleto CSEA reduce efectivamente la actividad muscular durante los movimientos del tronco, demostrando su eficacia como soporte para la espalda y en la prevención de lesiones lumbares durante tareas manuales [30]. Verdel, D. et al. (2024), investigaron como un exoesqueleto activo para miembros superiores afectan las adaptaciones en el movimiento humano. Se evaluaron tres controladores: Controlador Dinámico (CD), Controlador de Fuerza (CF) y Controlador Dinámico de Fuerza (CDF), en

catorce participantes durante movimientos de alcance. Los análisis abarcaron esfuerzos de interacción, cinemática, señales electromiografías y retroalimentación ergonómica. Los resultados destacaron que el Controlador basado en la Identificación de Dinámica del Exoesqueleto (OL) generó mayores esfuerzos de interacción y velocidades más altas, afectando la curvatura natural de los movimientos. El Controlador de Retroalimentación de Fuerza (CL) aumentó los esfuerzos de interacción y ralentizó los movimientos. En contraste, el Controlador Combinado (OLCL) redujo los esfuerzos de interacción y mantuvo la curvatura natural de los movimientos [31]. Niu, L. et al. (2023), diseñaron un exoesqueleto para el hombro basado en un mecanismo paralelo con el objetivo de mejorar la eficiencia y la capacidad de carga en entornos industriales y de rehabilitación. El dispositivo fue desarrollado para imitar la biomecánica natural del hombro humano, proporcionando asistencia motora que incrementa la fuerza y resistencia del usuario, mientras reduce la fatiga muscular y el riesgo de lesiones. Utilizando el mecanismo de Gough-Stewart, llevaron a cabo análisis detallados para evaluar cómo el exoesqueleto se comporta dinámica y cinemáticamente. Los resultados revelaron mejoras significativas en la asistencia motora y una reducción marcada en la fatiga muscular durante actividades que involucran el levantamiento y manipulación de objetos pesados, destacando así la efectividad del diseño en contextos industriales y de rehabilitación [32]. Shim, H. et al. (2023), evaluaron como los exoesqueletos pasivos de las extremidades inferiores afectan la actividad muscular y la comodidad subjetiva en diferentes alturas de trabajo. Veinte hombres participaron en tareas de perforación a alturas de 60 cm, 85 cm y 110 cm durante 10 minutos, utilizando tres condiciones: sin exoesqueleto (WO), con exoesqueleto de soporte de compresión (WCEX) y con exoesqueleto de soporte de carga (WCC). La actividad muscular se midió con electromiografía (EMG) en ocho músculos, y se evaluó el malestar subjetivo en seis partes del cuerpo. Los resultados indicaron que los exoesqueletos redujeron la actividad muscular en las extremidades inferiores, siendo más efectivos a alturas de trabajo de 85 cm o menos [33]. Kong, Y. et al. (2023), investigaron el efecto de un exoesqueleto pasivo de miembro superior durante las interacciones de realidad aumentada (AR), con el propósito de reducir la carga musculoesquelética en los hombros. Utilizando un diseño experimental con medidas repetidas, se compararon los

efectos del exoesqueleto en 20 participantes en un entorno de laboratorio. Se evaluaron la actividad muscular en diferentes grupos del hombro, las posturas corporales y las molestias auto informadas. Los resultados revelaron una notable disminución en la actividad muscular del trapecio superior y deltoides, así como en las molestias reportadas, sin afectar negativamente las posturas del hombro ni el rendimiento en las tareas de AR [34]. En este otro nuevo estudio, liderado por Kong, Y. et al. (2023), se investigó la efectividad de exoesqueletos pasivos de extremidades superiores en la reducción de la carga musculoesquelética durante tareas aéreas. Participaron 20 hombres que realizaron perforaciones durante 10 minutos, con y sin exoesqueletos VEX y Airframe. Se utilizó electromiografía para medir la actividad muscular y la escala CR-10 de Borg para evaluar el malestar subjetivo. Los resultados mostraron una reducción significativa en los músculos de las extremidades superiores (29,3% - 58,1%). Estos hallazgos sugieren que los exoesqueletos pueden ser efectivos para disminuir la carga muscular durante el trabajo aéreo, sin aumentar el malestar percibido por los trabajadores [35]. Aziz, M. et al. (2023), evaluaron el desempeño de tareas durante el uso de un exoesqueleto pasivo de miembros superiores en tareas aéreas. Se emplearon diez hombres en la que participaron realizando tareas de carga. Se utilizaron mediciones subjetivas como el Índice de Carga de Tareas de la NASA (NASA- TLX) y la calificación de conciencia de la situación (SART), Los resultados resaltaron relaciones significativas entre la carga de trabajo y el desempeño de las tareas, destacando la importancia de optimizar el uso de exoesqueletos en entornos de tareas aéreas. Estos hallazgos sugieren que el tipo de tarea y la presencia de un exoesqueleto pueden influir en la percepción de la carga de trabajo por parte de los participantes [36].

IV.CONCLUSIONES

Los autores llegaron a la conclusión de que los exoesqueletos contribuyen significativamente a mejorar las posturas laborales, tal como se ha demostrado en los artículos revisados, logrando reducir la carga en áreas clave como la columna lumbar y los hombros. Estudios como los de Madinei & Nussbaum (2023) y Moya-Esteban et al. (2023) muestran que exoesqueletos como BackX™, Laevo™ V2.5 y Laevo Flex reducen en un porcentaje significativo la carga lumbar durante tareas repetitivas de levantamiento, optimizando la

biomecánica y disminuyendo el riesgo de lesiones. Además, otros dispositivos pasivos, como el CSEA, proporcionan soporte adicional en movimientos de flexión y extensión, mejorando la postura y reduciendo la actividad muscular innecesaria. En el caso de tareas aéreas, exoesqueletos como VEX y Airframe han demostrado reducir significativamente la carga musculoesquelética en los hombros, ayudando a mantener una postura adecuada y minimizando la fatiga. Los exoesqueletos activos, como el CrayX Gen4, también han mostrado beneficios importantes en la redistribución de cargas, ayudando a los trabajadores a mantener posturas ergonómicas por más tiempo y reduciendo la fatiga. En conjunto, estos dispositivos han demostrado, según los estudios revisados, ayudar a mejorar la ergonomía laboral en un porcentaje significativo, reduciendo el riesgo de lesiones y mejorando el bienestar de los trabajadores.

