



Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Estudios Superiores Zaragoza

Especialización en Salud en el Trabajo

Evaluación de uso de exoesqueletos para prevenir fatiga y molestias lumbares en personal expuesto a manipulación de cargas.

TESIS

Que para obtener el grado de Especialista en Salud en el Trabajo.

Presenta:

M.C. María Soledad Castillo Jiménez

Directores: M en C. Juan Luis Soto Espinosa

Jurados:

Dr. José Horacio Tovalín Ahumada
Esp. M.C. Juan Alfredo Sánchez Vázquez
Lic. Francisco España Fernández

CDMX, 20 octubre de 2023



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Índice

	Pag.
1. Introducción	3
2 Marco teórico	4
2.1 Trastornos musculoesqueleticos	4
2.2 Factores que contribuyen al desarrollo de trastornos musculoesqueléticos	6
2.3 Factor de riesgo: manipulación de cargas pesadas	7
2.4 Factores para prevenir lesiones de columna	8
2.5 Dolor en Espalda	8
2.6 Trastornos musculo - esquelético de trabajo en México	10
2.7 Normatividad	11
2.8 Fatiga.	12
2.9 Fatiga muscular	15
2.10 Evaluación de riesgos ergonómicos por movilización de cargas.	16
2.11 Vigilancia de la salud del personal expuesto a movilización de cargas	17
2.12 Uso de exoesqueletos para la prevención de lesiones de columna	18
2.13 Características del almacén de producto terminado.	24
2.14 Estudios Ergonómicos realizados 2019, estimación del riesgo por el levantamiento y descenso individual	24
3. Definición del problema	28
4. Objetivos e hipótesis	29
5. Metodología	30
5.1 Tipo de estudio	30
5.2 Población de estudio del área de interés	30
5.3 Variables del estudio	30
5.4 Instrumentos	31
6. Métodos ergonómicos	36
7. Cuestionarios	36
8. Procedimientos	36
9. Resultados	38
9.1 Características de los trabajadores	38
9.2 Resultados del estudio de salud	39
9.3 Reporte de condiciones no-ergonómicas	43
9.4 Análisis ergonómico de la tarea antes y después del uso de exoesqueletos (Método MAC)	46
9.5 Grado de esfuerzo físico percibido	51
9.6 Seguimiento de molestias durante la primera semana de elevación y periodo de adaptación	52
9.7 Molestias musculo esqueléticas al inicio y final del periodo de observación	54
9.8 Fatiga y uso de exoesqueletos	57
9.9 Tipo de fatiga durante el periodo de seguimiento (Inventario tridimensional de fatiga)	58

9.10 Estrés laboral	58
9.11 Opiniones sobre el uso del equipo	59
10. Discusión y conclusiones	62
Bibliografía	66
Anexos	68
Anexo 1.	68

Introducción:

Es importante prevenir los problemas musculoesqueléticos ya que son una de las principales causas del ausentismo laboral y causan un gran impacto a los sistemas de salud pública. En las organizaciones y en la sociedad impactando a nivel mundial en el mundo laboral.

Los daños que estos causan a sistema musculoesquelético específicamente en la región lumbar son muy altos y tiene una gran frecuencia de diagnóstico en el área laboral, siendo responsables de un gran número de reportes por dolencia durante la jornada laboral. Causando, fatiga, lesiones a largo plazo, dolor, molestias e incapacidades temporales y permanentes de las personas.

Este estudio tiene por objetivo dar a conocer equipos los cuales pueden dar el soporte mecánico y apoyo que los exoesqueletos proporcionan al trabajador que labora en diferentes áreas y actividades al cargar y mover cajas de un punto a otro.

La aplicación de equipos denominados exoesqueletos fueron implementados en el sector empresarial en una empresa dedicada a la fabricación de levaduras e ingredientes de panificación y pastelería.

Esta empresa ha implementado el uso de exoesqueletos, los cuales han sido de gran ayuda para los trabajadores, siendo pionero en el campo de la ergonomía laboral en México.

El exoesqueleto es un equipo con muchas aplicaciones en el área laboral ya que facilita la interacción del trabajador con su entorno laboral, aumento la agilidad y destreza para desplazar cargas pesadas, así como reduciendo el impacto en el cuerpo, cuyo factor es altamente importante para la salud y bienestar del trabajador.

Marco teórico:

1. Trastornos musculoesqueléticos.

De acuerdo con Luttmann (Luttmann, Jäger, Griefahn, Caffier, & Liebers, 2004), los trastornos musculoesqueléticos son los problemas de la salud del aparato locomotor, los músculos, tendones, esqueleto óseo, cartílagos, ligamentos y nervios. Abarcando todo tipo de dolor, desde molestias leves y pasajeras hasta lesiones irreversibles y discapacitantes.

Como se indica en la Clasificación Internacional de Enfermedades, “los trastornos musculoesqueléticos abarcan más de 150 diagnósticos del sistema locomotor”. (Salud, 2021) Es decir, afectan a músculos, huesos, articulaciones y tejidos asociados como tendones y ligamentos. Pueden ser desde traumatismos repentinos y de corta duración, como fracturas, esguinces y distensiones, hasta enfermedades crónicas que causan dolor e incapacidad permanentes.

Los trastornos musculoesqueléticos suelen cursar con dolor (a menudo persistente) y limitación de la movilidad, la destreza y las capacidades funcionales. La persona ve reducida su capacidad para trabajar y su participación en la vida social y, como consecuencia de ello, quedan afectados su bienestar mental y, en general, su prosperidad en la comunidad donde vive. Los trastornos de este tipo más comunes e incapacitantes son la artrosis, el dolor de espalda y de cuello, las fracturas debido a la fragilidad ósea, los traumatismos y las enfermedades inflamatorias sistémicas, como la artritis reumatoide.

Los problemas en la salud se manifiestan cuando el esfuerzo mecánico es superior a la capacidad de carga de los componentes del aparato locomotor. Las lesiones de los músculos, tendones, ligamentos, y huesos son algunas de las consecuencias habituales. Además, pueden producirse irritaciones en el punto de inserción de los músculos y tendones, en la vaina de los tendones, así como restricciones funcionales y procesos degenerativos precoces en huesos y cartílagos.

Los trastornos musculoesqueléticos pueden surgir en cualquier momento de la vida, pero ocurren principalmente desde la adolescencia hasta la vejez. Se prevé que su prevalencia y sus efectos aumenten con el envejecimiento de la población mundial y la mayor frecuencia de los factores de riesgo de enfermedades no transmisibles, sobre todo en los países de ingresos medianos y bajos. Se trata de trastornos que suelen ser concomitantes con otras enfermedades no transmisibles.

El dolor y la reducción de la movilidad son comunes a todos los trastornos musculoesqueléticos. El dolor suele ser persistente cuando la afección es crónica. Cuando estos trastornos no se diagnostican y tratan a tiempo, pueden ocasionar deformidades en las articulaciones.

“Algunos factores de riesgo que favorecen a los trastornos musculoesqueléticos, como la escasa actividad física, la obesidad, el tabaquismo y la nutrición deficiente, lo son también de otras enfermedades no transmisibles. Algunas de estas afecciones requieren atención especializada o quirúrgica, pero muchas pueden tratarse en centros de atención primaria mediante intervenciones básicas no farmacológicas como la actividad física, el control del peso o la psicoterapia combinada con un tratamiento farmacológico”. (Torres Carrascal & Calderón Lindarte, 2018)

La OMS en el 2004 indica que los daños que generan los TME aparecen cuando el esfuerzo mecánico supera la capacidad de carga de los componentes del sistema locomotor. Esta institución internacional especializado ha clasificado a esas lesiones en dos tipos: las primeras en agudas y dolorosas, causadas por un esfuerzo intenso y breve el cual ocasiona fallas en las estructuras y funciones de algunos segmentos anatómicos específicos; y las segundas en crónicas y duraderas, que son resultado de un esfuerzo permanente, así mismo producen dolor y disfunción atenuante. (Balderas López, Zamora Macorra, & Martínez Alcántara, 2007)

Estas lesiones son muy frecuentes, en muchos países industrializados un tercio de las bajas laborales por razones de salud, se deben a dolencias del aparato locomotor. Un ejemplo común son las lesiones en la espalda que corresponde a un 60% aproximadamente, en segundo lugar, están las dolencias cervicales y de las extremidades superiores. (Luttmann, Jäger, Griefahn, Caffier, & Liebers, 2004)

Existe una conexión entre los trastornos musculoesqueléticos y el esfuerzo físico que se realiza en las jornadas laborales. “Las dolencias o lesiones que afectan a los músculos, tendones, articulaciones, ligamentos y huesos, están causadas principalmente por un esfuerzo mecánico excesivo de las funciones corporales locomotoras. Los tejidos se fuerzan excesivamente si en el interior o exterior del organismo experimenta fuerzas directas o de torsión muy intensas” (Luttmann, Jäger, Griefahn, Caffier, & Liebers, 2004). Algunas actividades laborales que necesitan grandes esfuerzos mecánicos, como la manipulación de cargas, el transporte de estas, empujes o tirones aplicados. “La duración a estas exposiciones es un factor que influye en el desarrollo de estos trastornos musculoesqueléticos. El riesgo para el aparato locomotor depende de la postura del trabajador. Las

torsiones o flexiones del tronco casi siempre están asociadas con el desarrollo de enfermedades en la región lumbar” (Luttmann, Jäger, Griefahn, Caffier, & Liebers, 2004).

2. Factores que contribuyen al desarrollo de trastornos musculoesqueléticos:

Los esfuerzos del aparato locomotor se pueden clasificar dependiendo de los factores que influyen en él, como la intensidad de las fuerzas, la repetición y la duración de las tareas, el esfuerzo postural y muscular, además de los factores medioambientales y psicosociales. (Luttmann, Jäger, Griefahn, Caffier, & Liebers, 2004)

Los principales factores relacionados con los TME, de acuerdo con

1. La aplicación de fuerzas de gran intensidad puede suponer un esfuerzo excesivo para los tejidos afectados.
2. La manipulación de objetos pesados durante un largo periodo de tiempo puede provocar fallas en el aparato locomotor, si la actividad se ejerce en gran parte de la jornada laboral y es rutinaria durante meses o años.
3. La manipulación frecuente y repetida de objetos, movimientos repetitivos de miembros superiores, (Buckup) (Buckup & Hoffmann, 2019), aun cuando el peso de la carga sea leve.
4. Trabajar con el tronco muy flexionado, estirado o torsionado puede forzar en exceso la columna vertebral obligando a todos los músculos a trabajar más.
5. Un esfuerzo muscular estático se produce cuando los músculos permanecen en tensión durante mucho tiempo para mantener una postura corporal. El esfuerzo muscular estático consiste en mantener contraídos uno o varios músculos sin mover las articulaciones correspondientes.
6. La inactividad muscular es un factor adicional que propicia trastornos del aparato locomotor. Se deben activar los músculos para que mantengan su capacidad funcional.
7. Los movimientos repetitivos efectuados por un largo periodo pueden provocar fallos del aparato locomotor. Se entiende por movimientos repetitivos cuando los músculos se mueven una y otra vez por las mismas partes del cuerpo sin posibilidad de descanso durante un largo periodo de tiempo.
8. El aparato locomotor también se puede afectar al ser sometido a vibraciones. Las vibraciones pueden ser ocasionadas por herramientas manuales y afectar el sistema mano-brazo.

9. Algunos factores relacionados con el medio físico y condiciones ambientales pueden influir en el esfuerzo mecánico y agravar los riesgos de que se produzcan trastornos locomotores.
10. En cuanto a los factores psicosociales pueden potenciar los riesgos de sufrir lesiones en el aparato locomotor, dado que algunos acentúan la tensión muscular y afectan la coordinación motora.

3. Factor de riesgo: manipulación de cargas pesadas.

De acuerdo con Luttmann et al., 2004, para sostener y desplazar objetos pesados es necesario ejercer una gran fuerza muscular, lo cual puede dar lugar a esfuerzos excesivos y estados de fatiga muscular. Mientras se sostienen o acarrean cargas pesadas, la estructura ósea se puede ver comprometida al estar sujeta a esfuerzos excesivos y resultar dañada.

- Empujar o arrastrar objetos pesados.
- Manipular carretillas y otros medios para el transporte de cargas.
- Colocar paquetes en vehículos de transporte.
- Manipular elementos de andamios.
- Trasladar recipientes.

Son factor de riesgo: tareas para las que se requiere mucha fuerza de acuerdo a la norma Nom-036-1-STPS-2018 (DOF, 2018) (Arellano, 1987)

“Aquéllos que pueden conllevar sobre esfuerzo físico, movimientos repetitivos o posturas forzadas en el trabajo desarrollado, con la consecuente fatiga, errores, accidentes y enfermedades de trabajo, derivado del diseño de las instalaciones, maquinaria, equipo, herramientas o puesto de trabajo.”

Para poder hacer fuerza, los músculos tienen que ser muy potentes. Esto puede requerir esfuerzos excesivos y provocar fatiga muscular.

Durante este tipo de tareas, la estructura ósea también se compromete y esto puede dar lugar a esfuerzos excesivos y lesiones en el sistema óseo. Al ejercer fuerza sobre un punto situado lejos del propio cuerpo, se corre el riesgo de dañar los tejidos de la región lumbar. Sí el esfuerzo se prolonga durante mucho tiempo o se repite con frecuencia, existe el riesgo de padecer enfermedades degenerativas especialmente de las vértebras lumbares. El riesgo es evidente cuando la fuerza es ejercida en posturas perjudiciales.

Para mantener posturas determinadas, los músculos tienen que hacer mucho esfuerzo, para lograrlo se puede requerir mucha fuerza y provocar fatiga a los músculos.

Cuando se adoptan posturas perjudiciales, el sistema óseo está sometido también a fuerzas intensas. Esto siempre requiere de un esfuerzo excesivo con el consiguiente deterioro óseo. Las posturas forzadas durante largos periodos conllevan a un esfuerzo sostenido de ciertos músculos, que puede ser la causa de fatiga muscular y disminuir considerablemente el aporte sanguíneo.

Hay otros factores de riesgo como las temperaturas extremas con fuerte circulación de aire; condiciones de extrema iluminación (muy oscuro o muy brillante) a los que los trabajadores se ven expuestos.

Otro factor de riesgo es el jalar, empujar o arrastrar, tracción, cargas que son las actividades que se efectúan de forma manual teniendo en cuenta o no la ayuda de equipos que pueden auxiliar, mediante la tracción la fuerza es dirigida hacia el cuerpo y en el empuje, la fuerza hace que la carga se aleje del cuerpo. (Arellano, 1987)

También se consideran factores de riesgo el esfuerzo físico o esfuerzo excesivo que es completamente reversible con el descanso dejando en claro que se pueden aplicar medidas de control para reducir o eliminarlo en el trabajo desarrollado.

4. Factores para prevenir lesiones de columna

Mantener y favorecer la salud es prioritario, y para ello es necesario un equilibrio entre la actividad y el descanso. Los descansos son imprescindibles para poder recuperarse de los esfuerzos laborales y para evitar que se acumule la fatiga. Los movimientos serán preferibles a las actitudes estáticas y se podrán compaginar los periodos de actividad con los periodos inactivos de relajación.

Cuando hay una desproporción entre el esfuerzo y la capacidad funcional del trabajador existe el riesgo de dañar el aparato locomotor. El principio básico de la ergonomía es crear un equilibrio apropiado entre las actividades laborales y la capacidad del trabajador, formando al trabajador y adaptando sus aptitudes profesionales. (Jara Astete, 2016)

5. Dolor en Espalda

De acuerdo con Looze et al. (2016), el dolor lumbar es una causa muy frecuente de consulta en nuestro medio; se define como el dolor que se localiza por debajo del

margen costal inferior y por encima de los pliegues glúteos, asociado o no al dolor de miembros inferiores.

Es causado principalmente por lesiones musculoligamentosas y procesos degenerativos relacionados con la edad que involucran discos vertebrales y articulaciones facetarias, pero no deben poner en riesgo la salud o la vida del paciente. La historia clínica y el examen físico van encaminados a determinar el origen del dolor lumbar y a descartar patologías graves.

Parte de las dolencias más frecuentes se presentan en la espalda y la parte baja de la espalda, son causadas por una postura inadecuada o movimientos forzados, es posible que no se recuerde una lesión específica, especialmente si los síntomas comenzaron gradualmente o durante actividades repetitivas cotidianas. La mayoría de las veces, estas lesiones ocurren a causa de movimientos o posturas inadecuados cuando se levantan objetos, se encuentra de pie, camina o permanece sentado, incluso cuando duerme. Los síntomas pueden incluir dolor, espasmos musculares y rigidez.

Las lesiones en la espalda son la causa más común de dolor de espalda. Con frecuencia, las lesiones ocurren cuando se usan los músculos de la espalda en actividades de carga o movimientos repetitivos forzados.

El dolor causado por una lesión podría ser repentino o intenso. También podrían aparecer hematomas o inflamación al momento o después de alguna lesión.

El dolor lumbar ocupa la primera causa de consulta por dolor musculoesquelético en el primer nivel de atención, y es la segunda causa de consulta al médico después de los problemas respiratorios altos, siendo además responsables de la mayoría de las incapacidades laborales a nivel mundial. (Umaña Giraldo, Haneo Zuloaga, & Castillo Berrio, 2010):

Los pacientes refieren dificultad para realizar actividades cotidianas como levantarse, sentarse, trabajar, caminar o acostarse, y pueden referir debilidad en las piernas, parestesias, pérdida de volumen muscular y cansancio unilateral o bilateral de miembros inferiores como síntomas asociados.

Sí se cargan materiales durante un largo periodo de tiempo, pueden aparecer o propiciarse trastornos degenerativos, especialmente en la región lumbar (por ejemplo, cuando se manejan materiales pesados con la espalda encorvada).

El riesgo vinculado a la manipulación manual de materiales guarda relación en gran medida con la capacidad funcional del trabajador.

