



TRASTORNOS MUSCULOESQUELÉTICOS EN SECTORES PRODUCTIVOS DE ALTO RIESGO: INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA OPTAR EL
GRADO DE MAESTRO EN MEDICINA
OCUPACIONAL Y DEL MEDIO AMBIENTE

ALCIDES GONZALES-PORTILLO MALPARTIDA

LIMA – PERÚ

2026

ASESOR

MG. JONH MAXIMILIANO ASTETE CORNEJO

JURADO DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

MG. GABRIEL ACURIO SALAZAR

PRESIDENTE

MG. KARINA YANET LOMBARDI AGUIRRE

VOCAL

MG. LUIS GALO VICUÑA LESCANO

SECRETARIO

DEDICATORIA

A mi familia, por acompañarme en esta etapa desde el inicio, mostrando su apoyo incondicional y por siempre creer en mí aun cuando los momentos se tornan difíciles.

A mi pareja, por brindarme su comprensión y compañía durante el proceso, especialmente en los días que el tiempo y esfuerzo parecían no alcanzar.

A mis amigos, por estar presentes de distintas formas, que me brindaron palabras de ánimo y me recordaron que ningún logro se construye en soledad.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis maestros, que me impartieron sus conocimientos, experiencias y exigencia académica, siendo importante su contribución para mi crecimiento profesional y personal.

A mis colegas, por las conversaciones, aprendizajes y reflexiones compartidas durante este proceso. Cada intercambio permitió mirar este camino con mayor compromiso, responsabilidad y sentido humano.

A todas las personas que, pudieron de manera directa o indirecta acompañarme en la elaboración del presente trabajo, gracias por su apoyo, paciencia y motivación.

FUENTES DE FINANCIAMIENTO

Trabajo de investigación Autofinanciado.



UNIVERSIDAD PERUANA
CAYETANO HEREDIA

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD

Los egresados:

N°	APELLIDOS Y NOMBRES
1.	GONZALES-PORTILLO MALPARTIDA ALCIDES

Pertenecientes al programa de la **MAESTRÍA EN MEDICINA OCUPACIONAL Y DEL MEDIO AMBIENTE**, autores del trabajo titulado: **TRASTORNOS MUSCULOESQUELÉTICOS EN SECTORES PRODUCTIVOS DE ALTO RIESGO: INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN**, el cual ha sido elaborado, sustentado y aprobado, según corresponda, para optar por el grado de **MAESTRO EN MEDICINA OCUPACIONAL Y DEL MEDIO AMBIENTE** bajo la modalidad de **TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**.

En calidad de docentes asesores de la Universidad Peruana Cayetano Heredia:

N°	APELLIDOS Y NOMBRES DEL DOCENTE	FACULTAD	NIVEL DE ASESORÍA
1.	ASTETE CORNEJO JONH MAXIMILIANO	FAMED	ASESOR

Declaramos que el contenido del presente documento es original y que las citas y referencias a otros autores cumplen con las normas académicas establecidas. En ese sentido, hacemos constar que:

- El documento presenta un porcentaje de similitud de **5%**, según el reporte emitido por el software **Turnitin®** (identificador de entrega: **3040111817**; fecha de entrega: **23-09-2026**).
- Tras una revisión detallada del reporte y del contenido del trabajo en cuestión, no se han identificado indicios de plagio.
- Se certifica que el documento respeta los principios de integridad académica y cumple con los requisitos institucionales de originalidad.

Lugar y fecha: **Lima, 23 de septiembre de 2026**


Firma del asesor
N° DNI: 23991826
ORCID: 0000-0001-6225-6720

Firma del Co-asesor
N° DNI:
ORCID:

ÍNDICE

RESUMEN

ABSTRACT

I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Planteamiento del problema.....	1
1.2. Justificación.....	4
1.3. Objetivos	5
1.4. Metodología	6
II. DESARROLLO DE LOS TRABAJOS	10
2.1. CAPÍTULO I: TRASTORNOS MUSCULOESQUELÉTICOS EN TRABAJADORES DE LA CONSTRUCCIÓN: ANÁLISIS POR OFICIO (ALBAÑILES, FERRALLISTAS, CARPINTEROS) Y EXPOSICIONES BIOMECÁNICAS PRIORITARIAS.....	10
2.1.1. Determinantes de carga física en construcción	10
2.1.2. Riesgos ergonómicos generales en la construcción	13
2.1.3. Albañiles	15
2.1.4. Ferrallistas	17
2.1.5. Carpintería de obra.....	19
2.1.6. Evidencia médica.....	22
2.1.7. Exposiciones biomecánicas prioritarias	23
2.1.8. Análisis crítico	26
2.2. CAPÍTULO II: TME EN LA INDUSTRIA MANUFACTURERA Y DE ENSAMBLAJE: LÍNEAS DE PRODUCCIÓN, TRABAJO EN CADENA Y EXPOSICIÓN A CICLOS CORTOS DE ALTA REPETITIVIDAD	32