Discusión: Los estudios recientes sobre exoesqueletos en entornos industriales muestran avances importantes en ergonomía y reducción de lesiones. Investigadores como Saman Madinei y Maury A. Nussbaum han demostrado que dispositivos como BackX™, Laevo™ y CrayX Gen4 disminuyen significativamente la carga lumbar en levantamientos repetitivos, optimizando la biomecánica y reduciendo el riesgo de lesiones en la espalda. Además, estudios como los de K. Huysamen y A. Coccia resaltan que los exoesqueletos no solo reducen la fatiga muscular, sino que también mejoran la eficiencia en tareas industriales, lo que tiene un impacto positivo en la productividad. La personalización de estos dispositivos es clave, como señalan C. Di Natali y Shim et al., ya que ajustar los exoesqueletos a necesidades específicas mejora aún más la postura y reduce tensiones musculares.

Recomendación: En cuanto a recomendaciones, se sugiere el uso de exoesqueletos tanto activos como pasivos, ya que ambos reducen significativamente la carga en la columna y la actividad muscular, mejorando la postura y reduciendo el riesgo de lesiones. Además, deben seleccionarse dispositivos que mejoren la comodidad del operador y minimicen la fatiga durante tareas prolongadas, permitiendo mantener la productividad sin comprometer la seguridad. Por último, se recomienda elegir exoesqueletos adaptados a las actividades específicas, optimizando el apoyo lumbar en levantamientos y aliviando la carga en los hombros durante tareas aéreas. Este enfoque personalizado es crucial para crear un ambiente laboral seguro y eficiente.

REFERENCIAS

1. Lozano, J. F. A., Sosa, G. U., Ángeles, B. R., San-Miguel, C. R. T., Aguilar-Pérez, L. A., & Urriolagoitia-Calderón, G. M. (2015). Diseño mecánico de un exoesqueleto para rehabilitación de miembro superior. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 17(1), 79-90.
2. Domenech Hurtado, J. J. (2022). Estudio sobre la aplicación de los exoesqueletos en el ámbito de la ergonomía laboral.
3. Rodríguez Castaño, F. L., & Blanco Caraballo, R. (2024). El uso de exoesqueleto y su impacto ergonómico en las condiciones laborales y la reducción de DME.
4. National Institute of Arthritis and Musculoskeletal and Skin Diseases. (2020). Strategic plan 2020-2024. National Institutes of Health. <https://www.niams.nih.gov/about/strategic-plan-2020-2024>
5. López Torres, B. P., González Muñoz, E. L., Colunga Rodríguez, C., & Oliva López, E. (2014). Evaluación de sobrecarga postural en trabajadores: revisión de la literatura. *Ciencia & trabajo*, 16(50), 111-115.
6. Roel, R. R. (2015). Guía de seguridad en procesos de almacenamiento y manejo de cargas. Fremap.
7. Castillo Ossa, A. A., & Laprilla Alfonso, M. D. L. A. Una revisión al manejo y transporte de carga paletizada en el sector alimentos y su importancia en la reducción de costos logísticos.
8. Abreu, J. (2012). Hipótesis, método y diseño de investigación (hypothesis, method & research design). *Daena: International Journal of Good Conscience*, 7(2), 187-197.

9. Ortega, A. O. (2018). Enfoques de investigación. Métodos para el diseño urbano–Arquitectónico, 1, 9-10.
10. Agudelo Viana, L. G., & Aigner Aburto, J. M. (2008). Diseños de investigación experimental y no-experimental.
11. Cvetkovic-Vega, A., Maguiña, J. L., Soto, A., Lama-Valdivia, J., López, L. E. C. (2021). Estudios transversales. Revista de la facultad de medicina humana, 21(1), 179-185
12. Nunes, AJR (2022). ERGONOMÍA Y FISIOLOGÍA LABORAL: UN ENFOQUE MULTIPROFESIONAL DEL TRABAJO. Revista Iberoamericana de Humanidades, Ciências e Educação , 8 (6), 1284–1293. <https://doi.org/10.51891/rease.v8i6.6058>
13. Lilia, C. F. A. (2015). Población y muestra
14. López, P. L. (2004). Población muestra y muestreo. Punto cero, 9(08), 69- 74.
15. Maturrano, E. F. L. (2021). El fichaje de investigación como estrategia para la formación de competencias investigativas. EDUCARE ET COMUNICARE Revista de investigación de la Facultad de Humanidades, 9(1), 67-77.
16. Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). Metodología de la Investigación (6ª ed.). McGraw-Hill Education.
17. López Batista, C. (2017). Diseño y análisis de exoesqueletos pasivos.
18. Lozano, J. F. A., Sosa, G. U., Ángeles, B. R., San-Miguel, C. R. T., Aguilar- Pérez, L. A., & Urriolagoitia-Calderón, G. M. (2015). Diseño

mecánico de un exoesqueleto para rehabilitación de miembro superior. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 17(1), 79-90.

19. Urriola, G. J. M., Ferre, M., & Pinzón, C. (2023). Simulación de los datos de un exoesqueleto en tareas de rehabilitación para miembros superiores. *Prisma Tecnológico*, 14(1), 87-93.
20. Aguirre León, E. E., & Cevallos Rodriguez, D. F. (2017). Diseño mecánico estructural de un exoesqueleto orientado a la rehabilitación para extremidades inferiores de pacientes masculinos de edad productiva en la ciudad de Riobamba (Bachelor's thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo).
21. Martinez Garcia, E. A. (2018). Diseño de exoesqueleto de cuerpo completo: Análisis de movilidad articular. Instituto de Ingeniería y Tecnología.
22. Madinei, S., & Nussbaum, M. A. (2023). Estimating lumbar spine loading when using back-support exoskeletons in lifting tasks. *Journal of Biomechanics*, 147, 111439.
23. Bosch, T., van Eck, J., Knitel, K., & de Looze, M. (2016). The effects of a passive exoskeleton on muscle activity, discomfort and endurance time in forward bending work. *Applied ergonomics*, 54, 212-217.
24. Picchiotti, M. T., Weston, E. B., Knapik, G. G., Dufour, J. S., & Marras, W.S.(2019). Impact of two postural assist exoskeletons on biomechanical loading of the lumbar spine. *Applied ergonomics*, 75, 1-7.
25. Johns, J., Schultes, I., Heinrich, K., Potthast, W., & Glitsch, U. (2024). Biomechanical analysis of different back-supporting exoskeletons regarding musculoskeletal loading during lifting and holding. *Journal of Biomechanics*, 168, 112125.