“Los factores más importantes que determinan el riesgo son el peso del objeto que se manipula, la distancia horizontal entre el objeto y el cuerpo, y la duración y frecuencia con que se repite la tarea. De esto se deducen algunas reglas para la manipulación manual de cargas”. (Luttmann, Jäger, Griefahn, Caffier, & Liebers, 2004)

1. Al levantar la carga, manténgala cercana al cuerpo (lo más que se pueda).
2. Levante la carga con las 2 manos, manteniendo la simetría del cuerpo y en posición vertical; mantenga siempre la carga lo más cerca posible del cuerpo.
3. Levante la carga con el tronco recto, agachándose y levantándose; evite manipular materiales pesados en posturas perjudiciales (por ejemplo, inclinarse hacia un lado o torciendo el cuerpo).
4. Para levantar y transportar cargas pesadas, utilice siempre que sea posible, grúas, elevadores, carretillas, transportadoras de bandejas, elevadores móviles o dispositivos similares.
5. Se puede pedir ayuda de alguien más al manipular la carga pesada o voluminosa.

El método empleado por el trabajador en el desempeño de sus funciones puede entrañar un riesgo de esfuerzo para su aparato locomotor. Algunas estrategias ocupacionales pueden implicar un menor riesgo que otras. Por ejemplo, en los casos en que al manipular cargas pesadas el centro de gravedad se mantiene cerca del cuerpo, para lo cual el objeto debe levantarse, siempre que sea posible, flexionando las rodillas en lugar de curvar la espalda.

Otras precauciones para reducir el riesgo de esfuerzo excesivo consisten en evitar las torsiones y las inclinaciones laterales del cuerpo, y mantener un ritmo de actividad moderado, en lugar de trabajar con prisa y sin continuidad. Se deberá informar al trabajador sobre esas alternativas y motivarlo para que las aplique.

6. Trastornos musculoesqueléticos de trabajo en México

La Ley Federal del Trabajo (Unión, 2015) en su artículo 475 define como enfermedad de trabajo a todo estado patológico derivado de la acción continuada de una causa que tenga su origen o motivo en el trabajo o en el medio en que el trabajador se vea obligado a prestar sus servicios. De acuerdo con la Memoria estadística del Instituto Mexicano del Seguro Social de 2020 (Memoria estadística 2020, 2020) los accidentes de trabajo el total son 19,429 que incluye la región lumbosacra, columna lumbar y pelvis, el número de enfermedades de trabajo en el año 2020, llegó a 119,474 casos; entre las enfermedades con mayor número de incidencia encontramos un número importante de enfermedades de trabajo que se agrupan como trastornos musculoesqueléticos (TME), estas enfermedades son: dorsopatías; entesopatías; síndrome del túnel carpiano; lesiones de hombro;

tenosinovitis de estiloides radial de Quervain; otras sinovitis, tenosinovitis y bursitis; epicondilitis y artrosis), de modo que como grupo los TME representan en la actualidad el primer tipo de enfermedad de trabajo.

7. Normatividad



Ante este escenario, es evidente la necesidad de atención de los factores de riesgo ergonómico, lo cual exige un compromiso gubernamental para fortalecer la seguridad y la salud en el trabajo, que permita lograr un trabajo digno o decente, a través de políticas, líneas estratégicas de acción y proyectos con un enfoque preventivo, para que prevalezcan centros de trabajo con condiciones seguras y saludables, ya que es reconocida la afectación a la salud de los trabajadores que estos factores generan (Arellano, 1987)

La Ley Federal de Trabajo (Legislatura, 2022) establece en el artículo 2, que las normas del trabajo tienden a conseguir el equilibrio entre los factores de la producción y la justicia social, así como propiciar el trabajo digno o decente en todas las relaciones laborales, definiendo a éste como aquél en el que se respeta plenamente la dignidad humana del trabajador; no existe discriminación por origen étnico o nacional, género, edad, discapacidad, condición social, condiciones de salud, religión, condición migratoria, opiniones, preferencias sexuales o estado civil; se tiene acceso a la seguridad social y se percibe un salario remunerador; se recibe capacitación continua para el incremento de la productividad con beneficios compartidos, y se cuenta con condiciones óptimas de seguridad e higiene para prevenir riesgos de trabajo. (Arellano, 1987)

Norma Oficial Mexicana Nom-036-1 –STPS-2018

Esta norma tiene como objetivo establecer los elementos para identificar, analizar, prevenir y controlar los factores de riesgo ergonómico en los centros de trabajo derivados del manejo manual de cargas, a efecto de prevenir alteraciones a la salud de los trabajadores. y aplica en todos los centros de trabajo donde existan trabajadores cuya actividad implique realizar manejo manual de cargas de forma cotidiana (más de una vez al día) Esta Norma aplica en actividades de manejo manual de cargas mayores a 3 kg

Obligaciones del patrón

-  Contar con el análisis de los factores de riesgo ergonómico debido al manejo manual de cargas, con base en lo dispuesto por el Capítulo 7 de la presente Norma.
-  Adoptar medidas de prevención y/o control para reducir o eliminar los factores de riesgo ergonómico en el centro de trabajo debido al manejo

manual de cargas, de acuerdo con lo establecido por el Capítulo 8 de esta Norma.

- ✚ Efectuar la vigilancia a la salud de los trabajadores ocupacionalmente expuestos conforme a lo dispuesto por el Capítulo 9 de la presente Norma.
- ✚ Informar a los trabajadores sobre las posibles alteraciones a la salud por el manejo manual de cargas.
- ✚ Proporcionar capacitación y adiestramiento al personal ocupacionalmente expuesto sobre los procedimientos de seguridad y las prácticas de trabajo seguro, y en su caso, en las medidas de prevención y/ o control, de conformidad con lo señalado por el Capítulo 10 de esta Norma.
- ✚ Medidas de seguridad para el levantamiento y transporte de cargas
- ✚ Verificar que para levantar y/o bajar cargas no rebasen las masas que señala la Tabla 1 siguiente

Tabla 1

Masa máxima que puede levantar o bajar un trabajador por edad y género

Masa máxima kg	Género	Edad (en años)
7	Femenino	Menores de 18
	Masculino	
15	Femenino	Mayores de 45*
20	Femenino	Entre 18 y 45
	Masculino	Mayores de 45*
25	Masculino	Entre 18 a 45

8. Fatiga.

La fatiga es una sensación de cansancio, es diferente de la somnolencia. La somnolencia es sentir la necesidad de dormir, es más una falta de energía y de motivación. La somnolencia y la apatía pueden ser síntomas que acompañan a la fatiga. (Clauw, 2020).

Un factor que se encuentra presente en cualquier situación y área de trabajo es la fatiga laboral. Cuando la misma es excesiva o no se presenta el descanso necesario que permita controlarla, podrían generarse situaciones que podrían afectar el bienestar de los trabajadores que afecten su situación laboral como accidentes e incidentes laborales. (Neissa Cubillos & Rojas López, 2009).

” No existe ninguna definición técnica universalmente aceptada de la fatiga. No obstante, todas definiciones coinciden en que comporta un deterioro en el rendimiento humano”. (Embankment, 2001).

La identificación de los síntomas o indicadores de fatiga es muy importante para dar al cuerpo el reposo que demanda y prevenir así que la fatiga sea mayor y, por tanto, la recuperación más difícil.

La fatiga se hace presente como un factor que libera dificultades, lesiones o enfermedades o bien como consecuencia de ellas, y va ligada al esfuerzo. La fatiga es un indicador de que algo debe ser atendido, ya sea por los trabajadores o por el personal capacitado en salud ocupacional. (Navarro, 2016).

En el ámbito laboral, la fatiga está relacionada con la desmotivación, el aumento del absentismo y la rotación en los puestos de trabajo.

“La fatiga laboral es un fenómeno complejo y muy común en los ambientes de trabajo especialmente en aquellos que requieren de una alta carga física y en los que son utilizadas complicadas tecnologías que presentan al hombre máximas exigencias, obligándolo a trabajar más allá de sus posibilidades psicofisiológicas y en condiciones muchas veces nocivas” (Colombia, 1992).

La fatiga puede ser una respuesta normal e importante al esfuerzo físico, al estrés emocional, al aburrimiento o a la falta de sueño.

La fatiga laboral es una consecuencia de la actividad excesiva y del trabajo monótono, pudiendo ser aliviada con horarios razonables, periodos de descanso adecuados y tiempo suficiente para el sueño, recreo y alimentación.

La fatiga, por tanto, se presenta como una aptitud decreciente para efectuar un trabajo.

Los periodos de trabajo largos van asociados inevitablemente al cansancio, en estos casos, la sensación de fatiga actúa como un dispositivo de protección del organismo, que sirve para impedir el agotamiento total.

“Habitualmente se han clasificado los distintos tipos de fatiga de la siguiente manera: (Navarro, Revista Digital INESEM, 2016)

- **Fatiga general:** por lo común afecta a todo el organismo, tanto física como mentalmente.
- **Fatiga sensorial:** ocasiona dolores e hipersensibilidad en el sistema nervioso.
- **Fatiga física:** ocasiona dolores localizados en músculos determinados.
- **Fatiga mental:** genera tensión en el individuo, creada por una actividad mental intensa o prolongada, la padece principalmente los que desempeñan

trabajos intelectuales, los que realizan trabajos de gran precisión o los sometidos a una gran responsabilidad.

- **Fatiga crónica:** se produce por una falta de recuperación y escasez de suficiente descanso en etapas sucesivas del trabajo o fuera de él, que provoca una sensación de malestar, física y emocional y que, con el tiempo, da como resultado una fatiga crónica, retroalimentada por la rutina diaria.”

Los síntomas que provoca la fatiga pueden dividirse en las siguientes categorías:

- **Síntomas fisiológicos:** la fatiga se interpreta como una disminución de la función de los órganos o del organismo completo. Pueden producirse reacciones fisiológicas, como el aumento de la frecuencia cardíaca o de la actividad eléctrica muscular.
- **Síntomas conductuales:** la fatiga se interpreta, principalmente, como una disminución de los parámetros del rendimiento. Entre los ejemplos está el aumento en el número de errores cuando se realizan ciertas tareas o un aumento en la variabilidad del rendimiento.
- **Síntomas psicofísicos:** la fatiga se interpreta como un aumento en la sensación de agotamiento y un deterioro sensorial, dependiendo de la intensidad, la duración y la composición de los factores de estrés.

Una de las dificultades que se presentan al tratar la fatiga es su medición. Otro problema, es el grado de tolerancia del individuo frente a la misma. Además, existen muchas variables exteriores al trabajo, que contribuyen a la fatiga del trabajador, pero estas son en gran parte de tipo personal y están, por tanto, fuera de la capacidad de acción del empresario.

La fatiga se manifiesta en función de factores situacionales y características personales y tienen siempre, además de efectos funcionales, un sustrato corporal subjetivo: dolores de cabeza o musculares, picor de ojos, embotamiento, coraza tensional, torpeza en los movimientos. Es decir, cada uno experimenta la fatiga a su propia manera, en su propio cuerpo y según la situación.

Ese es el motivo de que se encuentren diferencias entre las personas en diferentes momentos, en cuanto a las formas y la intensidad de sentir la fatiga. La fatiga laboral, es aquella que se origina en la relación persona - trabajo.

Desde el punto de vista de la institución, organización o empresa donde la persona desarrolla su trabajo, será necesario identificar cuáles son las características de las condiciones de trabajo que incrementan la fatiga para implantar medidas de prevención que puedan aminorarla. Estas medidas no tienen por qué ser específicas, sino que al adoptar aquellas que permitan eliminar o minimizar los riesgos, estaríamos también reduciendo los efectos de dichas condiciones de trabajo sobre la fatiga del trabajador.

9. Fatiga muscular

El esfuerzo prolongado de los músculos ocasiona fatiga muscular. Cuando no se permite una recuperación suficiente, la fatiga puede originar cambios irreversibles en las estructuras musculares. Incluso aunque la fuerza no sea muy intensa puede haber músculos pequeños o grupos de músculos que se fuercen en exceso y causen fatiga (Luttmann, Jäger, Griefahn, Caffier, & Liebers, 2004).

La fatiga no puede separarse del trabajador (es la persona misma quien trabaja, se relaciona con sus amigos, disfruta y sufre, descansa, tiene un sueño reparador o se fatiga más aún) y determinadas actitudes, vivencias o experiencias fuera del ámbito estrictamente laboral, van a condicionar tanto que se origine fatiga, como la forma en que va a ser percibida.

De este modo, habría al menos dos vías de intervención en la prevención de la fatiga: Por un lado, las técnicas y estrategias centradas en la persona, por el otro, las centradas en las condiciones de trabajo y su organización, e incluso las que pudieran interactuar entre una y otra.

La máxima cantidad de trabajo que puede realizar un músculo estará determinada por el ritmo de trabajo, la tensión muscular y la circulación sanguínea. Por tanto, la aparición de la fatiga estará relacionada con el mantenimiento de la irrigación y, en definitiva, con el aporte de oxígeno al músculo.

Las exigencias físicas de trabajo, que sobrepasen las capacidades del individuo (sobrecarga de trabajo), pueden llevar a la situación de fatiga muscular. Si esta se mantiene durante un tiempo, puede afectar no solo a los músculos directamente implicados en la realización del trabajo, sino también a aquellos otros que no han intervenido en el trabajo e incluso al propio sistema nervioso. De esta manera, se pasaría de una situación de fatiga normal, con deterioro pasajero de la capacidad de trabajo de determinadas partes del cuerpo, que es fácilmente reversible mediante la introducción de descansos, a una situación de fatiga crónica o patológica, difícilmente reversible y que supone graves repercusiones para el cuerpo humano.

El incremento de la frecuencia o la reducción del tiempo de los ciclos de trabajo genera síntomas de fatiga, dolor y tensión muscular. Más aún, el trabajo repetitivo puede causar daño directo a los tendones, al someterlos a constantes contracciones y elongaciones, así como también, incrementar la probabilidad de la fatiga de los tejidos, al reducir las posibilidades de recuperación.

Los episodios repetitivos de este tipo de trastornos pueden producir inflamación de los tejidos blandos y reducción de la movilidad articular. Si la sobrecarga del trabajo

afecta a nervios, los síntomas pueden estar acompañados de pérdida de sensibilidad táctil y sensación de adormecimiento de las extremidades.

En caso de exposiciones prolongadas a trabajo repetitivo, las personas pueden desarrollar trastornos musculoesqueléticos con incapacidad irreversible. Un claro ejemplo de ello es el síndrome del túnel carpiano, característico de aquellas actividades en las que se realizan movimientos repetitivos durante una parte importante de la jornada laboral. Es el caso de los usuarios de pantallas de visualización de datos.

10. Evaluación de riesgos ergonómicos por movilización de cargas.

Ecuación NIOSH:

The National Insitution for Occupational Safety and Health (NIOSH) desarrolló en 1981 un método que incluía una ecuación para calcular el peso recomendado para tareas de levantamiento de cargas con dos manos y simétricas.” (Pérez, 2015)

Este es el método específico más reconocido para evaluar el grado de riesgo por el manejo manual de cargas.

Ecuación NIOSH:

$$RWL = LC \cdot HM \cdot VM \cdot DM \cdot AM \cdot FM \cdot CM$$

RWL – Limite de Peso Recomendado.	DM – Factor de desplazamiento vertical.
LC – Constante de carga.	AM – Factor de asimetría.
HM – Factor de distancia horizontal	FM – Factor de frecuencia.
VM – Factor de altura	CM – Factor de agarre.

La evolución se realiza mediante una ecuación que analiza los límites de carga admisibles en función del tipo de tarea, caracterizada por las posiciones adoptadas durante el agarre y depósito de la carga, las características de la carga, la frecuencia de levantamientos y el tiempo de trabajo.

El objetivo del método es prevenir o reducir la aparición de dolores lumbares entre los trabajadores y otros problemas musculoesqueléticos asociados a los levantamientos de cargas, como dolores de brazos y espalda.

El método de NOISH evalúa tareas en las que se realizan levantamiento de cargas. El resultado de la aplicación es el Peso Máximo Recomendado, (RWL:

Recommended Weight Limit) que se define como el peso máximo que es recomendable levantar en las condiciones del puesto para evitar el riesgo de lumbalgias o problemas de la espalda. Además, a partir del resultado de la aplicación del método, se obtiene una valoración, ante la posibilidad de aparición de trastornos como los citados, dadas las condiciones de levantamiento de alguna carga.

Básicamente son tres criterios empleados para definir los componentes del método de NIOSH: Biomecánico, fisiológico y psicofísico.

Criterio biomecánico: Al manejar una carga pesada o al hacerlo incorrectamente, aparecen unos movimientos mecánicos en la zona de la columna vertebral concretamente en la unión de los segmentos vertebrales L5/S1 que dan lugar a un marcado dolor lumbar.

Criterio fisiológico: Aunque se dispone de pocos datos empíricos que demuestren que la fatiga incrementa el riesgo de daños musculoesqueléticos, se ha reconocido que las tareas con levantamientos repetitivos pueden fácilmente exceder las capacidades normales de energía del trabajador, provocando una prematura disminución de su resistencia y un aumento de la probabilidad de lesión.

Criterio psicofísico: Se basa en los datos sobre la resistencia y la capacidad de los trabajadores que manipulan cargas con diferente frecuencia y duración. Se basa en el límite de peso aceptable para una persona trabajando en condiciones determinadas e integra los criterios biomecánicos y fisiológico, pero tiende a sobreestimar la capacidad de los trabajadores para tareas repetitivas de duración prolongada.

Hay otro método para estimar el riesgo por manejo manual de cargas que está integrado en la **NOM-036-1-STPS-2018 en el Anexo 1**, el método MAC.

El método MAC es una metodología que se define como una herramienta de inspección, la cual utiliza una escala cuantitativa para medir el riesgo y un código de colores para indicar cada uno de los factores, además se basa en antecedentes de biomecánica, psicofísica y factores del entorno físico del proceso. (HSE, 2003)

11. Vigilancia de la salud del personal expuesto a movilización de cargas, NOM-036-1-STPS-2018. Factores de riesgo ergonómico en el Trabajo-Identificación, análisis, prevención y control. (Arellano, 1987)

La norma indica que las actividades de manejo manual de cargas deberán ser realizadas por trabajadores que cuenten con aptitud física avalada por un médico o a través de una institución de seguridad social o privada.

Para desarrollar actividades que involucren manejo manual de cargas, se deberá contar con un procedimiento de seguridad, que contemple:

- Intensidad.
- Distancias: horizontal y/o vertical,
- Repetición.
- Frecuencia.
- Duración.
- Posturas.

Para realizar actividades que impliquen manejo manual de cargas se deberán adoptar las medidas de prevención o de seguridad siguientes:

- Medidas de seguridad generales.
- Medidas de seguridad para el levantamiento y transporte de cargas.
- Medidas de seguridad para empujar o jalar cargas, con o sin ayuda de equipo auxiliar:

1•Supervisar que se realicen en condiciones seguras, con base en el procedimiento a que alude el numeral 8.2, de la norma.

2• Realizar ejercicios o movimientos de calentamiento antes de iniciar las actividades.

3• Mantener las áreas de tránsito y de trabajo libres de obstáculos.

12. Uso de exoesqueletos para la prevención de lesiones de columna

A continuación, se describen **reportes** de uso de exoesqueletos en diferentes actividades

- I. **Uso de exoesqueletos para ayudar con la posición boca abajo en la unidad de cuidados intensivos durante la Pandemia COVID-19:**(Settembre, y otros, 2020)

En el Hospital Universitario de Nancy, se crearon 15 equipos médicos específicos (75 voluntarios) para hacer frente al gran número de pacientes con síndrome de dificultad respiratoria aguda relacionado con COVID-19.

El estudio piloto consta de: Primero, una exploración estudio con valoración cinemática de cuerpo entero y evaluación de exoesqueletos potenciales, realizados en condiciones simuladas. Luego, implementación en una situación de la vida real con el seleccionado exoesqueleto. El estudio exploratorio se realizó en el Hospital Central de simulación de la Universidad de Lorena.

Examinaron 4 exoesqueletos comerciales, diseñados para descargar la columna lumbar con el fin de seleccionar la que satisfaga adecuadamente el requisito de la maniobra: CORFOR (CORFOR, Francia), Laevo v1 (Laevo, Países Bajos), BackX (SuitX, EE. UU.) y CrayX (alemán Biónica, Alemania). CORFOR es un exoesqueleto blando pasivo (conocido como un extraje), Laevo y BackX son exoesqueletos rígidos pasivos basados en resortes, y CrayX es un exoesqueleto activo que involucra actuadores. Cinco voluntarios con experiencia realizaron 11 maniobras con un maniquí de 100 kg. Dos de los participantes (hombre, 30 y 35 años) probaron los 4 exoesqueletos.

El personal médico que utiliza el exoesqueleto pasivo Laevo durante las maniobras en la UCI, percibió alivio físico en la baja espalda durante las posturas dobladas, especialmente cuando se trabaja en el cabeza del paciente. Evaluación subjetiva, que se utiliza en estudios de campo. Para evaluar la adopción de exoesqueletos en la industria, indica la intención de adoptar dicha tecnología después de este estudio piloto, aunque limitado por el reducido número de participantes.



Posturas típicas asumidas por el personal médico durante el decúbito prono/maniobra de posición supina (PP, prone position / SP, supine position).

A. Inclinación estática hacia adelante para asegurar la cabeza del paciente.

B. Flexión del tronco hacia adelante durante la SP (Supine Position).

C. Flexión del tronco hacia adelante durante el posicionamiento del paciente en la cama. Las fotos fueron tomadas en el Hospital Central de simulación de la Universidad de Lorena. Dos voluntarios están equipados con el exoesqueleto Laevo

II. Caso de un usuario. Industrias Worthington (Worthington Industries, 2021)

Industrias Worthington probó el Exoesqueleto de soporte de espalda LAEVO para reducir las lesiones relacionadas con el trabajo y un aumento en la producción.

El objetivo era ayudar al trabajador a prevenir el trabajo relacionado con lesiones de espalda. Se realizó una prueba indicativa con el LAEVO Exoesqueleto de soporte de espalda. Este ayudó a reducir los niveles de fatiga de los trabajadores durante su trabajo diario, hasta un punto que los trabajadores no sienten algún dolor.

Se realizó una prueba de referencia con sensores de GoX Labs. Estos sensores registraron entre muchos otros indicadores: forma, consumo de oxígeno y ritmo cardiaco de los trabajadores. La Base se realizó en dos y media semanas de trabajo.

Se determinó disminución del 4% en el oxígeno promedio consumo (VO₂) 1% Sin mejora en buena versus mala técnica de levantamiento 75% de aumento de la producción de trabajo - comparación de ascensores totales

El uso del soporte de espalda LAEVO no mejora la forma de levantamiento. (Worthington Industries, 2021)

III. Los efectos de un exoesqueleto pasivo sobre la actividad muscular y el costo metabólico de energía.(Wei Wang, Qu, G, & Lin, 2020)

El exoesqueleto pasivo, llamado LAEVO, fue diseñado para ayudar a las enfermeras con el trabajo de enfermería. El dispositivo está conectado al pecho, la espalda baja y los muslos del usuario. El exoesqueleto es el uso de una pipa para el peso desde la espalda baja hasta el pecho y las piernas. Estos tubos están accionados por resorte en ambos lados del cuerpo. El dispositivo observó una reducción significativa de esfuerzo en los músculos de la espalda y piernas en los movimientos de flexión. Hasegawa Et Al, diseñó un dispositivo de asistencia pasivo para miembros inferiores portátil en 2013. Este dispositivo consta de un mecanismo de soporte móvil y un mecanismo de liberación que evita que el usuario se caiga hacia atrás y lo soporte a cualquier altura de la cadera. El mecanismo de liberación simplifica la función de soporte de peso, basándose en los requisitos básicos de refuerzo, reduciendo así la carga de peso causada por el dispositivo.

IV. Los efectos de un exoesqueleto pasivo sobre la actividad muscular, la incomodidad y el tiempo de resistencia en el trabajo de flexión hacia adelante. (Bosch, Eck, & Knitel, 2016)

Dieciocho sujetos realizaron dos tareas: una tarea de montaje simulada con el tronco en una posición inclinada hacia adelante y la sujeción estática de la misma posición del tronco sin más actividad. Midieron la electromiografía de los músculos de la espalda, el abdomen y las piernas. También midieron el malestar local percibido. En la tarea de retención estática, determinaron la resistencia, definida como el tiempo que las personas podían continuar sin pasar un umbral de incomodidad específico.

En la tarea de montaje se encontró menor actividad muscular (en un 35 a 38%) y menor malestar en la bajada hacia atrás cuando se usa el exoesqueleto. Además, se redujo la actividad del extensor de cadera. El exoesqueleto provocó más molestias en la región del pecho. En la tarea de sujeción estática, observaron que el uso del exoesqueleto condujo a un aumento del tiempo de resistencia de 3.2 a 9.7 min, en promedio.

Los resultados ilustran el buen potencial de este exoesqueleto pasivo para reducir las fuerzas musculares internas y las fuerzas espinales (reactivas) en la región lumbar. Sin embargo, la adopción de una posición de rodilla demasiado extendida podría ser, entre otras, una de las preocupaciones al utilizar el exoesqueleto.

V. Un exoesqueleto pasivo reduce el pico en una electromiografía durante el levantamiento simétrico y asimétrico.(Mehdi Alemi, Geissinger, Simon, & Chang, 2019)

En este estudio, se investigó el efecto del exoesqueleto sobre las señales electromiográficas (EMG) en cuatro tipos diferentes de levantamiento (encorvado, sentadilla, estilo libre y asimétrico) y dos pesos de caja (0% y 20% del peso corporal). Participaron doce adultos jóvenes sanos de 18 a 31 años (media = 22,75, DE = 4,35). Se midieron las señales EMG para doce músculos (musculo iliocostal (IL), musculo longisimo (LT), musculo multifido (MF), bíceps femoral (BF), vasto lateral (VL) y músculos abdominales oblicuos externos (AEO).

El exoesqueleto disminuyó significativamente la actividad máxima y media de los músculos de la espalda (IL y LT) en un 31.5% y un 29.3%, respectivamente, para elevaciones simétricas y en un 28.2% y 29.5%, respectivamente, para elevaciones asimétricas. La EMG máxima y media de los músculos de las piernas se redujo significativamente en un 19.1% y un 14.1% durante los levantamientos simétricos,

y un 17.4% y un 14.6% durante los levantamientos asimétricos. Aunque el exoesqueleto redujo la activación de los músculos de la espalda y las piernas, aumentó ligeramente la actividad de los músculos oblicuos externos, aunque esto no fue estadísticamente significativo. En conclusión, el exoesqueleto es prometedor como un dispositivo de asistencia de elevación para los manipuladores de materiales manuales y los trabajadores que realizan levantamientos repetitivos.

VI. Efectos de dos exoesqueletos pasivos de apoyo para la espalda sobre la actividad muscular, el gasto energético y las evaluaciones subjetivas durante el levantamiento repetitivo. (Alemi, Madinei, Srinivasan, & y Nussbaum, 2020)

Los trastornos musculoesqueléticos relacionados con el trabajo (WMSD, por sus siglas en inglés) debido al esfuerzo excesivo, son una de las fuentes más prevalentes de lesiones ocupacionales no mortales, ya que representan aproximadamente el 33% del total de casos anuales en los Estados Unidos (BLS, 2017) e imponen costos directos de más de \$ 13.7 billones (Liberty Mutual Research Institute for Safety, 2018). Entre todas las WMSD, la espalda fue la parte del cuerpo más afectada, responsable de ~ 40% de estos casos, e involucró una media de 7 días de trabajo perdidos (BLS, 2018). Los estudios epidemiológicos han identificado factores de riesgo comunes para las WMSD en la espalda, que incluyen levantamientos repetitivos, flexiones y posturas estáticas no neutrales prolongadas (da Costa y Vieira, 2009; Wang et al., 2015).

Los resultados obtenidos, indican que el uso de ambos exoesqueletos redujo significativamente la actividad máxima de los músculos extensores del tronco (en ~ 10% -28%) y el gasto de energía (en ~ 4% -13%) en todas las condiciones evaluadas. Sin embargo, estas reducciones dependían de la tarea y diferían entre los dos exoesqueletos. En la mayoría de las condiciones probadas, el uso de exoesqueletos afectó positivamente las respuestas subjetivas con respecto al esfuerzo percibido y la usabilidad.

VII. Efectos de un exoesqueleto pasivo sobre la carga mecánica de la espalda baja en tareas de sujeción estática. (Koopman, Kingma, Faber, de Looze, & H, 2018)

Varios exoesqueletos pasivos (incluido el exoesqueleto probado en este estudio) ya han sido evaluados y han demostrado su efecto en la reducción de la actividad muscular de la espalda medida por electromiografía en un 10-40% (Abdoli et al., 2006; Abdoli y Stevenson, 2008; Barrett y Fathallah, 2001; Bosch et al., 2016; de

Looze et al., 2016; Graham et al., 2009; Lotz et al., 2009; Ulrey y Fathallah, 2013). Sin embargo, sin el conocimiento del ángulo de flexión lumbar, que en la mayoría de los estudios no se informó, las inferencias basadas en EMG sobre los efectos de un dispositivo sobre la carga de la columna son prematuras. Como han demostrado Ulrey y Fathallah (2013), el efecto del dispositivo sobre la actividad electromiográfica depende en gran medida de la flexión lumbar. Este es especialmente el caso cuando se aborda la flexión completa, debido a la ocurrencia de relajación en flexión, donde la EMG de los músculos de la espalda se vuelve silenciosa cuando los tejidos conectivos estirados generan el momento de extensión requerido (Floyd y Silver, 1955). Por lo tanto, para interpretar los efectos del dispositivo, es importante informar tanto la EMG como la flexión lumbar. Además, es importante conocer el momento real que genera el dispositivo. Lamentablemente, sin embargo, ninguno de los estudios previos informó momentos del dispositivo o reducciones de momentos para los sujetos, al usar el dispositivo.

Se encontró un efecto principal significativo de la altura para todas las variables, lo que indica que todas las variables cambiaron dependiendo de la altura de la mano. Como se esperaba, mientras que el momento generado por el sujeto mostró un efecto principal de la condición del dispositivo, pero el momento L5 / S1 total (incluido el sujeto y el dispositivo) y la inclinación del tronco no mostraron un efecto principal significativo del dispositivo y ninguna interacción significativa con la condición del dispositivo, lo que muestra que no existían diferencias importantes en la ejecución de tareas entre las condiciones del dispositivo. MLaevo_L5S1, flexión de cadera y mostraron interacciones significativas. MLaevo_L5S1 difirió significativamente entre BAJA y ALTA para todas las alturas excepto el 0%. El soporte de ALTO fue el más alto al 75% (20 Nm). Por el contrario, el soporte máximo de BAJA se produjo al 0% (23 Nm). Para BAJA y ALTA, la flexión de la cadera se redujo en comparación con SIN para alturas de manos del 50% y menos. Al 0%, la flexión de la cadera se redujo en 8 y 9 grados para BAJA y ALTA, respectivamente. Msub difirió significativamente para todas las alturas entre BAJA y ALTA en comparación con SIN. Al 50% y al 25%, BAJA fue significativamente menor en comparación con ALTO como resultado del MLaevo_L5S1 más pequeño generado en este rango de ángulo por ALTO. Al 0% de la altura de la mano, no se encontraron diferencias significativas entre BAJA y ALTA. Esto podría explicarse por el efecto del tope, presente en ambos tipos, que lleva a un aumento similar del apoyo en este rango de ángulos de flexión tanto para BAJA como para ALTA. No se encontraron diferencias significativas en la flexión lumbar entre las condiciones del dispositivo. Sorprendentemente, al 75% de la altura de la mano, la flexión de la barra ya estaba por encima de los 50 grados, que era alrededor del 80% del máximo de los participantes. Como se explicará con más detalle a continuación, esto tuvo importantes implicaciones para la actividad de los músculos lumbares de la espalda.

13. Descripción de un exoesqueleto pasivo:

En el estudio, se utilizó el exoesqueleto pasivo (Laevo, Delft, Países Bajos) como se presenta en la figura. Este exoesqueleto consta de tres tipos de almohadillas: dos almohadillas para el pecho, una almohadilla para la espalda y dos almohadillas (superiores) para las piernas. En ambos lados del cuerpo, las almohadillas se conectaron a través de un tubo circular con características de resorte



El exoesqueleto está destinado a transferir fuerzas desde la zona lumbar hacia el pecho y las almohadillas para las piernas.

12. Características del almacén de producto terminado.

Descripción de la actividad: Carga de contenedor a granel.

Esta operación la realizan 2 trabajadores dentro de un contenedor de tráiler, los cuales toman cajas de producto terminado de tarimas y son colocadas dentro del contenedor, retiran plásticos de empaques el cual cortan con cúter e inician a bajar las cajas de la tarima(6 camas) (peso por caja 10 kg) para colocarlas en el contenedor ; para llenar el contenedor cada uno de los operarios manipulan 900 cajas en un tiempo aproximado de 3hrs; cuando vacían una tarima, esta se traslada de manera manual al exterior del contenedor para su reproceso en planta. (peso de la tarima 12 kg).

11. Estudios ergonómicos realizados en 2019 en el centro de trabajo, estimación del riesgo por el levantamiento y descenso individual.

En 2019 se realizó el siguiente estudio ergonómico en el área de trabajo que se estudiará.

En esta área el trabajador debe manipular las cajas de producto terminado de 10 Kg cada una para pasarlas de las tarimas, en las cuales se almacenan, a los camiones de embarque; las peores condiciones observadas ocurren cuando las cajas se toman a nivel de piso y se apilan por arriba de la cabeza. La actividad la realizan dos personas quienes cargan en total 2 tráileres en un turno, siendo la capacidad máxima de los tráileres de 1940cajas. En la operación de descenso de la última estiba, debido a que la altura de la caja de camión es muy alta, el operador tiene que ejercer fuerza adicional y posturas forzadas en los brazos y la espalda para aventar la carga por encima de los hombros. También existen fuerzas adicionales para colocar todas las cajas en el camión ya que durante el descenso tienen que golpear algunas cajas de manera rápida y brusca con el fin de que todas embonen **correctamente**. La actividad es evaluada bajo las siguientes condiciones de temperatura 27°C, 0 m/s la velocidad del aire, 12.5 Lx de iluminación. (Gráfico 1)

Gráfico 1.



Se observa el levantamiento de cajas.



Se procede a estibarlas

Con estimación del riesgo por el levantamiento descenso individual con un valor 3 de siendo **Alto significativo**, se obtiene como conclusión una acción rápida, por lo que se deben establecer medidas de control mediante un programa de ergonomía para el manejo manual de cargas (tabla1).

Tabla1: Estimación del riesgo por el levantamiento y descenso individual.

Estimación del riesgo por el levantamiento y descenso INDIVIDUAL			VALOR	3
Factores de riesgo	Estimación del nivel de riesgo		Comentarios / Conclusiones	
	Levantamiento	Descenso		
A Peso de la carga	0	0	Manipulaciones de cargas de 10 Kg.	
B Distancia entre las manos y la parte inferior de la espalda	6	6	Alejado del cuerpo en el levantamiento y descenso	
C Región de levantamiento vertical	3	3	Levantamiento y descenso por arriba de la cabeza y a nivel del piso	
D Torsión y flexión lateral del torso	2	2	La distribución de la estación de trabajo y características de la tarea no permite que el trabajador pueda situarse de frente de la carga, por lo que ocurren torsiones amplias y constantes del tronco.	
E Restricciones posturales	1	1	Espacio reducido dentro del contenedor del camión y alcances demasiados altos para colocar las cajas en el descenso.	
F Acoplamiento mano-carga (elementos de sujeción)	1	1	No tiene asas ni asideros, pero puede sujetarse flexionando la mano 90° alrededor de la carga.	
G Superficie de trabajo	0	0	Piso seco, limpio y en buenas condiciones de mantenimiento	
H Otros factores ambientales	2	2	La actividad es evaluada bajo las siguientes condiciones de temperatura 27 °C, 0 m/s la velocidad del aire, 12.5 Lx de iluminación.	
Puntuación Total	15	15	Alto significativo	

Fuente: (MAURI, 2020)

Grafica 2. Levantamiento y descenso



Gráfico 3. Golpe rápido y brusco



De los resultados del estudio se observa que el grado de riesgo por el manejo manual de cargas en esta tarea, es un riesgo alto y se debe aplicar las siguientes recomendaciones.