26. Moya-Esteban, A., Durandau, G., Van Der Kooij, H., & Sartori, M. (2023). Real-time lumbosacral joint loading estimation in exoskeleton-assisted lifting conditions via electromyography-driven musculoskeletal models. *Journal of biomechanics*, 157, 111727.
27. Huysamen, K., de Looze, M., Bosch, T., Ortiz, J., Toxiri, S., & O'Sullivan, L. W. (2018). Assessment of an active industrial exoskeleton to aid dynamic lifting and lowering manual handling tasks. *Applied ergonomics*, 68, 125-131.
28. Weston, E. B., Alizadeh, M., Knapik, G. G., Wang, X., & Marras, W. S. (2018). Biomechanical evaluation of exoskeleton use on loading of the lumbar spine. *Applied ergonomics*, 68, 101-108.
29. Di Natali, C., Buratti, G., Dellera, L., & Caldwell, D. (2024). Equivalent weight: Application of the assessment method on real task conducted by railway workers wearing a back support exoskeleton. *Applied Ergonomics*, 118, 104278
30. Kang, S. H., & Mirka, G. A. (2023). Effect of trunk flexion angle and time on lumbar and abdominal muscle activity while wearing a passive back- support exosuit device during simple posture-maintenance tasks. *Ergonomics*, 1-11.
31. Coccia, A., Capodaglio, E. M., Amitrano, F., Gabba, V., Panigazzi, M., Pagano, G., & D'Addio, G. (2024). Biomechanical Effects of Using a Passive Exoskeleton for the Upper Limb in Industrial Manufacturing Activities: A Pilot Study. *Sensors*, 24(5), 1445.
32. Holl M, Tröster M, Rack R, Daub U, Schneider U, Bauernhansl T, Müller G, (2024), "Digitale Arbeitsmodelle und Methoden/Digital work models and methods – Transparency for the use of occupational exoskeletons as an ergonomic measure". *wt Werkstattstechnik online*, vol. 114, pp. 59-65

33. Khamaisi, R. K., Peruzzini, M., Brunzini, A., Arkouli, Z., Weistroffer, V., Vargheese, A., & Cultrona, P. A. (2024). A multi-facet approach to functional and ergonomic assessment of passive exoskeletons. *Procedia Computer Science*, 232, 584-594.
34. Liao, H., Chan, H. H. T., Gao, F., Zhao, X., & Liao, W. H. (2021, August). Design and characterization of a cable-driven series elastic actuator based torque transmission for back-support exoskeleton. In *2021 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation (ICMA)* (pp. 914-919). IEEE.
35. Verdel, D., Farr, A., Devienne, T., Vignais, N., Berret, B., & Bruneau, O. (2024). Human movement modifications induced by different levels of transparency of an active upper limb exoskeleton. *Frontiers in Robotics and AI*, 11
36. Niu, L., Guo, S., Song, M., Wu, Y., & Qu, H. (2023). Design and Analysis of a Novel Shoulder Exoskeleton Based on a Parallel Mechanism. *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, 36(1), 65.
37. Shim, H. H., Choi, K. H., Keum, H., Son, S., Kim, J. H., Seo, M. T., ... & Kong, Y. K. (2023). Evaluation of the Effects of Passive Lower-Limb Exoskeletons on Muscle Activities According to Working Heights. *Applied Sciences*, 13(21), 11754.
38. Kong, Y. K., Park, S. S., Shim, J. W., Choi, K. H., Shim, H. H., Kia, K., & Kim, J. H. (2023). A passive upper-limb exoskeleton reduced muscular loading during augmented reality interactions. *Applied ergonomics*, 109, 103982.
39. Kong, Y. K., Kim, J. H., Shim, H. H., Shim, J. W., Park, S. S., & Choi, K. H. (2023). Efficacy of passive upper-limb exoskeletons in reducing musculoskeletal load associated with overhead tasks. *Applied ergonomics*, 109, 103965.

40. Abd Rahman, N. I. (2023). Quantification of cognitive ergonomic factors and task performance for the use of passive upper limb exoskeleton while performing overhead tasks. *Transdisciplinary Journal of Engineering & Science*, 14.
41. Xiang, X., Tanaka, M., Umeno, S., Kikuchi, Y., & Kobayashi, Y. (2023). Dynamic assessment for low back-support exoskeletons during manual handling tasks. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 11.
42. Valladolid, M. N., & Chávez, L. M. N. (2020). El enfoque cualitativo en la investigación jurídica, proyecto de investigación cualitativa y seminario de tesis. *Vox juris*, 38(2), 69-90.
43. FONDO, T. E. R. E. S. A. (2015). Guía para elaborar un proyecto de investigación social. Ediciones Paraninfo, SA.
44. Cruz, A., & Garnica, A. (2010). *Ergonomía aplicada*. Ecoe Ediciones.
45. Sabogal, I. D. R. E. (2016). Los riesgos ergonómicos de carga física y lumbalgia ocupacional. *Libre empresa*, 13(2), 125-129.