Recomendaciones:

1. Modificar las condiciones ambientales para que la temperatura del aire sea menor o igual a 23 °C
2. Mejorar la iluminación local dentro del camión mientras se realizan las actividades de carga para asegurar que se mantiene un nivel mínimo de 200 Lx.
3. Implantar el uso de una plataforma de altura ajustable para que la altura de las cajas quede siempre a una altura media y evitar posturas forzadas al momento de efectuar las cargas.
4. Capacitar a los trabajadores para hacerlos conscientes de los riesgos a los que se enfrentan en la manipulación de cargas y adopción de posturas forzadas.
5. Entrenar al personal sobre la carga adecuada de objetos pesados (La faja no es equipo de protección personal).
6. Establecer un programa de vigilancia a la salud para el personal expuesto.

Definición del problema:

Los estudios ergonómicos realizados a la empresa, los cuales tienen por objetivo identificar los factores de riesgo ergonómicos que afectan la salud del trabajador, y realizar e implementar un buen diseño del sistema de trabajo para cada empleado, haciendo un lugar de trabajo seguro, eficiente y saludable para todos los que forman parte de él.

La empresa donde se realizó el estudio que es diligente al bienestar del trabajador, en proactividad, se dio a la tarea de implementar el uso de exoesqueletos para apoyar al mismo con sus actividades, ofreciendo capacitación constante a cada uno de ellos debido a que el levantamiento de cargas se considera una actividad de severidad alta, según los estudios ergonómicos aplicados.

El planteamiento del problema es analizar sí el uso de exoesqueletos disminuye la fatiga y molestias musculoesqueléticas en los trabajadores del área de logística y almacén de producto terminado, y sí con los resultados obtenidos podemos llevar a cabo la implementación en otras áreas.

La pregunta de estudio es evaluar ¿El uso de exoesqueletos en las actividades de llenado de carga de contenedores disminuye la fatiga y molestias musculoesqueléticas en los trabajadores?

Objetivos e Hipótesis:

Objetivo General	Hipótesis General
Evaluar si el uso del exoesqueleto en la tarea de llenado de contenedores disminuye fatiga y molestias lumbares.	Los trabajadores que usen exoesqueleto tendrán menos fatiga y molestias lumbares, que antes de usarlo.

Fase 1: Preintervención	
Objetivos Específicos	Hipótesis Específicos
Efectuar la exploración física y maniobras para identificar posible lesiones y molestias lumbares	Algunos trabajadores tendrán signos positivos de lesión.
Colectar información sociodemográfica del trabajador, edad, antigüedad que se asocie con la presencia de molestias lumbares.	Los datos sociodemográficos y laborales se relacionarán con las molestias lumbares.
Determinar la prevalencia de fatiga y molestias lumbares y musculoesqueléticas.	Muchos de los trabajadores tendrán resultados positivos a los cuestionarios de fatiga y las molestias lumbares y musculoesqueléticas.
Evaluar el riesgo ergonómico por manejo manual de cargas previo al uso de exoesqueletos	El nivel de riesgo por manejo manual de cargas será elevado

Fase 2: Intervención	
Objetivos Específicos	Hipótesis Específicos
Capacitar a los trabajadores en el uso de exoesqueleto.	El personal de la planta será capacitado adecuadamente para utilizar el exoesqueleto
Obtener el registro periódico del uso del exoesqueleto y molestias lumbares y musculoesqueléticas.	Los trabajadores referirán de pocas molestias su uso y la prevalencia de molestias lumbares y musculoesqueléticas. asociadas será baja.
Realizar la evaluación del riesgo ergonómico de la maniobra modificada.	El riesgo por movilización de carga será menor en la maniobra modificada debido al uso del exoesqueleto.

Fase 3: Evaluación	
Objetivos Específicos	Hipótesis Específicos
Evaluación final de la fatiga, molestias lumbares y musculoesqueléticas y riesgo ergonómico de los trabajadores que utilizaron los exoesqueletos.	El uso constante del exoesqueleto tendrá como resultado la disminución de fatiga, molestias musculoesqueléticas y riesgo ergonómico.

Metodología.

1. Población de estudio del área de interés.

La población de estudio son los trabajadores de área logística los puestos son técnicos almacenistas con un total de 7 trabajadores del área de logística donde se utiliza el exoesqueleto Laevo, se estudiará al total de trabajadores.

2. Variables del estudio.

Tipo		Definición	Operacionalización
Independiente	Uso de Exoesqueleto	Aparato portátil	Uso de exoesqueleto marca Laevo
	Riesgo ergonómico.	Causado al levantar cargas pesadas y realizar posturas forzadas.	Se evaluará con el Anexo 1 de la Nom-036-1 –STPS-2018
Dependientes	Fatiga	En el ámbito laboral, la fatiga está relacionada con la desmotivación, el aumento del absentismo y la rotación en los puestos de trabajo.	La fatiga se medirá utilizando el cuestionario Yoshitake.
	Molestias lumbares y musculoesqueléticas	Causadas en la espalda al levantar cargas pesadas y por realizar movimientos al levantar las mismas.	Se medirá utilizando el cuestionario MEST.
	Alteraciones en Columna lumbar.		Se observará el reporte de la resonancia.
Confusión	Antigüedad en puesto	Tiempo por el cual se ha realizado la actividad en posturas forzadas.	Se obtendrá datos por medio del cuestionario.

3. Instrumentos.

- Exploración física.

La columna vertebral es una estructura formada por vertebras unidas a través de un complejo de articulaciones, presentando una estabilidad mecánica de altísimo desarrollo tanto de estructuras neuromusculares dinámicas, como del sistema de control. Cumpliendo tres funciones biomecánicas fundamentales. (Voegeli, 2001).

1. Soporta la mitad superior del cuerpo (tronco- cabeza). Lo que representa el 60% del peso total, que gravita sobre ella en posición erecta.
2. Posee una flexibilidad que permite los movimientos del tronco en los tres planos, permitiendo no solo la marcha, sino el alcance y la carga de objetos.
3. Por último, la más importante, protege las delicadas estructuras nerviosas medulares y radicales. Se realizó historia clínica detallada más exploración física que incluyó:

Inspección de la columna. Se busca la comprobación de la alineación normal: Alineación sagital típica: lordosis en la columna cervical, cifosis en la columna torácica, Lordosis en la columna lumbar y cifosis en la región sacrococcígea. El paciente debe explorarse de frente y por detrás para buscar asimetrías de las estructuras corporales.

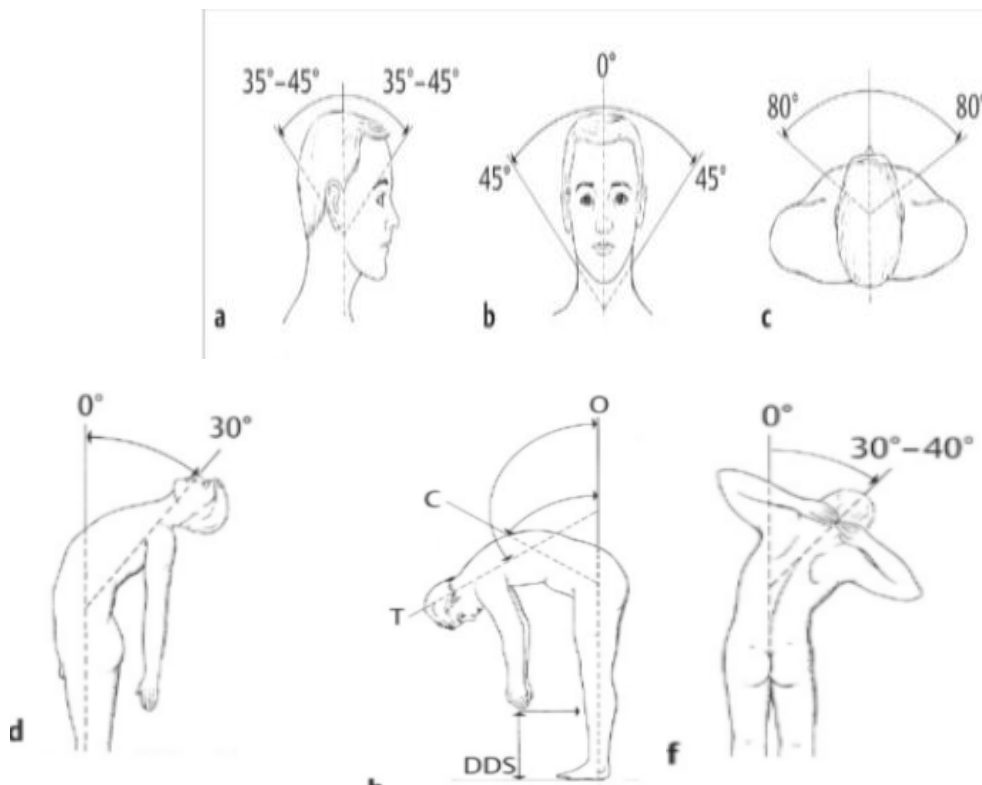
La marcha, es un término empleado para referirse a la forma de caminar que posea un paciente, la marcha normal o “deambulación” de un individuo es de forma activa, demostrando un control y coordinación en los movimientos ejecutados, por lo que puede percibirse una armonía en el caminar de dicha persona. La persona se desplaza de acuerdo con su voluntad, siguiendo las trayectorias que decida. Es normal que presente algún grado de braceo, para que no se desvíe en forma involuntaria del trayecto que desea seguir, que el punto de gravedad del cuerpo esté centrado sobre su base de sustentación o ligeramente adelante, que los pasos sean de un tamaño parecido.

Para evaluar la marcha del paciente se realizó observación, donde se debe determinar con precisión todos los movimientos que da al paciente para determinar cuál será la falla que se está presentado.

Se le indica al trabajador que camine por una línea recta y que por esa misma ruta regrese a su punto inicial, este ejercicio debe hacerlo el número de veces que sea necesario para que el médico tratante logre determinar cuál es la lesión existente.

-Arcos de movimiento. La evaluación del rango de movilidad de la columna lumbar, se le pide al paciente que se flexione hacia adelante sin doblar las rodillas, en este movimiento se observa la columna al inicio cóncava posteriormente se vuelve convexa, situación normal. La evaluación se realiza cuando se pide al paciente que se coloque en posición neutral, se indica que realice inclinación lateral derecha seguida de inclinación lateral izquierda.

Evaluar la movilidad de la columna; en flexo extensión nos indicará si existe algún segmento vertebral bloqueado por una contractura. Las flexiones laterales nos mostrarán asimetrías con interrupción de la curva normal. (M.Segui Diaz, 2002).



-Prueba de distancia de dedos-suelo DDS.

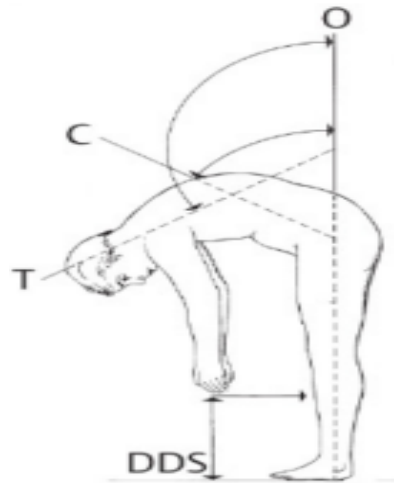
Medida de la movilidad en flexión de la columna en su conjunto (DDS en cm).

El paciente se encuentra en bipedestación o bien se sienta sobre la camilla de exploración. Con las rodillas extendidas debe inclinarse hacia adelante con los brazos/manos extendidos e intentar alcanzar con ambas manos y al mismo tiempo los pies. Se mide la distancia entre las puntas de los dedos y el suelo o se describe hasta qué altura llegan los dedos (rodilla, parte media de la tibia) Fig. e (Buckuup & Hoffmann, 2019).

Esta prueba consiste en un movimiento combinado en el que, tanto la columna vertebral como la articulación de la cadera tienen un papel importante. La fácil movilidad de la articulación coxofemoral puede compensar rigideces de la columna vertebral. Paralelamente a la medida de la distancia, es necesario valorar el perfil de la flexión de la columna vertebral (cifosis armónica y cifosis fija). La observación de una gran distancia entre las puntas de los dedos y el suelo constituye un signo inespecífico que depende de los siguientes elementos:

- Movilidad de la columna vertebral lumbar.
- Acortamiento de la musculatura isquiorral.
- Presencia del signo de Laségue.
- Funcionalidad de la cadera.

La distancia entre las puntas de los dedos el suelo adquiere significación clínica en el control del efecto terapéutico.

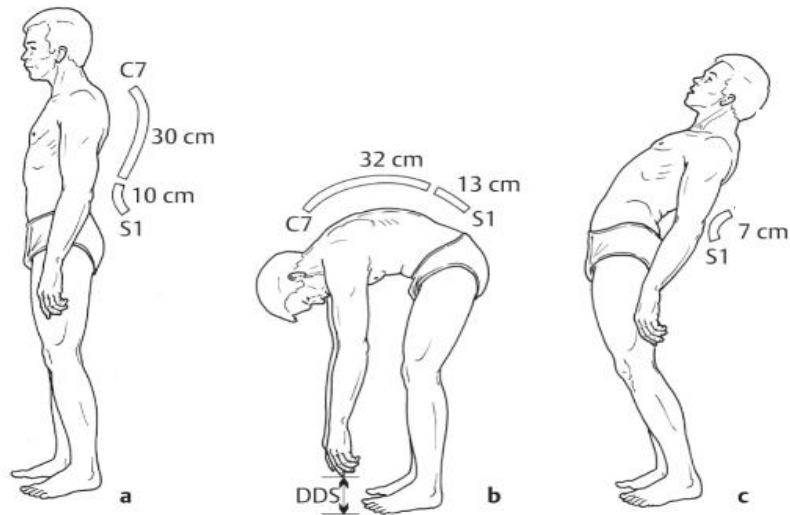


- Signo Schober.

Medida de la flexibilidad de la columna vertebral lumbar.

El paciente se coloca en bipedestación. Se marcan dos zonas sobre la piel, una a nivel de la apófisis espinosa de S1 y otra 10cm craneal a la anterior. En la flexión, estas marcas cutáneas se separan hasta unos 15cm, mientras que, en extensión (reclinación) máxima descende la distancia hasta 7-9cm.

Las alteraciones de tipo degenerativo inflamatorias de la columna vertebral limitan la movilidad de esta y reducen la flexibilidad de las apófisis espinosas. (Buckuup & Hoffmann, 2019).



- Signo de psoas.

Detecta la presencia de dolor lumbar.

El paciente se encuentra en decúbito supino y levanta una pierna. El clínico efectúa a continuación una presión inesperadamente sobre la zona anterior del muslo.

Tras la presión inesperada sobre la parte distal del muslo aparece una contracción refleja del músculo psoasiliaco junto a la tracción de las apófisis transversas de las vértebras lumbares. Puede aparecer dolor en las alteraciones de la columna vertebral lumbar (espondiloartrosis, espondilitis o hernia distal) o de la articulación sacroilíaca.

Fig. 1.36 Signo del psoas.



-Test Lassegue caída de la pierna.

Detecta la presencia de dolor lumbar.

El paciente se encuentra en decúbito supino. Se efectúa la maniobra de Laségue hasta que aparezca dolor. Desde esta posición el clínico suelta la pierna del enfermo dejándola caer, de forma que retorna a la posición inicial.

Dejar de sujetar la pierna de manera repentina e inesperada, provocando una contracción refleja de la musculatura dorsal glútea. En primer lugar se produce una contracción del músculo psoasiliaco con tracción de las apófisis espinosas de las vértebras lumbares. El dolor indica trastornos de la columna vertebral lumbar (espondiloartrosis, espondilitis o hernia discal) o de las articulaciones sacroilíacas (signo del psoas). Es necesario efectuar el diagnóstico diferencial de un dolor visceral (p. ej. causado por una apendicitis), dado que en esta prueba puede aumentar de intensidad de manera considerable.



Métodos ergonómicos.

- Anexo 1 de la NOM 036-1 STPS 2018
- Cuestionario ERGO-EST.

Cuestionarios.

- Cuestionario Latino-Anamnésico. CITA Daniela Colombini, Olga Menoni, Natale Battevi, Enrico Occhipinti, Mirko Pezoa Villanueva, Aquiles Hernandez, et al. Latin Questionnaire: a threshold strategy for anamnestic screening of occupational musculoskeletal disorders through specific reference groups. *Rev Bras Med Trab.*2022;20(2) DOI:10.47626/1679-4435-2022-982:328-339
- Cuestionario fatiga de Yoshitake CITA Yoshitake H. (1978). Three characteristic patterns of subjective fatigue symptoms. *Ergonomics*, 21(3), 231- 239. doi: 10.1080/00140137808931718
- Inventario tridimensional de fatiga CITA Frone, M. R., & Tidwell, M.-C. O. (2015). *The meaning and measurement of work fatigue: Development and evaluation of the Three-Dimensional Work Fatigue Inventory (3D-WFI)*. *Journal of Occupational Health Psychology*, 20(3), 273–288. doi:10.1037/a0038700
- Cuestionario MEST-UNAM Tovalín H y Rodríguez M (2023) En prensa.
- Cuestionario de seguimiento: elaboración propia

Procedimientos.

Fase 1. Se identifica el área y puesto de mayor severidad con actividad de manipulación de carga, se realiza una exploración física de cada trabajador realizando medición de peso y talla, para obtener índice de masa corporal, se realiza interrogatorio preliminar a través de una historia clínica, así como aplicación de maniobra para identificar posibles lesiones.

Fase 2. La prueba se realizó con personal de Almacén(logística), en la actividad de carga a granel en contenedor (Transportes). Se capacito previamente a los trabajadores de Almacén en el uso del exoesqueleto. El periodo de adaptación se estableció en 8 días naturales, iniciando con tiempos de 1 hora el primer día y posteriormente incrementando hora por día, en la tabla siguiente se muestra:

1er día	2do día	3er día	4to día	5to día	6to día	7mo día	8vo día
1 hora	2 horas	3 horas	4 horas	5 horas	6 horas	7 horas	8 horas

Posterior a este periodo los trabajadores empezaron a usar el exoesqueleto de manera continua cuando realizan carga a granel en contenedor.

Se realizó el registro progresivo del uso de exoesqueleto de cada trabajador, asimismo se les cuestionaba durante toda la actividad el desarrollo en el uso del exoesqueleto. Las preguntas específicas para cada trabajador eran las siguientes:

¿Cómo se sienten?

¿Tiene alguna molestia antes de iniciar su actividad?

¿Tiene alguna molestia al finalizar la actividad?

Fase 3.

Análisis de la información.

Se realizó la evaluación final de fatiga a cada uno de los trabajadores que estuvieron en la prueba.

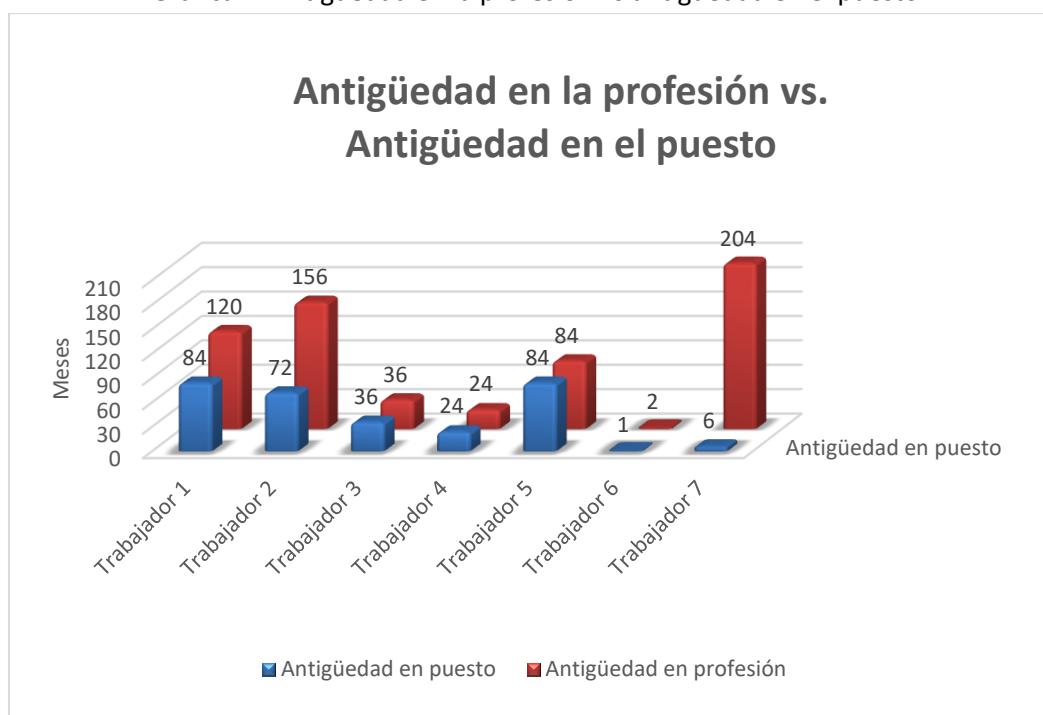
Resultados

1. Características de los trabajadores

El estudio se realizó en 7 trabajadores, cuyas edades oscilan entre los 19 y 40 años, de sexo masculino en el departamento de logística, los cuales ejercen el puesto de técnico almacenista.

Como datos relevantes podemos observar que la antigüedad máxima en el puesto actual es de 7 años (84 meses) sin embargo, la antigüedad en la misma profesión puede ser de hasta 17 años.

Grafica 1. Antigüedad en la profesión vs antigüedad en el puesto



La mayoría de los trabajadores se han desempeñado en el mismo puesto, solo un trabajador tiene antecedentes de puesto de operador de empaque.

La jornada laboral es 48 horas a la semana y aunque algunos realizan hasta 72 horas de trabajo, se puede comentar que en la actividad física la mayoría tiene un estilo de vida sedentario (Tabla 1).

Tabla 1. Características de los participantes

Trabajador	Puestos previos	No. horas semanales	Turno habitual	Actividad física
1	Ninguno	72	Diario	Ninguna u ocasional
2	Ninguno	60	Diario	Ninguna u ocasional
3	Op. empaque	48	Diario	Regular
4	Ninguno	72	Diario	Ninguna u ocasional
5	Ninguno	48	Diario	Ninguna u ocasional
6	Ninguno	48	Diario	Ninguna u ocasional
7	Ninguno	48	Diario	Ninguna u ocasional

Fuente: Cuestionario sociodemográfico

2. Resultados del estudio de salud.

A continuación, se muestran los siguientes resultados obtenidos durante el estudio en los trabajadores.

2.1 Características de la población estudiada

Durante la exploración física las pruebas que se incluyeron fueron: marcha, arcos de movilidad, prueba de distancia de dedos, test de Schober y test Laségue. (Tabla 2.)

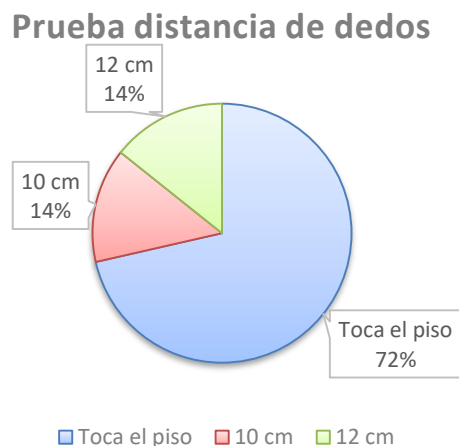
Tabla 2. Exploración física de cada trabajador monitoreado

Trabajador	Marcha	Arcos de movilidad	Prueba de distancia de dedos	Test de Schober +	Test Lassague
1	Normal	Normales	12 cm	Negativo	Negativo
2	Normal	Normales	Toca el piso	Negativo	Negativo
3	Normal	Normales	Toca el piso	Negativo	Negativo
4	Normal	Normales	Toca el piso	Negativo	Negativo
5	Normal	Normales	Toca el piso	Negativo	Negativo
6	Normal	Normales	Toca el piso	Negativo	Negativo
7	Normal	Normales	10cm	Negativo	Negativo

Fuente: Historial clínico

Se encontró en la prueba de distancia de los dedos, que el 71% lograron tocar el piso, el 29 % restante no alcanzaron a tocar el piso, con distancia de 12 cm y 10 cm respectivamente, esto se llega a atribuir al acortamiento marcado de los músculos isquiotibiales y a una mezcla de factores genéticos, escasa actividad física y sedestación prolongada.

Grafica 2. Prueba distancia de dedos



2.2 Molestias lumbares y datos de resonancia magnética

Del personal en estudio dos de ellos **presentó** trastornos en los últimos meses como: molestias, sensación de pesantez o dolor (pueden ser por lo menos 2 episodios al mes o 1 cada 90 días), dichas molestias no requirieron ausencias en el trabajo. (Tabla 4). En estos dos trabajadores coinciden la presencia de molestias y la presencia de hernia discal y discopatía degenerativa detectada por resonancia.

Tabla 4. Patologías preexistentes y presencia de síntomas en columna lumbar previas al estudio

Trabajador	Molestias, dolor último año	Episodios lumbalgia aguda último año	Ausencia al trabajo	Dx. Hernia Resonancia magnética	Discopatía degenerativa Resonancia magnética
1	NO	NO	NO	Anormal	Normal
2	SI	NO	NO	Anormal	Normal
3	NO	NO	NO	Normal	Normal
4	SI	NO	NO	Anormal	Anormal
5	NO	NO	NO	Normal	Anormal
6	NO	NO	NO	Normal	Normal
7	NO	NO	NO	Normal	Normal

Fuente: Cuestionario anamnésico

Al personal en estudio se le realiza resonancia magnética de la columna lumbrosacra de forma anual como parte de programa de vigilancia a la salud, a continuación, se menciona los hallazgos encontrados en dichos estudios como protrusiones, discopatias, curvaturas anormales en la siguiente Tabla 5.

Analizando los datos, se ha determinado la relación del personal en estudio con la presencia de hallazgos en una resonancia magnética y la antigüedad en el puesto con mayor antigüedad, presencia de lesiones más significativas, así como la presencia del estado nutricional con sobrepeso y obesidad; es importante mencionar que aquellos que no tuvieron hallazgos fueron los trabajadores con un máximo de 2 meses de antigüedad. (Tabla 5)

Tabla 5. Estudio de Resonancia magnética previa al uso de exoesqueleto

Trabajador	Antigüedad puesto	2019	2018	2017
1	10 años/ Obesidad 2 inicial	Protrusión de disco L5-S1	Protrusiones centrales L4-/ L5 y L5/S1 Cambios degenerativos hidro discal Dextro escoliosis	Degeneración discal L4/L5 yL5/S1
2	13años/ Sobrepeso	Protrusiones discales L2-L3 y L5S1 Hernia de disco invertido L2-L3 y L5S1	Discopatía protusiva L2- L3, L5S1, sin radiculopatía. Rectificación de la lordosis con Dextro escoliosis	Sin hallazgos
3	3años/ Normal	Protrusiones con radiculopatía izq. Proceso degenerativo corporal Rectificación de lordosis, levo escoliosis	Protrusiones centrales L4/L5 y L5/S1 Degenerativo a nivel hídrico discal L4/L5 y L5/S1 Lordosis con dextroescoliosis	Sin hallazgos
4	2años/ Sobrepeso	Hernia de disco medial L4L5 con compresión radicular derecha	N/A	N/A
5	7 años/ Obesidad	Cambios degenerativos mínimos	N/A	Protrusión central del nivel L5/S1 Discopatía degenerativa L5/S1 Rectificación de la lordosis
6	2 meses/ Sobrepeso	Sin datos patológicos	N/A	N/A
7	6 meses/ Sobrepeso	Cambios degenerativos mínimos	N/A	N/A

Fuente: Historial clínico

Como se puede observar en la tabla 6, las molestias encontradas son: el 43% presentaron molestias hace 10 meses o más y el 14% presentaron molestias hace 7 a 9 meses; las molestias a las que refirieron oscilaron en menos de 7 días de duración, ningún trabajador en estudio requirió cambiar de puesto o se les impidió hacer su trabajo y no requirieron tratamiento. La intensidad de las molestias que presentaron se considera como Molestias Leves en el grupo de trabajadores que se estudió.

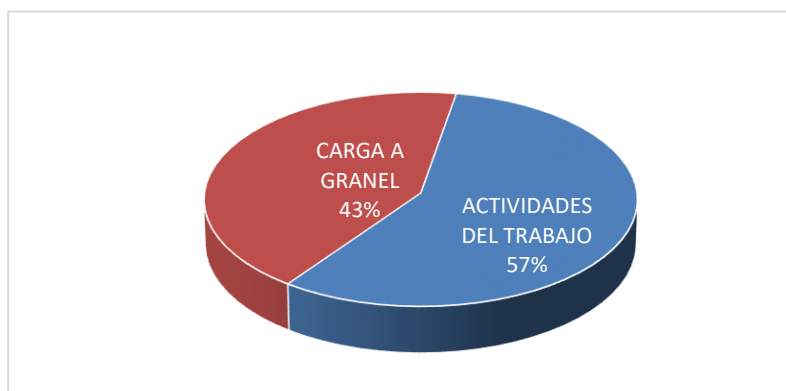
Tabla 6. Presencia de molestias, intensidad y causa

Trabajador	¿Hace cuánto se han presentado estas molestias?	¿Ha necesitado cambiar de puesto de trabajo a causa de estas molestias?	¿Cuánto tiempo le han durado estas molestias en los últimos 3 meses?	Por cuanto tiempo estas molestias le han impedido o limitado hacer su trabajo en los últimos 3 meses	Ha recibido tx en los últimos 3 meses	Califica la intensidad de sus molestias de músculos y articulaciones en los últimos 7 días
1	+10 meses	NO	1-7 días	0 días	NO	Molestias leves
2	+10 meses	NO	1-7 días	0 días	NO	Molestias leves
3	7-9 meses	NO	1-7 días	0 días	NO	Molestias leves
4	-1mes	NO	1-7 días	0 días	NO	Molestias leves
5	+10 meses	NO	1-7 días	0 días	NO	Molestias leves
6	-1mes	NO	1-7 días	0 días	NO	Molestias leves
7	2-3 meses	NO	1-7 días	0 días	NO	Molestias leves

Fuente: Cuestionario MEST-UNAM

En la siguiente tabla se puede observar las diferentes causas que originaron molestias leves que presentó el grupo en estudio, donde destacan el 57% derivado de las actividades del trabajo, el 43% se le atribuyeron a la carga a granel (Grafica 4)

Grafica 4. Reporte de las principales actividades que les causan molestias leves.

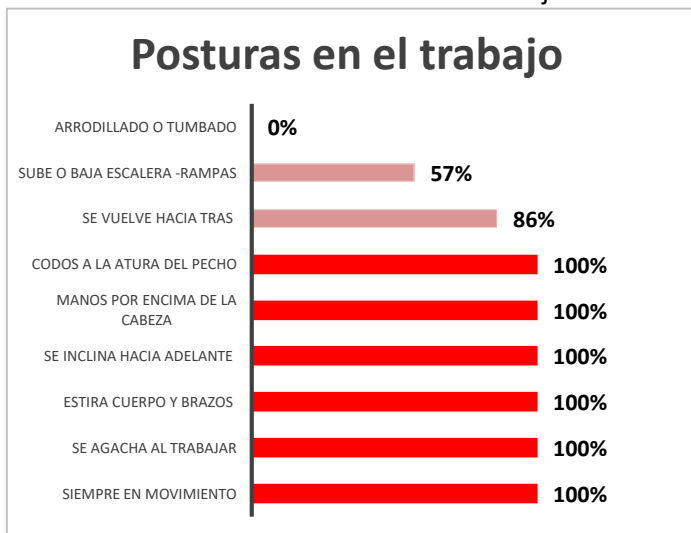


3. Reporte de condiciones no-ergonómicas

Se analizaron las posturas de trabajadores en la actividad de carga a granel (Grafica5), encontrando que las principales posturas y la persistencia de éstas durante la actividad, que implica subir o bajar escaleras o rampas, se vuelve hacia atrás, codos a la altura del pecho, manos por encima de la cabeza, se inclina hacia adelante, estira cuerpo y brazos, se agacha al trabajar, siempre en movimiento, notando que las posturas que presenta un alto índice de impacto dan como resultado el 100%.

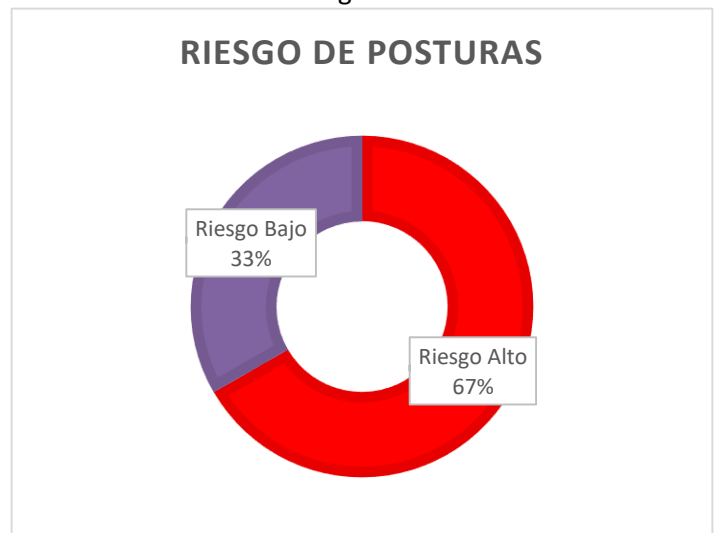
Se observa en la gráfica 6 el índice de riesgo alto que presenta la postura reflejando un resultado del 67%

Grafica 5. Posturas en el trabajo



Fuente: Cuestionario ERGO-EST

Grafica 6. Riesgo de Posturas

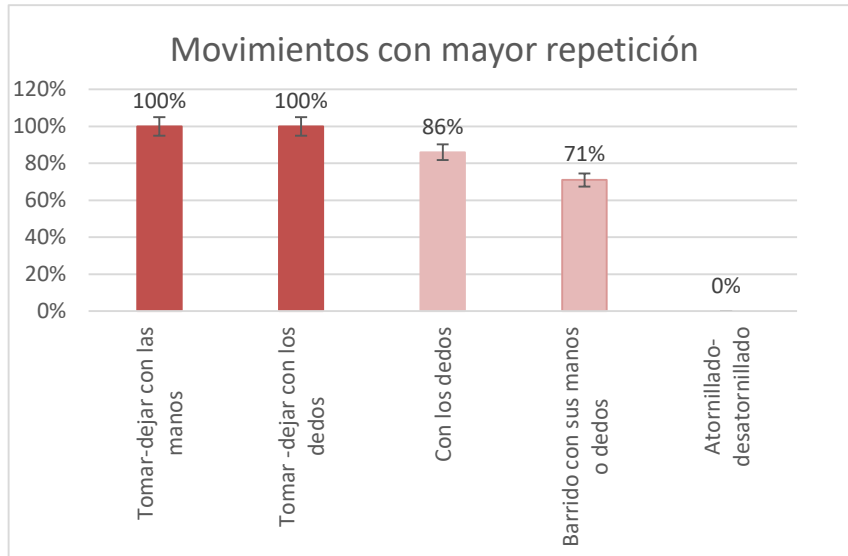


Fuente: Cuestionario ERGO-EST

De acuerdo con los movimientos repetitivos se analizó que el impacto mayor es por el movimiento de tomar y dejar en manos y dedos, que se corrobora con la actividad realizada de manipulación de cargas

De acuerdo con la gráfica 7 todos los trabajadores realizan un alto índice de movimientos repetitivos presentando el 100% en 2 de los 5 movimientos analizados que es tomar-dejar con las manos y con los dedos

Grafica 7. Movimientos repetitivos



De acuerdo con la calificación de riesgo de los movimientos repetitivos que se analizó es Alta en la actividad realizada de manipulación de cargas (Grafica 7).