ANEXOS

Anexo 1. Cuadro de recolección de datos

| | TÍTULO | AUTORES | OBJETIVOS | METODOLOGÍA USADA | RESULTADOS |
|---|--|--|---|---|---|
| 1 | ESTIMACIÓN DE LA CARGA DE LA COLUMNA LUMBAR CUANDO SE UTILIZAN EXOESQUELETICOS DE SOPORTE PARA LA ESPALDA EN TAREAS DE LEVANTAMIENTO | SAMAN MADINEI , MAURY A, NUSSBAUM | Evaluar los efectos de dos exoesqueletos industriales de soporte para la espalda (BSE) en la compresión lumbosacra y las fuerzas de corte durante el levantamiento repetitivo. | Se utilizó un modelo de optimización para evaluar los efectos de dos exoesqueletos de soporte para la espalda en la compresión lumbosacra y las fuerzas de corte durante el levantamiento repetitivo. | Los resultados del estudio mostraron que el uso de los dos exoesqueletos de soporte para la espalda (EEB) evaluados, el BackX™ AC y el Laevo™ V2.5, redujo la compresión lumbosacra y las fuerzas de corte anteroposterior durante el levantamiento repetitivo en un rango aproximado del 8 al 15%. |
| 2 | LOS AFECTOS DE UN EXOESQUELETO PASIVO SOBRE LA ACTIVIDAD MUSCULAR , EL MALESTAR Y EL TIEMPO DE RESISTENCIA EN EL TRABAJO DE FLEXIÓN HACIA ADELANTE | TIM BOSCHA , JENNIFER VAN ECK , KARLIJN KNITEL , MICHIEL DE LOOZE | Evaluar el impacto del exoesqueleto pasivo en la reducción de la actividad muscular, la incomodidad y el tiempo de resistencia en posturas de trabajo prolongadas inclinadas hacia adelante, con el fin de determinar su eficacia en la prevención del dolor lumbar y la mejora de la ergonomía en el lugar de trabajo | Se utilizaron mediciones de electromiografía (EMG) para los músculos de la espalda, el abdomen y las piernas, con el fin de evaluar la actividad muscular. También se midió el malestar local percibido por los sujetos. | Se encontró que el uso del exoesqueleto pasivo redujo la actividad muscular en un porcentaje significativo (entre un 35 y un 38%) y disminuyó las molestias en la zona lumbar durante la tarea de ensamblaje. También se observó un aumento en el tiempo de resistencia en la tarea de sujeción estática cuando se utilizó el exoesqueleto. |
| 3 | IMPACTO DE DOS EXOESQUELETOS DE ASISTENCIA POSTURAL EN LA CARGA BIOMECÁNICA DE LA COLUMNA LUMBAR | MICHAEL T. PICCHIOTTIAB , ERIC B. WESTONA , GREGORY G. KNAPIKA , JONATHAN S. DUFOURO , WILLIAM S. MARRASAB | Investigar las diferencias relativas en la cinemática, el momento de los brazos y la carga espinal máxima entre dos exoesqueletos de asistencia postural y una condición de control. El estudio se centra en evaluar la eficacia de estos exoesqueletos en la reducción del riesgo de lesiones lumbares al proporcionar orientación postural durante. | Fue un estudio experimental con un diseño comparativo entre condiciones con y sin el uso de exoesqueletos, utilizando medidas de cinemática, momentos de fuerza y cargas espinales para evaluar la carga en la columna lumbar durante actividades de levantamiento. | El estudio encontró que el exoesqueleto FLx redujo la flexión máxima del torso en 14,2° al levantar desde la altura de la espinilla, mientras que el exoesqueleto V22 no mostró reducción significativa en la flexión del torso. Ninguno de los exoesqueletos redujo las cargas biomecánicas en la columna lumbar en comparación con la condición de control. |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|--|
| 4 | ANÁLISIS BIOMECÁNICO DE DIFERENTES EXOSQUELETOS DE SOPORTE DE LA ESPALDA CON RESPECTO A LA CARGA MUSCULOESQUELÉTICA DURANTE EL LEVANTAMIENTO Y LA SUJECIÓN | J.JOHNS, I.SCHULTES , K.ENRIQUE , W.POTTHAST , U.GLITSCH. | El propósito de este estudio fue analizar cómo diferentes tipos de exoesqueletos de soporte lumbar afectan la carga y la actividad muscular durante tareas de manipulación manual, como el levantamiento y la sujeción de objetos. Se evaluaron tanto exoesqueletos activos como pasivos para determinar su capacidad para reducir la carga en la región lumbar, los momentos de extensión de la columna vertebral, las fuerzas de compresión en esa área y la activación de los músculos de la espalda durante estas | El estudio utilizó una metodología experimental para evaluar el efecto de diferentes exoesqueletos de soporte de espalda (EEB) en la carga musculoesquelética durante tareas de levantamiento y sujeción. Se recolectaron datos cinemáticos y de actividad muscular de 12 sujetos durante el levantamiento dinámico y la sujeción estática de un objeto de 10 kg. Los exoesqueletos utilizados fueron un exoesqueleto activo (A1: CrayX Gen4, German Bionic) y dos exoesqueletos pasivos (P1: Laevo V2.57, Laevo; P2: BackX, SuitX). El exoesqueleto activo A1 utilizaba motores alimentados por baterías para proporcionar soporte, mientras que los sistemas pasivos P1 y P2 utilizaban resortes de gas para almacenar y liberar energía como momentos de extensión en las articulaciones del exoesqueleto. | Los exoesqueletos de soporte lumbar redujeron significativamente la carga en la columna durante el levantamiento y la sujeción de objetos. Tanto los exoesqueletos pasivos como el activo mostraron beneficios, con el exoesqueleto activo logrando la mayor reducción en la carga lumbar. |
| 5 | ESTIMACIÓN DE LA CARGA DE LA ARTICULACIÓN LUMBOSACRA EN TIEMPO REAL EN CONDICIONES DE LEVANTAMIENTO ASISTIDO POR EXOSQUELETO MEDIANTE MODELOS MUSCULOESQUELÉTICOS BASADOS EN ELECTROMIOGRAFÍA | A.MOYA-ESTEBAN , G.DUTANDAU ,H.VAN DER KOOIJ , M.SARTORI | El estudio buscaba crear y validar un modelo basado en electromiografía en tiempo real para estimar con precisión las fuerzas de compresión en la articulación lumbar durante actividades de levantamiento, tanto con como sin un exoesqueleto de soporte para la espalda. Esto permitió evaluar cómo el exoesqueleto afecta las fuerzas de compresión en la columna y su capacidad para ayudar durante el levantamiento de objetos. | El estudio involucró a diez participantes en tareas de levantamiento de cajas de diferentes pesos, con y sin el exoesqueleto Laevo Flex. Se recopilaron datos de movimiento y electromiografía de los músculos de la espalda y el abdomen de los participantes. Estos datos se utilizaron para desarrollar un modelo en tiempo real basado en electromiografía, específico para cada participante, que estimó los momentos en la articulación lumbar y las fuerzas de compresión durante el levantamiento de cargas. | El estudio encontró que el exoesqueleto Laevo Flex redujo significativamente los momentos y las fuerzas de compresión en la articulación lumbar durante el levantamiento de cajas, en comparación con el levantamiento sin asistencia. Estas reducciones fueron del 6 al 12% en los momentos máximos y del 5 al 10% en las fuerzas de compresión. El modelo desarrollado pudo estimar estos valores en tiempo real con precisión, indicando que el exoesqueleto ofrece una asistencia efectiva para reducir el riesgo de lesiones en la espalda durante la manipulación de cargas. |
| 6 | EVALUCIÓN DE UN EXOSQUELETO INDUSTRIAL ACTIVO PARA AYUDAR AL LEVANTAMIENTO DINÁMICO Y REDUCIR LAS TAREAS DE | KIRSTEN HUYSAMENA , MICHIEL DE LOOZEB , TIM BOSCHB , JESUS ORTIZ , STEFANO TOXIRIC , LEONARD W. | El objetivo del estudio fue determinar cómo un exoesqueleto industrial activo puede mejorar la capacidad de los trabajadores para realizar tareas de levantamiento dinámico y bajada de cargas durante la manipulación manual. | El estudio involucró a trabajadores en tareas de levantamiento y bajada de cargas, algunas con el exoesqueleto activo y otras sin él. Se recopilaron datos sobre la facilidad y eficacia de estas tareas, además de mediciones biomecánicas para evaluar cómo el exoesqueleto | Los resultados del estudio indicaron mejoras notables al utilizar el exoesqueleto industrial activo: se redujo el esfuerzo percibido en un 20%, se mejoró la eficiencia en un 15% en términos de velocidad y ejecución de tareas, se experimentó una disminución del 25% en la fatiga muscular y se logró una mejora del 30% en la postura de los |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|--|
| | MANIPULACIÓN MANUAL | O'SULLIVANA | | afectaba la realización de estas actividades de manipulación manual. | trabajadores. Estos hallazgos destacan las mejoras cuantitativas en la capacidad de los trabajadores para realizar tareas de levantamiento dinámico y bajada de cargas de manera más eficiente, ergonómica y segura con el exoesqueleto activo. |
| 7 | EVALUACIÓN BIOMECÁNICA DEL USO DE EXOESQUELETO EN LA CARGA DE LA COLUMNA LUMBAR | ERIC B.WESTONA , MINA ALIZADEHAB , GREGORY G.KNAPIKAB , XUEKE WANGB , WILLIAM S.MARRASAB | El estudio tuvo como objetivo principal investigar cómo el uso de un exoesqueleto influye en la carga de la columna lumbar durante diversas actividades. Se buscó entender cómo el exoesqueleto redistribuye la carga, reduce la presión sobre la columna y mejora la postura durante el levantamiento y otras actividades que pueden tensar la región lumbar. Además, se evaluó si el exoesqueleto ofrece suficiente apoyo para reducir el riesgo de lesiones relacionadas con la carga lumbar en entornos laborales o de movimientos repetitivos. | La metodología utilizada en el estudio incluyó la participación de sujetos que realizaron actividades específicas, como el levantamiento de cargas, tanto con el exoesqueleto como sin él. Se recopilaron datos biomecánicos mediante técnicas como la electromiografía y la cinemática, para evaluar cómo el exoesqueleto afectaba la carga en la columna lumbar durante estas actividades. Además, se realizaron análisis comparativos para determinar la diferencia en la carga lumbar con y sin el uso del exoesqueleto, así como para evaluar otros efectos biomecánicos, como la postura y la distribución de la carga en la columna. | El estudio encontró que al usar el chaleco Steadicam con el brazo de soporte de herramienta, hubo un aumento del 52.5% en las cargas espinales de compresión máxima y un aumento del 56.8% en las cargas espinales de compresión media, en comparación con la condición de control. |
| 8 | PESO EQUIVALENTE: APLICACIÓN DEL MÉTODO DE EVALUACIÓN EN TAREAS REALES REALIZADAS POR TRABAJADORES FERROVIARIOS QUE LLEVAN UN EXOESQUELETO DE SOPORTE PARA LA ESPALDA | CHRISTIAN DI NATALI, GIORGIO BURATTI, LUCA DELLERA, DARWIN CALDWELL | El propósito del artículo es investigar la eficacia de los exoesqueletos de soporte para la espalda en trabajadores ferroviarios mientras realizan tareas de levantamiento. La investigación se centra en analizar cómo estos dispositivos influyen en la carga física que soportan los trabajadores, en su postura y en la percepción del esfuerzo, con el objetivo de determinar si los exoesqueletos pueden disminuir los riesgos ergonómicos y aumentar la eficiencia en el trabajo. | En el estudio, se aplicó el método "Peso Equivalente" (EqW) para evaluar el rendimiento del exoesqueleto de soporte para la espalda (BSE) StreamEXO en la reducción del riesgo ergonómico durante el manejo manual de materiales (MMH). Se realizaron pruebas in situ con cinco trabajadores y evaluaciones de laboratorio con diez trabajadores. Durante estas pruebas, se utilizaron sensores y dispositivos de medición para registrar la activación muscular y la carga percibida por los trabajadores mientras utilizaban el exoesqueleto. | Los resultados revelaron que al usar el exoesqueleto StreamEXO, se logró una reducción significativa del riesgo ergonómico en las tareas de levantamiento, bajada y transporte de una carga de 19 kg, disminuyendo el nivel de riesgo de "alto" a "bajo" en hasta dos niveles. Además, se observó una disminución del índice de elevación (LI) de hasta un 64% en tareas específicas, lo que indica una mejora en el movimiento del trabajador mientras usa el exoesqueleto. |

| | | | | | |
|----|---|---|--|--|--|
| 9 | EFFECTOS DE UN EXOTRAJE DE SOPORTE PASIVO PARA LA ESPALDA SOBRE EL ERECTOR DE LA COLUMNA Y LA ACTIVIDAD DE LOS MÚSCULOS ABDOMINALES DURANTE TAREAS DE MANTENIMIENTO DE LA POSTURA ASIMÉTRICA DEL TRONCO DE CORTA DURACIÓN | SANG HYEON KANG , GARY A. MIRKA | El estudio busca analizar los efectos que tienen la asimetría y las limitaciones de movilidad en las extremidades inferiores en la efectividad de un exotraje pasivo de soporte para la espalda durante períodos cortos de flexión estática del tronco. | Durante el experimento, dieciséis participantes fueron sometidos a posturas de flexión del tronco con variaciones en el ángulo de flexión (20°, 40°, 60°), asimetría (0°, 30°) y la movilidad de sus extremidades inferiores (libre, restringida) durante un lapso de 3 segundos. Durante estas posturas, se registraron las actividades musculares de los músculos erectores de la columna y abdominales, tanto con la utilización del exotraje como sin él. | No se encontraron diferencias significativas en cómo afectaron la asimetría o las restricciones en las extremidades inferiores al funcionamiento del exotraje en reducir la actividad de los músculos del tronco. El exotraje demostró ser efectivo en reducir la actividad del músculo erector de la columna, independientemente de la posición asimétrica o las restricciones de las extremidades inferiores, con una reducción promedio del 21% en la actividad muscular. Además, se observó que el exotraje mantuvo una reducción similar en la actividad muscular incluso en posturas más desafiantes, como la flexión del tronco a 60°, comparado con la actividad sin exotraje a 20°. |
| 10 | EFFECTOS BIOMECAÑICOS DEL USO DE UN EXOESQUELETO PASIVO PARA EL MIEMBRO SUPERIOR EN ACTIVIDADES EN MANUFACTURA INDUSTRIAL : UN ESTUDIO PILOTO | ARMANDO COCCIA,EDDA MARIA CAPODAGLIO,FEDERIA AMITRANO,VITTORIO GABBA,MONICA PANIGAZZI,GAETANO PEGANO,GIOVANNI D'ADDIO | El propósito del artículo es analizar cómo el uso de un exoesqueleto de soporte de brazo pasivo afecta biomecánicamente a los trabajadores en el procesamiento de textiles de lana. Se centra en la disminución de la actividad muscular en los deltoides anterior y medial durante tareas industriales que involucran movimientos repetitivos de las extremidades superiores y trabajo por encima de la cabeza. | En el estudio participaron ocho trabajadores del sector de procesamiento de textiles de lana, quienes fueron equipados con electrodos de superficie para medir la actividad muscular a través de electromiografía (EMG). Se les asignaron tres tareas industriales distintas, realizadas tanto con un exoesqueleto de soporte de brazo (ASE) como sin él, manteniendo una postura erguida. Estas tareas incluían movimientos repetitivos de las extremidades superiores y trabajo por encima de la cabeza, con variaciones en la duración del ciclo, el manejo de la carga y el porcentaje de tiempo con flexión del hombro superior a 80°. Durante estas tareas, se registró la actividad muscular en los deltoides anterior y medial, así como en el músculo Erector Spinae Longissimus (ESL). Además, se evaluó la satisfacción y usabilidad del ASE mediante la Evaluación de satisfacción del usuario con tecnología de asistencia de Quebec (QUEST) y la Escala de usabilidad del sistema (SUS). | El exoesqueleto de soporte de brazo (ASE) mostró una reducción del 21,6% en la actividad muscular del deltoides anterior y del 13,6% en el deltoides medial. Sin embargo, no se observaron cambios significativos en la actividad del músculo Erector Spinae Longissimus (ESL). Los trabajadores expresaron una satisfacción completa con el ASE y un 62% calificó su usabilidad como muy alta. Estos resultados sugieren que el ASE puede ser efectivo para reducir la actividad muscular en los deltoides, respaldando su potencial como herramienta preventiva en actividades repetitivas del procesamiento de textiles de lana. |
| 11 | MODELOS Y METODOS DE TRABAJO DIGITALES - TRANSPARENCIA PARA EL USO DE | M.TROSTER, M.HOLL, R.RACK, U.DAUB, G.MULLER, U.SHNEIDER, | El objetivo del artículo es discutir sobre los modelos y métodos de trabajo digitales, así como la importancia de la transparencia en el uso de exoesqueletos ocupacionales | El artículo utiliza una metodología que combina el modelado digital del trabajo humano con herramientas como el software "ema Work Designer" y el modelo humano biomecánico "AnyBody". Estos sistemas permiten simular y analizar las actividades laborales en entornos logísticos y evaluar los efectos biomecánicos de los | El estudio reportó mejoras significativas en términos de reducción del estrés biomecánico y mejora de la ergonomía gracias al uso de exoesqueletos. Estas mejoras se reflejaron en una disminución del 30% en la fuerza de |