Como se indica en la siguiente tabla 6. el riesgo es alto en los trabajadores en estudio del 71 % y solo el 29% un riesgo bajo en los movimientos repetitivos. (Grafica 8)

Grafica 8. Calificación de movimientos repetitivos

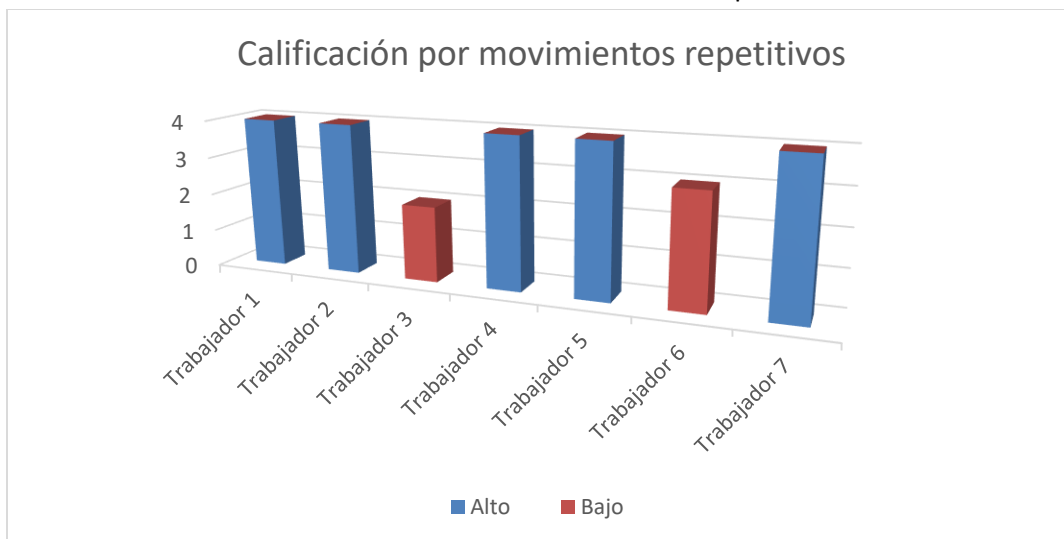


Tabla 8. Indica el tipo de manipulación presente en la actividad, mueve o levanta objetos/cargas, transporta objetos/cargas, realiza fuerza, sostiene carga u objetos con las manos o con los dedos.

Tabla 8. Manipulación de cargas

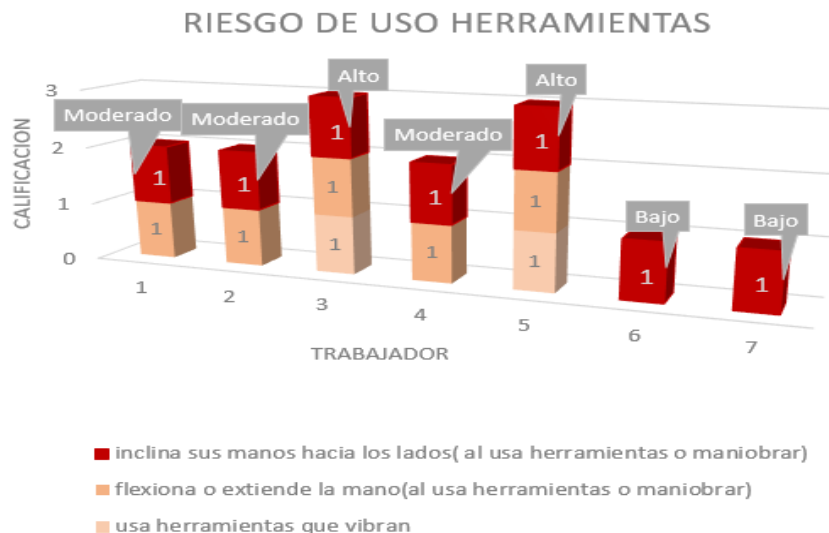
trabajador	Mueve o levante objetos/cargas	Transporta de objetos/cargas	Realiza fuerza	Sostiene carga u objetos con las manos	Sostiene cargas u objetos con los dedos
1	SI	SI	SI	SI	SI
2	SI	SI	SI	SI	SI
3	SI	SI	SI	SI	SI
4	SI	SI	SI	SI	SI
5	SI	SI	SI	SI	SI
6	SI	SI	SI	SI	SI
7	SI	SI	SI	SI	SI

Fuente: Cuestionario ERGO-EST

En cuanto al análisis que se realizó sobre la manipulación de cargas se puede observar que el 100 % de la población en estudio tiene un índice de riesgo alto.

Se analizó el uso de herramientas encontrando que los trabajadores no usan herramientas que vibran, flexionan o extiende las manos al usar herramientas y maniobrar, inclinan sus manos hacia los lados al usar herramientas. El uso de herramientas durante la actividad de manipulación de cargas tiene una calificación riesgo de predominio mayormente moderado. Grafica10

Grafica 10. Calificación de riesgo del uso de herramientas manuales



4. Análisis ergonómico de la tarea antes y después del uso de exoesqueletos (NOM 036-1 STPS 2018, Anexo 1)

La actividad de llenado y manipulación de cargas a granel en contenedores no sufrió ninguna alteración y siguió su patrón habitual, así como el riesgo que esta implica al momento de ser efectuada. Dada la naturaleza se debe ver la posibilidad de que otro equipo reduzca o impida a los trabajadores cargar manualmente las cajas sin afectar el resultado que se ha mantenido.

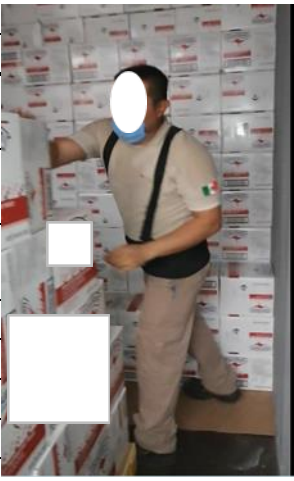
Sin embargo, se observó un impacto positivo al utilizar el exoesqueleto durante la actividad disminuyendo la percepción de fatiga. El exoesqueleto no tiene el propósito de cambiar la naturaleza de dicha actividad sino de ayudar en la disminución de las molestias musculoesqueléticas y esfuerzo percibido a lo largo de la actividad.

Se realizó un muestro en tres trabajadores diferentes para observar el riesgo que conlleva la actividad de llenado y manipulación de cargas a granel en contenedores utilizando la NOM-036-1 –STPS-2018; se realizaron dos actividades, una se realizó sin exoesqueleto y otra con exoesqueleto.

Durante la actividad de llenado y manipulación de cargas a granel en contenedores que se realizó sin exoesqueleto se observaron los siguientes factores críticos son: FRECUENCIA, DISTANCIA HORIZONTAL, DISTANCIA VERTICAL los cuales indican un riesgo con resultados: ALTO - SIGNIFICATIVO que van de color ROJO señalados en la Nom-036-1 –STPS-2018. También se observó que el movimiento de TORSIÓN Y FLEXIÓN LATERAL en algunos trabajadores cambia de color ANARANJADO A ROJO.

Tabla10.

Trabajador 1. Evaluación de riesgo inicial **sin** exoesqueleto

Sin exoesqueleto			
Trabajador 1	Factores	Inicio	Final
	Peso kg	10	10
	Frec Lev/3seg0 1	4.0	4.0
	Distacia Horizontal	3.0	6.0
	Distancia vertical	3.0	3.0
	Rota	1.0	2.0
	Obstaculos	1.0	1.0
	Agarre	1.0	1.0
	Piso	0.0	0.0
	F Amb.	1.0	1.0
	Puntuación	14.0	18.0
	Nivel de riesgo	Alto a significativo	Alto a significativo
	levan minuto	20	
	lev hora	1200	
	lev/seg	0.333	
	1 Lev tiempo	3	
	* rotacion 12 de 20 lev equivale al 60%		

seg

Tabla10.Trabajador 2. Evaluación de riesgo inicial **sin** exoesqueleto

Sin exoesqueleto			
Trabajador 2	Factores	Inicio	Final
	Peso kg	10	10
	Frec. 1 Lev/3seg0	4.0	4.0
	Distancia Horizontal	3.0	6.0
	Distancia vertical	3.0	3.0
	Rota	1.0	1.0
	Obstáculos	1.0	1.0
	Agarre	1.0	1.0
	Piso	0.0	0.0
	F Amb.	1.0	1.0
	Puntuación	14.0	17.0
	Nivel de riesgo	Alto a significativo	Alto a significativo
	Lev/minuto	19	
	Lev/hora	1140	
	lev/seg	0.317	
	1 Lev tiempo	3 seg	
	* Rotación 14 de 10 Lev. equivale al 73.68%		

Tabla10.

Trabajador 3. Evaluación de riesgo inicial **sin** exoesqueleto


Sin exoesqueleto			
Trabajador 3	Factores	Inicio	Final
	Peso kg	10	10
	Frec 1 Lev/3seg0	4.0	4.0
	Distacia Horizontal	3.0	6.0
	Distancia vertical	2.0	3.0
	Rota	1.0	2.0
	Obstaculos	1.0	1.0
	Agarre	1.0	1.0
	Piso	0.0	0.0
	F Amb.	1.0	1.0
	Puntuación	13.0	18.0
	Nivel de riesgo	Alto a significativo	Alto a significativo
	levan minuto	21	
	levan hora	1260	
	lev/seg	0.35	
	1 Lev tiempo	3 seg	
* rotación 11 de 21 lev equivale al 55%			

Tabla. Promedio final de evaluación del nivel de riesgo en trabajadores **sin** exoesqueleto

Factores	Promedio	Calificación
Frec 1 Lev/3seg0	24	4
Distacia Horizontal	27.0	4.5
Distancia vertical	16.0	2.67
Rota	9.0	1.5
Obstaculos	6.0	1
Agarre	6.0	1
Piso	0.0	0
F Amb.	6.0	1
Puntuación	94.0	15.6666667
Nivel de riesgo		Alto a significativo

De la misma manera se realizó la observación de la actividad de llenado y manipulación de cargas a granel en contenedores con el exoesqueleto y se observaron los siguientes factores de riesgo con resultados con puntaje ALTO – SIGNIFICATIVO en los mismos movimientos: FRECUENCIA, DISTANCIA HORIZANOTAL, DISTANCIA VERTICAL. También se observó que el movimiento de TORSIÓN Y FLEXIÓN LATERAL en algunos trabajadores cambia de color ANARANJADO A ROJO.

Tabla 11. Trabajador 1. Evaluación de riesgo **con** exoesqueleto


Con exoesqueleto			
Trabajador 1	Factores	Inicio	Final
	Peso kg	10	10
	Frec1 Lev/3seg0	4.0	4.0
	Distacia Horizontal	3.0	6.0
	Distancia vertical	3.0	3.0
	Rota	1.0	2.0
	Obstaculos	1.0	1.0
	Agarre	1.0	1.0
	Piso	0.0	0.0
	F Amb.	1.0	1.0
	Puntuación	14.0	18.0
	Nivel de riesgo	Alto a significativo	Alto a significativo
	levan minuto	18	
	lev hora	1080	
	lev/seg	0.3	
	1 Lev tiempo	3.33seg	
* rotación 12 de 18 lev equivale al 33.3%			

Tabla 11. Trabajador 2. Evaluación de riesgo **con** exoesqueleto

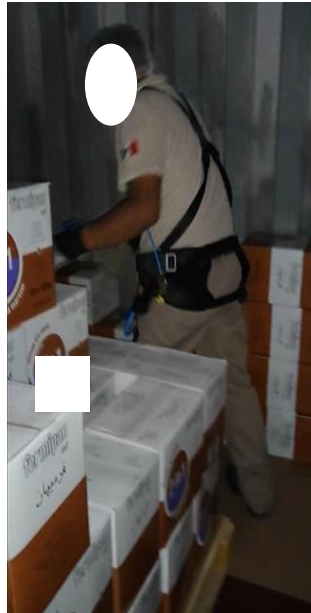
Con exoesqueleto			
Trabajador 2	Factores	Inicio	Final
	Peso kg	10	10
	Frec1 Lev/3seg0	4.0	4.0
	Distacia Horizontal	3.0	6.0
	Distancia vertical	1.0	3.0
	Rota	2.0	2.0
	Obstaculos	1.0	1.0
	Agarre	1.0	1.0
	Piso	0.0	0.0
	F Amb.	1.0	1.0
	Puntuación	13.0	18.0
	Nivel de riesgo	Alto a significativo	Alto a significativo
	levan minuto	24	
	lev hora	1440	
	lev/seg	0.4	
	1 Lev tiempo	2.5seg	
* rotación 12 de 24 lev equivale al 50%			

Tabla 11. Trabajador 3. Evaluación de riesgo **con** exoesqueleto


Con exoesqueleto			
Trabajador 3	Factores	Inicio	Final
	Peso kg	10	10
	Frec1 Lev/3seg0	4.0	4.0
	Distacia Horizontal	3.0	6.0
	Distancia vertical	3.0	3.0
	Rota	2.0	2.0
	Obstaculos	1.0	1.0
	Agarre	1.0	1.0
	Piso	0.0	0.0
	F Amb.	1.0	1.0
	Puntuación	15.0	18.0
	Nivel de riesgo	Alto a significativo	Alto a significativo
	levan minuto	24	
	lev hora	1440	
	lev/seg	0.4	
	1 Lev tiempo	2.5seg	
* rotación 18 de 24 lev equivale al 75%			

Tabla. Promedio final de evaluación del nivel de riesgo en trabajadores **con** exoesqueleto

Factores	Promedio	Calificación
Frec 1 Lev/3seg0	24	4
Distacia Horizontal	27.0	4.5
Distancia vertical	16.0	2.7
Rota	11.0	1.8
Obstáculos	6.0	1.0
Agarre	6.0	1.0
Piso	0.0	0.0
F Amb.	6.0	1.0
Puntuación	94.0	15.6666667
Nivel de riesgo		Alto a significativo

La estimación del nivel de riesgo nos indica que la actividad de llenado y manipulación de cargas a granel en contenedores no sufrió ningún cambio y el nivel de riesgo tampoco tuvo ningún tipo de cambio. Se observó que el exoesqueleto no modificó la forma de desempeñar las funciones al momento de realizar la actividad, por lo que es importante implementar los controles técnicos recomendados. Pero los trabajadores argumentaron que la sensación de fatiga y molestias musculoesqueléticas disminuyó de manera considerable.

Al no modificarse el espacio de trabajo y alturas de toma y depósito de las cargas, no se observan cambios en los factores que evalúa método MAC por el momento no se han podido realizar el trabajo con menor riesgo.

Se realizó la evaluación con exoesqueleto se observa un patrón semejante al de las diferentes condiciones de levantamiento a cuando no se utilizaba el exoesqueleto, esto explica, como se había mencionado, que no hubo cambios en la forma de realizar la tarea, sin embargo, la fatiga y la variación de presencia de molestias cambio de forma positiva.

Sin embargo, no puede descartarse otro tipo de trastornos musculoesqueléticos que presentes estos trabajadores en el futuro al seguirse presentando factores de riesgo en su tarea.

5. Grado de esfuerzo físico percibido

Se realizó el análisis a los trabajadores sobre el grado de esfuerzo percibido durante la actividad de manipulación de cargas obteniéndose el siguiente resultado al inicio y al final del periodo de monitoreo. (Tabla10) (Grafica 11).

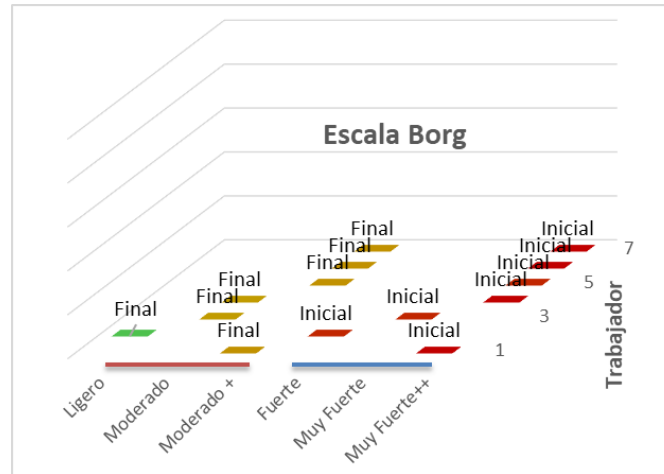
Tabla 10. Grado de esfuerzo percibido al inicio y al final del periodo de monitoreo

Trabajador	Calif_ Borg_ Inicial	Calif-Borg_ Final
1	Muy Fuerte++	Moderado +
2	Fuerte	Ligero
3	Muy Fuerte	Moderado
4	Muy Fuerte++	Moderado
5	Muy Fuerte++	Moderado +
6	Muy Fuerte++	Moderado +
7	Muy Fuerte++	Moderado +

Fuente: Escala de Borg

En todos los trabajadores se reportó una disminución de la percepción del esfuerzo al final del periodo de estudio.

Grafica 11. Grado de esfuerzo percibido al inicio y al final del periodo de monitoreo.



6. Seguimiento de molestias durante la primera semana de evaluación y periodo de adaptación con el exoesqueleto.

En la tabla 11, se presentan molestias al iniciar la actividad indicando que el 71.42% de los trabajadores no presentan molestias a partir del 5to día del periodo de adaptación, el 28.57% de los trabajadores mantienen molestias al finalizar la jornada.