| | | | | | |
|----|--|---|--|---|--|
| | EXOESQUELETO OCUPACIONALES COMO MEDIDA ERGONOMICA | T.BAUERNHANSL | como medida ergonómica. | exoesqueletos en diferentes situaciones de trabajo. Además, se emplean procedimientos de evaluación ergonómica, como la Hoja de Trabajo de Evaluación Ergonómica (EAWS), para analizar y documentar los resultados obtenidos durante las pruebas y mediciones en laboratorio. | compresión en articulaciones específicas, una reducción del 25% en el ángulo de flexión del cuerpo durante actividades logísticas, y una mejora del 20% en la transmisión de potencia óptima en comparación con situaciones sin el uso de exoesqueletos. |
| 12 | UN ENFOQUE MULTIFACÉTICO PARA LA EVALUACIÓN FUNCIONAL Y ERGONOMICA DE EXOESQUELETOS PASIVOS | RICCARDO KARIM KHAMASIA, MARGHERITA PERUZZINI, AGNESE BRUNZINI, ZOI ARKOULI, VINCENT WEISTROFFER, ANOOP VARGHESE Y PIETRO ALBERTO CULTRONA | El artículo busca evaluar de manera completa y detallada los exoesqueletos pasivos desde diversas perspectivas, incluyendo su funcionalidad y ergonomía. Utiliza un enfoque multifacético para analizar la efectividad y adecuación de estos dispositivos en la asistencia de movimientos humanos. | Se utilizaron cuestionarios y encuestas para evaluar la experiencia y confort del usuario con el exoesqueleto en diferentes niveles de asistencia, incluyendo herramientas como el cuestionario NASA-TLX y la escala de malestar corporal. Además, se emplearon sensores de movimiento, como la cámara estéreo ZED 2, para evaluar la postura del operador, y sensores de vibración para estimar la activación muscular y el nivel de fuerza aplicado durante el uso del exoesqueleto, en el marco de un estudio multifacético de evaluación funcional y ergonómica. | El estudio demostró que la utilización del exoesqueleto MATE de Comau en distintos niveles de asistencia (LoA) resultó en una mejora en la comodidad física del operador durante tareas específicas, como se evidenció en la retroalimentación subjetiva obtenida de los cuestionarios y encuestas. Asimismo, los datos objetivos recabados mediante sensores permitieron evaluar el desempeño del operador tanto con el exoesqueleto como sin él, proporcionando información valiosa sobre postura y activación muscular. |
| 13 | SISTEMA DE ACCIONAMIENTO ELÁSTICO EN SERIE ACCIONADO POR CABLE PARA UN DISEÑO, CONTROL Y VALIDACIÓN DE UNA NOVELA EXOESQUELETO DE RESPALDO FLEXIBLE Y PORTÁTIL | HONG PENG LIAO, HUGO HUNG TIN CHAN, GAOYU LIU, XUAN ZHAO, FEI GAO, MASAYOSHI TOMIZUKA, MIEMBRO VITALICO, IEEE Y WEI-HSIN LIAO, MIEMBRO SENIOR, IEEE | El desarrollo y la validación de un exoesqueleto innovador con características de respaldo flexible y portabilidad, posiblemente con el propósito de mejorar la movilidad y la comodidad del usuario en diversas aplicaciones. | Se desarrolló un nuevo sistema de activación elástica en serie (CSEA) para un exoesqueleto de respaldo flexible y portátil, diseñado para ayudar en el trabajo manual y prevenir lesiones lumbares. Este sistema se basa en un mecanismo de resorte y transmisión por cable para lograr una asistencia eficiente y segura. Se realizó un modelo dinámico y un controlador de par para garantizar un control estable durante su uso. Las pruebas en bancos y en humanos demostraron que el exoesqueleto accionado por el CSEA redujo la actividad muscular durante movimientos de flexión y extensión del tronco, confirmando su efectividad como soporte para la espalda. | Los resultados indicaron que la aplicación del sistema de activación elástica en serie (CSEA) al exoesqueleto de respaldo logró disminuir de manera efectiva la actividad muscular durante los movimientos de flexión y extensión del tronco, en contraste con la situación sin el exoesqueleto. Esto confirmó la efectividad del CSEA como un método eficaz para brindar apoyo a la espalda y prevenir lesiones lumbares durante las tareas manuales. |
| 14 | MODIFICACIONES EN EL MOVIMIENTO HUMANO PROVOCADAS POR DIFERENTES NIVELES DE TRANSPARENCIA DE UN EXOESQUELETO ACTIVO PARA | DORIAN VERDEL, ANAIS FARR, THIBAUT DEVIENNE, NICOLAS VIGNAIS, BASTIEN BERRET Y OLIVIER BRUNEAU. | El artículo analiza cómo la transparencia de un exoesqueleto, que se refiere a su capacidad para permitir que los movimientos naturales del usuario sean más visibles o perceptibles, influye en las adaptaciones en el movimiento humano. El enfoque está en comprender cómo la interacción entre | El estudio evaluó la transparencia de tres controladores de exoesqueletos para las extremidades superiores en la rehabilitación neuromotora. La metodología incluyó la identificación de la dinámica del exoesqueleto, el control de retroalimentación de fuerza y su combinación. Estos controladores, denominados Controlador Dinámico (CD), Controlador de Fuerza (CF), y Controlador Dinámico de Fuerza (CDF), fueron probados en catorce participantes mientras realizaban movimientos de alcance. Los análisis se centraron en los esfuerzos de interacción, la cinemática, señales electromiográficas y retroalimentación ergonómica. | Los resultados del estudio indican que el controlador basado en la identificación de dinámica del exoesqueleto (OL) generó mayores esfuerzos de interacción a nivel del antebrazo y velocidades más altas, pero afectó la curvatura natural de los movimientos. El controlador de retroalimentación de fuerza (CL) indujo esfuerzos de interacción más altos y mayor lentitud en los movimientos. Por otro lado, el controlador combinado (OLCL) redujo los esfuerzos de |

| | | | | | |
|----|---|---|---|--|---|
| | MIEMBROS SUPERIORES | | el usuario y el exoesqueleto impacta la ejecución de los movimientos corporales. | Los resultados mostraron diferencias significativas en la transparencia y la respuesta humana a cada controlador, destacando la importancia de elegir el controlador adecuado para lograr una interacción efectiva en la rehabilitación neuromotora. | interacción y conservó la curvatura natural de los movimientos. Estos resultados resaltan la importancia de seleccionar el controlador adecuado para optimizar la interacción humana con exoesqueletos en términos de esfuerzos físicos y calidad del movimiento. |
| 15 | DISEÑO Y ANÁLISIS DE UN HOMBRO NOVEDOSO.EXOESQUELETO BASADO EN UN MECANISMO PARALELO | LIANZHENG NIU, SHENG GUO, MAJUN SONG, YIFAN WU, HAIBO QU | Es diseñar y evaluar un exoesqueleto innovador para el hombro basado en un mecanismo paralelo. Este diseño tiene como propósito mejorar la eficiencia y la capacidad de carga en tareas industriales y de rehabilitación. El enfoque es desarrollar un dispositivo que imite de manera natural la biomecánica del hombro humano, proporcionando asistencia motora para aumentar la fuerza y la resistencia del usuario, reduciendo a su vez la fatiga muscular y el riesgo de lesiones. | La metodología del estudio se centra en el diseño y análisis de un exoesqueleto de hombro basado en el mecanismo paralelo de Gough-Stewart. Primero, se desarrolló un diseño conceptual utilizando este mecanismo por su capacidad de movimientos multidimensionales precisos. Se realizaron análisis cinemáticos y dinámicos para evaluar el comportamiento y la distribución de fuerzas del exoesqueleto. Luego, se crearon modelos computacionales y se llevaron a cabo simulaciones para validar el diseño, seguido de la construcción de un prototipo físico. Este prototipo fue sometido a pruebas experimentales para evaluar su rendimiento en asistencia motora, capacidad de carga y reducción de fatiga muscular. | Los resultados del estudio indicaron que el exoesqueleto de hombro basado en el mecanismo de Gough-Stewart logró cumplir exitosamente con sus objetivos planteados. Durante las pruebas realizadas, se evidenció una mejora significativa en la asistencia motora brindada por el exoesqueleto, lo que se tradujo en un aumento notable en la capacidad de carga del usuario. Además, se observó una reducción considerable en la fatiga muscular durante tareas que implicaban levantar y manipular objetos pesados. Estos hallazgos respaldan la efectividad del diseño del exoesqueleto y sugieren que la aplicación de este tipo de mecanismo paralelo puede ser muy beneficioso tanto en entornos industriales como en contextos de rehabilitación donde se requiere mayor fuerza y resistencia. |
| 16 | EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS DE LOS EXOESQUELETOS PASIVOS DE LAS EXTREMIDADES INFERIORES SOBRE LAS ACTIVIDADES MUSCULARES SEGÚN LA ALTURA DE TRABAJO | HYUN HO SHIM , JEONG HO KIM , MIN TAE SEO , SEOUNG YEON KIM, KYEONG-HEE CHOI , HYUNJI KEUM , DONGHYUN PARK Y YONG-KU KONG | El propósito del estudio es examinar cómo los exoesqueletos pasivos de las extremidades inferiores y las diferentes alturas de trabajo afectan la actividad muscular y la sensación de comodidad según la evaluación subjetiva. | En el estudio, se realizaron pruebas con 20 hombres que realizaron una tarea de perforación durante 10 minutos a tres alturas de trabajo diferentes: 60 cm, 85 cm y 110 cm. Utilizaron tres niveles de intervención como variables independientes: sin exoesqueleto (WO), con un exoesqueleto de soporte de compresión (WCEX) y con un exoesqueleto de soporte de carga (WCC). Se midió la actividad muscular mediante datos de electromiografía (EMG) de ocho músculos y se evaluaron las calificaciones de malestar subjetivo en seis partes del cuerpo. | Los resultados del estudio mostraron que el uso de exoesqueletos pasivos en las extremidades inferiores tuvo un impacto positivo en la actividad muscular de esas áreas, especialmente cuando se trabajaba a alturas de 85 cm o menos. No obstante, se observó que el uso de estos exoesqueletos a alturas superiores a 85 cm resultó en un aumento de la actividad muscular en las extremidades superiores. En resumen, se recomendó usar exoesqueletos de extremidades inferiores a alturas de trabajo de 85 cm o menos para obtener los mejores resultados. |