Tabla 11. ¿Presenta alguna molestia al Iniciar-y finalizar la actividad?

Trabajador	Jornada	1er Día	2do Día	3er Día	4to Día	5to Día	6to Día	7mo Día	8vo Día
1	Inicio	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
	Final	SI	SI	SI	NO	NO	NO	NO	NO
2	Inicio	SI	SI	SI	SI	NO	NO	NO	NO
	Final	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
3	Inicio	SI	SI	SI	NO	NO	NO	NO	NO
	Final	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
4	Inicio	SI	SI	SI	SI	NO	NO	NO	NO
	Final	SI	SI	NO	NO	NO	NO	NO	NO
5	Inicio	SI	SI	SI	NO	NO	NO	NO	NO
	Final	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
6	Inicio	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
	Final	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
7	Inicio	SI	SI	SI	NO	NO	NO	NO	NO
	Final	SI	SI	SI	NO	NO	NO	NO	NO

Tabla 12. ¿Tipos de molestias al Iniciar la actividad?

Trabajador	1er Día	2do Día	3er Día	4to Día	5to Día	6to Día	7mo Día	8vo Día
1	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Ninguna
2	Incomodidad por falta de costumbre	Incomodidad por falta de costumbre	Incomodidad por falta de costumbre	Incomodidad por falta de costumbre	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Ninguna
3	Incomodidad por colocación de exoesqueleto/Fatiga muscular en brazo/pecho	Incomodidad por colocación de exoesqueleto/Fatiga muscular en brazo/pecho	Fatiga muscular en brazos /pecho	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Ninguna
4	NO, solo incomodidad por adaptación	NO, mínima incomodidad por adaptación	ya no siente tanta incomodidad	pienso que voy a golpear el exoesqueleto con el contenedor	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Ninguna
5	Incomodidad por espacio reducido	Incomodidad por espacio reducido	Incomodidad por espacio reducido	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Ninguna
6	Ninguna	Ninguna	Ninguna leve	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Ninguna
7	Incomodidad en pecho leve	leve incomodidad, se baja en la cadera	incomodidad, se baja en la cadera	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Ninguna

Tabla 13. ¿Tipos de molestias alguna molestia al Finalizar actividad?

Trabajador	1er Día	2do Día	3er Día	4to Día	5to Día	6to Día	7mo Día	8vo Día
1	Dolor leve pecho/entre piernas	Dolor leve pecho/entre piernas	Dolor leve pecho/entre piernas	Mejoró al ajuste	Mejoró al ajuste	Mejoró al ajuste	Mejoró al ajuste	Mejoró al ajuste
2	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Ninguna
3	Más relajado der la espalda	Más relajado der la espalda	Más relajado der la espalda	Más relajado der la espalda	Más relajado der la espalda	Más relajado der la espalda	Más relajado der la espalda	Más relajado der la espalda
4	Molestia en brazos, incomodidad en el pecho	solo sensación de golpear el exoesqueleto por espacio reducido	mejoro por el uso	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Ninguna
5	Presión de pecho por exoesqueleto, Envaramiento en área de muslo en contacto con equipo	Presión de pecho por exoesqueleto, Envaramiento en área de muslo en contacto con equipo	Presión de pecho por exoesqueleto, Envaramiento en área de muslo en contacto con equipo	Presión de pecho por exoesqueleto, Envaramiento en área de muslo en contacto con equipo	Presión de pecho por exoesqueleto, Envaramiento en área de muslo en contacto con equipo	Presión de pecho por exoesqueleto, Envaramiento en área de muslo en contacto con equipo	Presión de pecho por exoesqueleto, Envaramiento en área de muslo en contacto con equipo	Presión de pecho por exoesqueleto, Envaramiento en área de muslo en contacto con equipo
6	Dolor de hombros leve, Cansancio	Dolor de hombros leve, Cansancio	Dolor de hombros leve, Cansancio	Cansancio leve	Cansancio leve	Cansancio leve	Cansancio leve	Cansancio leve
7	Incomodidad en pecho	mejoró con ajuste	mejoró con ajuste	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Ninguna

7. Molestias musculo esqueléticas al inicio y final del periodo de observación

Durante el periodo de observación se entrevistó al trabajador sobre las molestias que presentaba en los últimos 3 meses y cuál era el segmento corporal afectado obteniéndose los siguientes datos (Tabla 14 y 15).

Tabla 14. Segmento corporal afectado por molestias de los trabajadores que se presentaron al **inicio** del periodo de estudio

	trabajador	Cuello	Hombro derecho	Hombro izq.	Espalda	Codo-antebrazo-derecho	Codo-antebrazo-izq.	Mano-muñeca derecha	Mano-muñeca izq.
INICIAL	1	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
	2	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
	3	NO	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
	4	NO	NO	NO	SI	NO	NO	NO	NO
	5	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
	6	NO	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
	7	SI	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
	TOTALES	2	3	3	4	3	3	3	3

Cuestionario MEST-UNAM

Tabla 15. Segmento corporal afectado por presencia de molestias de los trabajadores al final del periodo de monitoreo

	trabajador	Cuello	Hombro derecho	Hombro izq.	Espalda	Codo-antebrazo-derecho	Codo-antebrazo-izq.	Mano-muñeca derecha	Mano-muñeca izq.
FINAL	1	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
	2	SI	SI	SI	NO	NO	NO	NO	NO
	3	SI	SI	SI	NO	NO	NO	NO	NO
	4	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
	5	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
	6	NO	NO	NO	SI	NO	NO	SI	NO
	7	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
	TOTALES	2	2	2	1	0	0	1	0

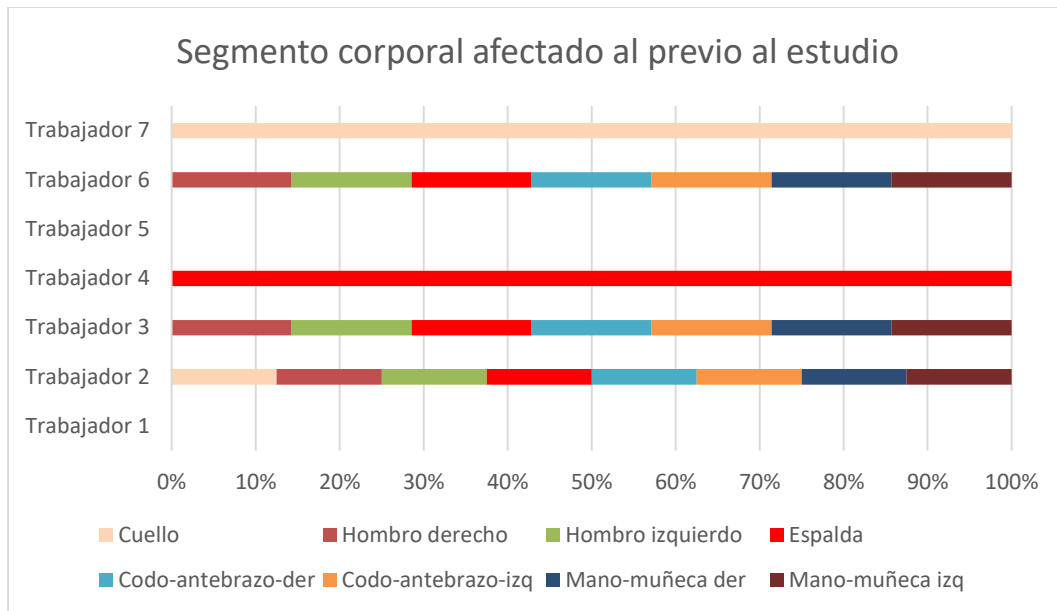
Fuente: Cuestionario MEST-UNAM

Se describe en la Grafica12 y 13 el segmento corporal afectado por alguna molestia al finalizar el periodo de monitoreo; cómo se puede observar hay una disminución de síntomas de molestias y partes corporales afectadas.

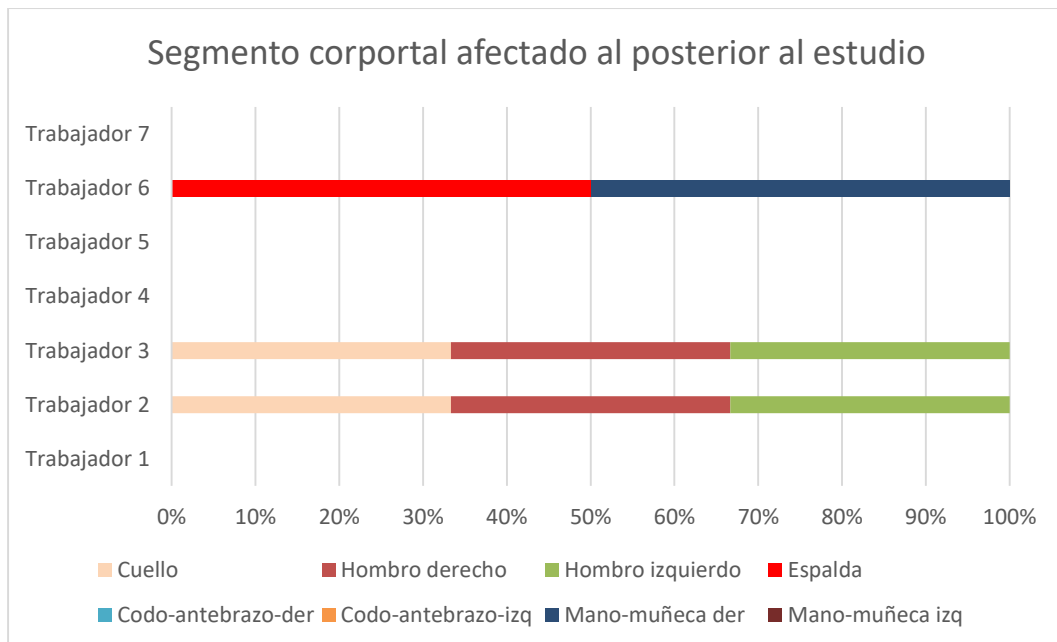
Cotejando los segmentos corporales afectados del inicio y al final del estudio, se puede observar que el trabajador 7 y 4 ya no presentaron molestias, que el trabajador 6 redujo sus molestias de 7 segmentos a 2 segmentos, los trabajadores 3 y 2 redujeron sus molestias a 3 segmentos y los trabajadores 5 y 1 desde el inicio no presentaron molestias.

Observando que generalizando las molestias como codo-antebrazo derecho, mano-muñeca izquierda y codo-antebrazo izquierdo, desaparecieron en su totalidad al final del estudio, el segmento correspondiente a la espalda se redujo en un 75%, el segmento correspondiente al hombro izquierdo se redujo a un 33.33% y en el segmento mano-muñeca derecha se observa una reducción del 66.66%, el segmento correspondiente al hombro derecho tubo n descenso del 33.33%, y se observo persistencia en el segmento correspondiente al cuello.

Grafica 12. Segmento corporal afectado al inicio del estudio



Grafica 13. Segmento corporal afectado al final del estudio



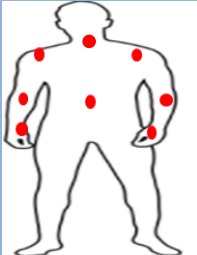
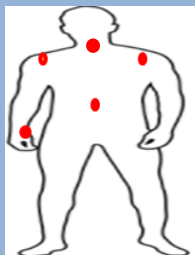
Fuente: Cuestionario MEST-EST

A continuación, se describe la presencia de molestia por segmento corporal afectado de mayor predominio al inicio y final del periodo de estudio (Tabla16)

Como se puede observar la presencia de molestias al inicio se registraron 8 segmentos afectados, para final del estudio con el exoesqueleto solo se registraron 5 segmentos afectados que corresponden a una disminución del 37.5%.

En el caso de las molestias al finalizar el estudio desaparecieron molestias de codo-antebrazo derecho e izquierdo y mano-muñeca izquierda en un 50%, molestias de la espalda disminuyeron un 33.3% las molestias hombro derecho e izquierdo y un 66.6% en molestias de mano-muñeca derecha como se observa en la siguiente tabla.

Tabla 16. Segmento corporal afectado por presencia de molestias al inicio del periodo de monitoreo al inicio y final del periodo

Segmento corporal	Trabajadores	INICIO	Segmento corporal	Trabajadores	FINAL
Espalda	4		Espalda	2	
Hombro derecho	3		Hombro derecho	2	
Hombro izq.	3		Hombro izq.	2	
Codo-antebrazo-derecho	3		Codo-antebrazo-derecho	0	
Codo-antebrazo-izq.	3		Codo-antebrazo-izq.	0	
Mano-muñeca derecha	3		Mano-muñeca derecha	1	
Mano muñeca izq.	3		Mano muñeca izq.	0	
Cuello	2		Cuello	2	

8. Fatiga y uso de exoesqueletos

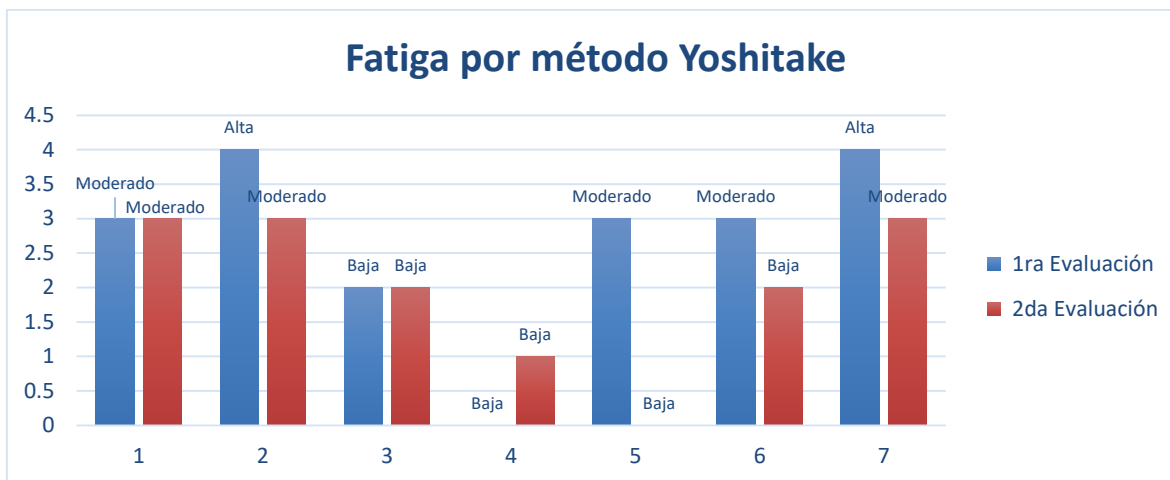
La identificación de fatiga percibida por este método Yoshitake se presentó de la siguiente manera al inicio de la evaluación hubo presencia de fatiga alta con un 29%, fatiga moderada con 43% y fatiga baja solo del 29 %. Al final de la evaluación hubo presencia de fatiga moderada a un 43%, fatiga baja incremento hasta el 57% con ausencia de fatiga alta como se observa en la tabla 17.

Tabla 17. Síntomas de Fatiga Percibida (Yoshitake)

Trabajador	1ra Evaluación	Fatiga Yoshitake	2da Evaluación	Fatiga Yoshitake
1	3	Moderado	3	Moderado
2	4	Alto	3	Moderado
3	2	Baja	2	Baja
4	0	Baja	1	Baja
5	3	Moderado	0	Baja
6	3	Moderado	2	Baja
7	4	Alta	3	Moderado

Fuente: Cuestionario Yoshitake

Grafica 14. Fatiga en 1ra y 2da evaluación



Fuente: Cuestionario Yoshitake

9. Tipo de fatiga durante el periodo de seguimiento (Inventario tridimensional de fatiga)

La tabla que siguiente profundizan acerca de su experiencia de fatiga física, seguida de su experiencia de fatiga mental y fatiga emocional. Los resultados se presentaron de la siguiente manera al inicio de la evaluación se identificó fatiga alta con un 57%, la fatiga baja solo del 43% y al final de la evaluación la presencia de fatiga baja incremento hasta al 100% como se observa en la tabla 18.

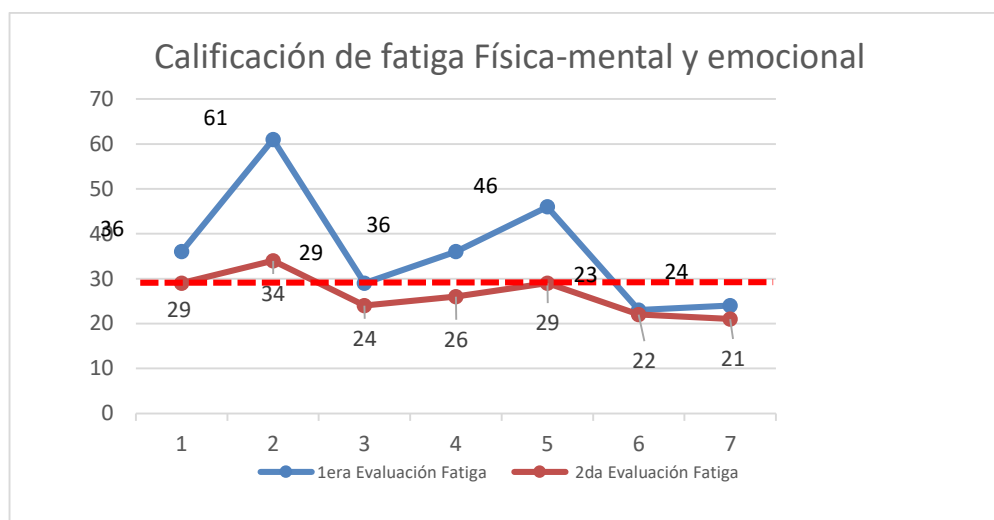
Tabla 18. de fatiga Puntaje general de fatiga física-mental y emocional

Trabajador	1ra Evaluación Fatiga	Calificación	2da Evaluación Fatiga	Calificación
1	36	Alta	29	Baja
2	61	Alta	34	Baja
3	29	Baja	24	Baja
4	36	Alta	26	Baja
5	46	Alta	29	Baja
6	23	Baja	22	Baja
7	24	Baja	21	Baja

Fuente: Cuestionario 3F

En la Grafica 15 se puede observar la tendencia del puntaje obtenido en la calificación de fatiga física, mental y emocional.