| | | | | | |
|----|--|---|---|---|---|
| 17 | UN EXOSQUELETO PASIVO DE LAS EXTREMIDADES SUPERIORES REDUJO LA CARGA MUSCULAR DURANTE LAS INTERACCIONES DE REALIDAD AUMENTADA | YONG KU KONG , HYUN HO SHIM , JEONG HO KIM , PARQUE SANG-SOO , JIN-WOO SHIM A, KIARA KIA, KYEONG-HEE CHOI | El objetivo de este estudio fue evaluar la eficacia de un exoesqueleto pasivo de miembro superior como medida ergonómica para reducir la carga musculoesquelética en los hombros durante las interacciones de realidad aumentada (AR) | En el estudio, se utilizó un diseño experimental con medidas repetidas para evaluar los efectos de un exoesqueleto pasivo de miembro superior durante las interacciones de realidad aumentada (AR). Participaron 20 individuos en un entorno de laboratorio, realizando tareas de AR con y sin el exoesqueleto. Se recopilaron datos de actividad muscular en diferentes grupos musculares del hombro, posturas y molestias autoinformadas por los participantes. | Los resultados mostraron una reducción significativa en la actividad muscular del trapecio superior y deltoides, así como en las molestias reportadas, sin afectar las posturas del hombro ni el rendimiento en las tareas de AR. |
| 18 | EFICACIA DE LOS EXOSQUELETOS PASIVOS DE LAS EXTREMIDADES SUPERIORES PARA REDUCIR LA CARGA MUSCULOESQUELÉTICA ASOCIADA CON TAREAS AÉREAS | YONG KU KON , JEONG HO KIM , HYUNHO SHIM , CALZA JINWOO , PARQUE SANG-SOO , KYEONG-HEE CHOI | El propósito principal de esta investigación es analizar y determinar la efectividad de los exoesqueletos pasivos de las extremidades superiores en la disminución de la carga musculoesquelética que está relacionada con la realización de tareas aéreas. El estudio se enfoca en evaluar cómo estos dispositivos pueden contribuir a reducir la tensión y el esfuerzo físico que experimentan los individuos al realizar actividades que involucran movimientos en el aire | En el estudio, se reclutaron 20 participantes varones sanos para realizar tareas de perforación por encima de la cabeza durante 10 minutos, tanto con como sin dos tipos de exoesqueletos pasivos de las extremidades superiores: VEX y Airframe. Se utilizó electromiografía para medir la actividad muscular en ocho músculos diferentes y la escala CR-10 de Borg para evaluar el malestar subjetivo en seis partes del cuerpo. El diseño del experimento fue de medidas repetidas, comparando los niveles de actividad muscular y las calificaciones de malestar subjetivo entre las condiciones con y sin exoesqueleto para determinar la eficacia de estos dispositivos en la reducción de la carga muscular y el esfuerzo físico durante el trabajo por encima de la cabeza. | El uso de exoesqueletos pasivos de las extremidades superiores durante el trabajo por encima de la cabeza resultó en una significativa reducción de la actividad muscular en los músculos de las extremidades superiores, con una disminución de entre el 29,3% y el 58,1%. Sin embargo, no se observaron diferencias notables en las calificaciones de malestar subjetivo entre las condiciones con y sin exoesqueleto. Estos resultados indican que los exoesqueletos pueden ser efectivos para reducir la carga muscular en este tipo de tareas sin causar un aumento significativo en el malestar percibido por los trabajadores. |
| 19 | CUANTIFICACIÓN DE FACTORES ERGONÓMICOS COGNITIVOS Y DESEMPEÑO DE TAREAS PARA EL USO DE EXOSQUELETO PASIVO DE EXTREMIDADES SUPERIORES MIENTRAS SE REALIZAN TAREAS | MUHAMMAD HADRI AZIZ, NURUL IZZAH ABD RAHMAN , HAZREEN HARITH | El objetivo principal de este estudio fue cuantificar los factores ergonómicos cognitivos y evaluar el desempeño de tareas relacionadas con el uso de un exoesqueleto pasivo de miembros superiores durante la realización de tareas aéreas. | En este estudio, diez hombres con una edad media de 23,2 años participaron en experimentos utilizando un exoesqueleto pasivo de miembros superiores para tareas aéreas, tanto en modalidad de tarea única como doble. Se emplearon mediciones subjetivas como el Índice de Carga de Tareas de la NASA (NASA-TLX) y la calificación de conciencia de la situación (SART), junto con mediciones fisiológicas como la variabilidad de la frecuencia cardíaca (HRV) y el desempeño en las tareas (número de errores) para evaluar los aspectos ergonómicos cognitivos y el rendimiento de las tareas durante el uso del exoesqueleto. | Los resultados de las calificaciones subjetivas de carga de trabajo utilizando el Índice de Carga de Tareas de la NASA (NASA-TLX) en diferentes configuraciones experimentales mostraron variaciones significativas. Las puntuaciones más altas de carga de trabajo se registraron en las configuraciones de doble ejecución (DWE y DWoE), con puntuaciones más altas en DWE en comparación con DWoE. |

| | | | | | |
|----|--|---|---|---|---|
| 20 | EVALUACIÓN DINÁMICA DE EXOESQUELETOS CON SOPORTE LUMBAR DURANTE TAREAS DE MANIPULACIÓN MANUAL. | XIAOHAN XIANG, MASAHIRO TANAKA, SATORU UMENO, YUTAKA KIKUCHI, YOSHIHIKO KOBAYASHI | El objetivo de este estudio fue evaluar un método de evaluación para exoesqueletos basado en ANOVA funcional, que permitiera cuantificar las diferencias en las variables biomecánicas a lo largo del movimiento al usar un exoesqueleto. | En la metodología de este estudio, se empleó un enfoque basado en ANOVA funcional para evaluar el desempeño de los exoesqueletos durante movimientos de levantamiento. Diez participantes realizaron tareas de levantamiento con y sin el exoesqueleto en distintas condiciones, levantando una caja de 10 kg varias veces. Se registraron datos sobre la carga lumbar y las variables de movimiento en diferentes fases del levantamiento. Además, se desarrolló un método para estimar el torque asistivo del exoesqueleto. Los datos se analizaron mediante ANOVA funcional para detectar diferencias en las variables biomecánicas a lo largo del movimiento. | Los resultados señalaron que, en ángulos del tronco inferiores a 25 grados, el exoesqueleto no produjo una disminución significativa en la carga lumbar ni una restricción notable en el movimiento del tronco. Estos hallazgos son relevantes para mejorar la seguridad de los exoesqueletos y para diseñar productos más efectivos que puedan reducir de manera más eficaz los riesgos de lesiones en la zona lumbar. |
|----|--|---|---|---|---|

Anexo 2. Cantidades de documentos consultados

| FUENTES | NÚMERO DE ARCHIVOS |
|----------------|--------------------|
| Scopus | 20 |
| Mendeley | 14 |
| Scielo | 7 |
| Science direct | 3 |
| TOTAL | 44 |