Grafica.15. Calificación de fatiga física, mental y emocional al inicio y final del estudio



Fuente: Cuestionario 3F

10. Opiniones diversas de los trabajadores sobre el uso del equipo.

Tabla 20. Opiniones uso del equipo

Entrevista	Trabajadores						
	1	2	3	4	5	6	7
¿Conoces el funcionamiento del equipo?	Si	Si	Si	Si	Sí, es para realizar menor esfuerzo al realizar una actividad como carga a granel	Si lo conozco.	Si
¿Se te capacito para su uso?	Si	Si nos dieron capacitación	Si me capacitaron	Si nos capacitaron	Sí, se nos capacita para su uso	Sí, me capacito el servicio Médico.	Si
¿Has usado el equipo en el último mes y cuantas veces?	Si, de 2 o 3 veces por semana	Si dos veces por semana	Si, dos veces o más por semana	Si, dos veces o 3 por semana	Se ha usado en el último mes y cada semana lo usamos en cargas a granel	Si, aproximadamente lo uso 2 veces por semana.	Si, de 2 a 3 veces por semanas
¿Cuánto tiempo te lleva colocarte el equipo?	Unos minutos 5	3 minutos	5 minutos	3 minutos máximo	De 3 a 5 minutos para su uso	10 minutos, porque se revisa el equipo y los aditamentos antes de colocarlos.	5 minutos
¿Has notado mejoría en tu trabajo o en tu salud al utilizar el equipo Exoesqueleto?	Si, se siente menos cansancio	Si, se siente menos cansancio	Si siento menos molestias en la espalda y cintura al terminar el turno	Me siento menos agotado	Sí, al utilizarlo es notorio ya que se hace menos esfuerzo	Si, se siente mucha mejoría en mi salud porque reduce el cansancio de manera general (Espalda, cintura y cadera).	Si, me siento más ligero
¿En comparación con la faja que ha mejorado, o es lo mismo?	Con ayuda de exoesqueleto ha disminuido las dolencias de la espalda	El exoesqueleto es mejor porque se realiza menos esfuerzo	Es diferente, el exoesqueleto me da mejor soporte y me canso menos	Todo ha cambiado, me da mejor soporte	Es mejor el exoesqueleto y ya que tiene una ayuda mecánica	Si hay diferencia porque uno se cansa menos, porque reduce las dolencias en piernas, cintura, cadera y espalda.	Es mejor, porque la faja solo se limita a la espalda y el exoesqueleto abarca todo

¿Recomendarías este equipo Exoesqueleto para aplicar en otras áreas o departamentos?	Si es recomendable en las áreas que levanten cargas	Si lo recomiendo a todas las áreas que levanten cargas	Sí, porque me siento más seguro y realizo mejor mis actividades	Sí, porque es una buena herramienta de trabajo	Si lo recomiendo ya que es una muy buena mejora	Sí, porque nos ayudó en actividades en la carga a granel que es lo más pesado del área, seguramente en otras áreas les ayudara también en sus actividades de carga.	Si y más para los que cargan cosas
¿Qué pasaría si te retiramos el Exoesqueleto o lo quitamos del área?	No es una buena idea ya que nos ayuda mucho a realizar el trabajo en forma segura y evita lesiones en la espalda	Pediría que lo reintegraran	Me sentiría en desacuerdo porque es una buena herramienta de trabajo	Me quejaría	Pienso que no es una buena opción ya que es una ayuda para nuestra espalda por las actividades de carga que realizamos	No me gustaría que lo quitaran, porque no pueden quitar algo que nos ayuda a realizar nuestras tareas de mejor manera y de una forma más segura ya que reduce el cansancio.	Me quejaría con el gerente
¿Quién más utiliza el Exoesqueleto en sus áreas aparte de ustedes?	Somos la primera área que ocupamos estos equipos	Actualmente somos la única área que uso estos equipos	Nadie, solo nosotros	Yo nuestra área	Es la primera área que lo utiliza	Actualmente solo lo usamos nosotros y lo mejor es que se adapta a nuestro cuerpo.	Solo nuestro staff lo utiliza
¿Qué mejoras le harías a la actividad de carga o al equipo?	Pienso que el equipo en este momento es ideal	Un poco más flexible	Que fuera un poco más flexible y cómodo, pero de ahí en fuera está bien	Para mi está perfecto	La flexibilidad es un poco limitada	Revisar si existe otro equipo similar o mejor, para seguir disminuyendo riesgos para nosotros y mejorar nuestra actividad laboral para la empresa.	Ninguna, a mi me gusta
¿Menciona los beneficios que has tenido al usar el exoesqueleto?	Disminuye el cansancio, las molestias en el cuerpo como espalda principalmente	Me siento menos cansado al terminar el día	Me canso menos y me da mejor soporte	El soporte y menos cansancio	Antes cuando no lo teníamos al finalizar el turno sentías el cansancio en la espalda y ahorita usándolo a disminuido	Siento que ya no me cansa la espalda	Ya no se me cansan las piernas ni la espalda

Se realizaron entrevistas a cada uno de los trabajadores y sus comentarios fueron los siguientes: en cuanto al funcionamiento del exoesqueleto, todos conocían el funcionamiento y en este punto y se les pregunto ¿sí se les capacito para su uso?, y en todos los casos la respuesta de todos fue “sí”, ¿has usado el equipo en el último mes y cuantas veces? La respuesta fue “sí”, de 2 a 3 veces la mayoría, aunque hubo dos trabajadores que realizaron más de 3 veces ya que depende de las necesidades laborales de cada uno de los trabajadores.

¿Cuánto tiempo te lleva colocarte el equipo? Con respecto a esta pregunta, comentaron que como mínimo 3 minutos y hasta 10 minutos tomando en cuenta una inspección minuciosa del equipo. Sobre si ¿has notado mejoría en tu trabajo o en tu salud al utilizar el exoesqueleto? La mayoría si notaron la mejoría refiriéndose a sentir menos molestias en espalda y cintura, menos agotamiento, reducción del cansancio al finalizar el turno, también comentaron sentirse más ligeros.

En comparación con la faja ¿qué ha mejorado, o es lo mismo?, los trabajadores comentaron que es mejor el exoesqueleto argumentando disminución de dolencias de espalda, además que realizaban menos esfuerzo, da mejor soporte, y al hacer movimientos mecánicos da mayor ayuda y soporte.

Sobre si ¿Recomendarías este Exoesqueleto para aplicar en otras áreas o departamentos?, la respuesta fue “sí” en todos los casos, ya se sentían más seguros. Sobre ¿qué pasaría si te retiramos el Exoesqueleto o lo quitamos del área? Algunos comentaron no es buena idea ya que les ayuda mucho a realizar el trabajo en forma segura y evita lesiones en la espalda, argumentaron estar en desacuerdo, que se quejarían ya que no es una buena opción quitar algo que les ayuda a realizar nuestras tareas con mayor eficiencia y de una forma más segura. ¿Quién más utiliza el Exoesqueleto en sus áreas aparte de ustedes? Todos contestaron en ser la única área en la que se utiliza el exoesqueleto,

Sobre ¿Qué mejoras le harías a la actividad de carga o al equipo? Comentaron en que es lo más ideal para este momento, además en que podría ser un poco más flexible, y un poco más cómodo, dos trabajadores comentaron les gusta y está perfecto para la actividad que realizaban. Menciona los beneficios que has tenido al usar el exoesqueleto. En su mayoría comentaron que disminuye el cansancio, las molestias en el cuerpo principalmente en la espalda, piernas además de dar mejor soporte.

Conclusiones

En cuanto al cumplimiento de las hipótesis, se puede mencionar que, al realizar el análisis de los resultados, se observa que se cumplió con la hipótesis principal, la evaluación muestra que, durante el uso del exoesqueleto en la tarea de llenado de contenedores, los trabajadores que lo usaron tuvieron menor fatiga.

En la medición de la fatiga percibida (Yoshitake) al inicio hubo presencia de fatiga alta con un 29%, y al final de la evaluación hubo ausencia de fatiga alta. Por lo tanto, se considera que se obtuvo un efecto benéfico con el uso de exoesqueleto. Se observó aquellos presentaron mayor calificación en los rubros de fatiga son aquellos que tienen mayor antigüedad.

En el caso de la fatiga físico-mental y emocional, el resultado con el que inició la evaluación se presentó de la siguiente manera: Al inicio de la evaluación se identificó fatiga alta con un 57%, y al final de la evaluación no se reportó fatiga alta, expresando un efecto positivo del uso del exoesqueleto. Se concluyó que los índices donde tuvo mayor impacto esta disminución de los parámetros de fatiga física que durante la evaluación inicial fueron los índices más alto por arriba de fatiga emocional y mental.

Cabe mencionar como observación que los trabajadores que presentaron menos fatiga son aquellos que son de nuevo ingreso y básicamente con una antigüedad de 6 meses como máximo. Además, se debe tomar en cuenta que durante el periodo de observación un trabajador debió haber tomado su periodo vacacional, sin embargo, su respuesta fue semejante al de los otros trabajadores.

En caso de la persistencia de molestias vs hallazgos en la resonancia magnética se presentó una relación de 2:4 pacientes respectivamente, todos los trabajadores estudiados presentaron molestias leves que persistieron menos de 7 días sin necesidad de medicación, ningún trabajador en estudio requirió cambiar de puesto ni les impidió hacer su trabajo y no requirieron tratamiento.

En cuanto a las limitaciones del estudio, se consideró el tamaño de muestra de la población en estudio, fue una muestra pequeña dada la naturaleza del cargo y el área específica donde se desarrolló la actividad.

Otra limitación es el corto periodo de observación y que los trabajadores hacían esta operación dos veces al día con una duración promedio de cuatro horas, condiciones que implican un menor riesgo al de operaciones con mayor frecuencia y tiempo de exposición.

También se debe analizar la ausencia de modificación del riesgo ergonómico de la tarea, el riesgo sigue siendo elevado y debería en lo posible ver cómo aplicar las

recomendaciones hechas en evaluaciones previas al puesto, de forma que sea más efectiva esta intervención. En estas condiciones pueden seguirse presentando lesiones musculoesqueléticas.

Se observa que la ergonomía del exoesqueleto no favorece a los trabajadores femeninos esto a la estructura pectoral del mismo, haciendo notar que en la empresa donde se llevó a cabo el estudio y en área específica solo labora personal masculino. Cabe mencionar que se realizaron pruebas en personal femenino sin periodo de adaptación, las cuales comentan que sintieron mayor opresión en el pecho.

Estos resultados son semejantes a los observados por otros autores, debido a que el propósito y fundamento del exoesqueleto es ayudar a reducir el impacto en el área lumbar, así como en la disminución de fatiga.

El principal aporte del estudio es evaluar la utilidad de exoesqueletos en el área de manipulación de cargas y como estos pueden convertirse en un soporte para reducir la fatiga y molestias musculoesqueléticas de los trabajadores. Lo anterior ayuda a tener una mejor calidad laboral y menos desgaste físico y emocional.

Recomendaciones

Como se comentó anteriormente, sí se notó una mejora en la fatiga y presencia de molestias, sin embargo, es importante implementar mejoras para ayudar a la disminución del riesgo ergonómico en los trabajadores que realizan esta actividad, por lo que se debe considerar lo siguiente:

1. El peso máximo de las cargas que son manipuladas de forma manual no debe exceder de 25 kg, Tabla1 de la NOM-036-1 STPS 2018

Tabla 1

Masa máxima que puede levantar o bajar un trabajador por edad y género

Masa máxima kg	Género	Edad (en años)
7	Femenino	Menores de 18
	Masculino	
15	Femenino	Mayores de 45*
20	Femenino	Entre 18 y 45
	Masculino	Mayores de 45*
25	Masculino	Entre 18 a 45

2. Implantar el uso de plataformas elevadoras para regular la altura a la cual se toman o se depositan las cargas ayudando a disminuir la flexión anterior



3. Continuar con un programa de vigilancia a la salud específico para el personal. Así como el seguimiento de este personal para detectar futuras variaciones que se puedan presentar en relación con la salud.
4. El exoesqueleto es una herramienta que puede ayudar a reducir esfuerzos y a la prevención de las molestias musculoesqueléticas.
5. Capacitar a los trabajadores para hacerlos conscientes de los riesgos a los

que se enfrentan en la manipulación de cargas y adopción de posturas forzadas

6. Establecer oficialmente pausas periódicas que permitan la recuperación (ejercicios de relajación o estiramiento muscular). Favorecer la alternancia o cambio de tareas para que se utilicen distintos grupos musculares y se disminuya la monotonía.
7. Asegurarse que no se excedan 10000 kg/día de masa acumulada total de levantamiento y transporte de cargas.

BIBLIOGRAFIA

- Alemi, M. M., Madinei, S., Srinivasan, D., & y Nussbaum, M. A. (2020). Efectos de dos exoesqueletos pasivos de apoyo para la espalda sobre la actividad muscular, el gasto energético y las evaluaciones subjetivas durante el levantamiento repetitivo. *Human Factors*, 458-474.
- Bosch, T., Eck, v. J., & Knitel, K. y. (2016). Los efectos de un exoesqueleto pasivo sobre la actividad muscular, la incomodidad y el tiempo de resistencia en el trabajo de flexión hacia adelante. *Applied Ergonomics*, 212 - 217.
- Buckup, K. (s.f.). *Pruebas clínicas para patología ósea, articular y muscular*.
- Cruz, L. (2020). Lumbalgia aguda. *Espalda*, 54-57.
- De Looze, M. P., & Tim Bosch, F. K. (2016). Exoskeletons for industrial application and their potential effects on physical work load. *Ergonomics*, 10.
- Delegación del Rector de Salud, Bienestar social y Medio ambiente. (s.f.).
- Johannes Buckuup, R. H. (2019). *Pruebas Clínicas para patología ósea, articular y muscular*. España: Elsevier.
- Koopman, A. S., Kingma, I., Faber, G. S., de Looze, M. P., & H, V. D. (2018). Efectos de un exoesqueleto pasivo sobre la carga mecánica de la espalda baja en tareas de sujeción estática. . *Journal Biomechanics*.
- Luttmann, A. J. (2004). *Prevención de trastornos musculoesqueléticos en el lugar de trabajo*. Berlín.
- Luttmann, A., Jäger, M., & Griefahn, B. (2004). *Prevención de trastornos musculoesqueléticos en el lugar de trabajo*. Berlin, Alemania: WHO/SDE/OEH/.
- M.Segui Diaz, J. G. (2002). El dolor lumbar. *Medicina de Familia.Semergen*, 11-22.
- Mehdi Alemi, M., Geissinger, J., Simon, A. A., & Chang, S. E. (2019). Un exoesqueleto pasivo reduce el pico en una elctromografía durante el lvantamiento simetrico y asimetrico. *Journal of Electromyography and Kineiology*, 25 - 34.
- Memoria estadística 2020*. (2020). Obtenido de <https://www.gob.mx/terminos#medidas-seguridad-informacion>
- Navarro, F. (22 de 03 de 2016). *Revista digital inesem*. Recuperado el 28 de 08 de 2020, de Revista digital: <https://revistadigital.inesem.es/gestion-integrada/la-fatiga-laboral/#:~:text=Tradicionalmente%20se%20han%20clasificado%20los,hipersensibilidad%20en%20el%20sistema%20nervioso>.

Navarro, F. (22 de 03 de 2016). *Revista Digital INESEM*. Recuperado el 31 de 05 de 2021, de Revista Digital INESEM: <https://revistadigital.inesem.es/gestion-integrada/la-fatiga-laboral/>

Settembre, N., Maurice, P., Paysant, J., Theurel, J., Claudon, L., Kimmoun, A., . . . Chenuel, B. e. (2020). The use of exoskeletons to help with prone positioning in the intensive care unit during COVID-19. *National Center for Biotechnology Information*, 379-382.

Voegeli, A. V. (2001). *Lesiones básicas de biomecánica del aparato locomotor*. Barcelona: Springer.

Wei Wang, W. W., Qu, Z., G, J., & Lin, X. y. (2020). The effects of a passive exoskeleton on muscle activity and metabolic cost of energy. *Advanced Robotics*, 19-27.

ANEXO

GLOSARIO.

Exoesqueleto: El exoesqueleto es un dispositivo portátil que puede ayudar a los a las personas con sus actividades cotidianas. El exoesqueleto se puede dividir en exoesqueleto activo y exoesqueleto pasivo.

TME: Trastornos musculo esqueléticos.

IMSS: Instituto Mexicano del Seguro Social

NIOSH: National Institute for Occupational Safety and Health, es una agencia federal de los Estados Unidos encargada de realizar investigaciones y recomendaciones para la prevención de enfermedades y lesiones relacionadas con el trabajo.

UCI: Unidad de Cuidados Intensivos

Postura decúbito prono o ventral: El paciente se coloca situado con el cuerpo boca abajo, el cuello en posición neutral, miembros superiores extendidos pegados al tronco y con las palmas de las manos hacia abajo. Extremidades inferiores extendidas con pies en flexión neutra y punta de los dedos gordos hacia abajo

Postura supina o decúbito dorsal: posición corporal acostado sobre su espalda boca arriba, con los brazos y las piernas extendidas. Las rodillas han de estar ligeramente flexionadas, los pies en ángulo recto respecto al cuerpo y los talones sin contactar con la ropa de la cama

IMC: Índice de masa corporal

Método MAC (Manual Handling Assessment Charts): escala cuantitativa para medir el riesgo y un código de colores para calificar cada factor.

EMG: Electromiográficas, La electromiografía es un **estudio destinados a conocer el funcionamiento del sistema nervioso periférico** (nervio y músculo).