2.2.1. Marco normativo en industria	32
2.2.2. Condiciones de trabajo en líneas de ensamblaje	34
2.2.3. Exposición a ciclos cortos y alta repetitividad	38
2.2.4. Diagnóstico de enfermedades ocupacionales (OIT y OMS)	41
2.2.5. Criterios técnicos de evaluación (ACGIH y NIOSH)	43
2.2.6. Legislación y normativa nacional vigente	47
2.2.7. Revisión comparativa: Normativa nacional vs. internacional	49
2.2.8. Análisis crítico	53
2.3. CAPÍTULO III: TME EN MINERÍA SUBTERRÁNEA Y A CIELO	
ABIERTO: VIBRACIÓN DE CUERPO ENTERO, POSTURAS FORZADAS	
EN ESPACIOS CONFINADOS Y MANEJO MANUAL DE CARGAS	57
2.3.1. Exposición biomecánica en minería según modalidad	57
2.3.2. Operación de maquinaria pesada: análisis técnico de la exposición a	
vibración de cuerpo entero (VCE)	60
2.3.3. Labores en socavón	63
2.3.4. Tareas de perforación y acarreo manual	65
2.3.5. Métodos de evaluación ergonómica in situ documentados en	
informes técnicos e investigaciones aplicadas	69
2.3.6. El impacto de los factores ambientales (terreno, espacio,	
temperatura) como agravantes del riesgo biomecánico	72
2.3.7. Tecnologías de amortiguación, mecanización de tareas y controles	
de ingeniería en el sector minero	74
2.3.8. Análisis crítico	76
III. CONCLUSIONES	80

IV. RECOMENDACIONES.....	84
--------------------------	----

V. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	87
-------------------------------------	----

RESUMEN

El presente portafolio estudia los trastornos musculoesqueléticos (TME), los cuales constituyen un problema frecuente para la salud ocupacional. Son causantes de discapacidad laboral en el mundo, con alta prevalencia en los sectores productivos de alto riesgo. Esta revisión aborda los TME en tres sectores productivos de alto riesgo: construcción, industria y minería. El análisis se desarrolló a partir de una revisión documentaria avanzada con enfoque comparativo. Además, se consideró evidencia epidemiológica internacional, normas técnicas de evaluación ergonómica y el marco regulatorio peruano vigente.

En el sector construcción, la evidencia obtenida muestra que la exposición biomecánica es de carácter heterogéneo según el oficio desempeñado. Los albañiles presentan mayor riesgo a nivel lumbar por la manipulación de cargas y al realizar posturas de flexión mantenida. Los ferrallistas realizan tareas que combinan esfuerzo físico con precisión manual sumado a posturas forzadas. Los carpinteros están más expuestos a movimientos repetitivos con énfasis en los miembros superiores y asociado al uso de herramientas. En la industria manufacturera predominan las tareas con ciclos cortos de alta repetitividad, pero con bajo peso de carga, afectando el cuello, los hombros y extremidades superiores. En la minería los factores de riesgo varían según la modalidad. En las operaciones a cielo abierto predominan la vibración de cuerpo entero y las largas horas operando maquinaria pesada. En la minería subterránea son más frecuentes las posturas forzadas en espacios reducidos o confinados, el manejo manual de cargas con limitaciones de movimiento y la inestabilidad del terreno por factores ambientales.

La revisión identificó diferencias entre la evidencia científica actual y la normativa nacional utilizada para la evaluación de los riesgos ergonómicos. En el contexto peruano la Ley N.º 29783 y la RM 375-2008-TR ofrecen una base legal importante para la gestión de los riesgos ergonómicos.

PALABRAS CLAVE

TRASTORNOS MUSCULOESQUELÉTICOS, ERGONOMÍA
OCUPACIONAL, CONSTRUCCIÓN, INDUSTRIA, MANUFACTURA,
MINERÍA, EXPOSICIÓN BIOMECÁNICA, NORMATIVA LABORAL,
PREVENCIÓN, VIBRACIÓN DE CUERPO ENTERO, EVALUACIÓN DE
RIESGOS.

ABSTRACT

This portfolio examines musculoskeletal disorders (MSDs), which constitute a common occupational health problem. They are a major cause of work-related disability worldwide and show a high prevalence in high-risk productive sectors. This review addresses MSDs in three high-risk sectors: construction, manufacturing, and mining. The analysis was based on an advanced documentary review with a comparative approach. International epidemiological evidence, ergonomic assessment standards, and the current Peruvian regulatory framework were also considered.

In the construction sector, the evidence reviewed shows that biomechanical exposure varies according to the trade performed. Bricklayers present a higher risk of low back disorders due to manual material handling and sustained trunk flexion. Reinforcing steel workers perform tasks that combine physical effort, manual precision, and awkward postures. Carpenters are more frequently exposed to repetitive movements of the upper limbs and prolonged use of tools. In the manufacturing sector, short work cycles with high repetitiveness predominate, often involving low load weights, mainly affecting the neck, shoulders, and upper extremities. In mining, risk factors vary according to the type of operation. In surface mining, whole-body vibration and prolonged operation of heavy machinery are the most common exposures. In underground mining, workers are more frequently exposed to awkward postures in confined spaces, manual material handling with restricted movement, and unstable ground conditions associated with environmental factors.

The review identified differences between the current scientific evidence and the national regulations used for ergonomic risk assessment. In the Peruvian context, Law No. 29783 and Ministerial Resolution No. 375-2008-TR provide an important legal basis for the management of ergonomic risks.

KEYWORDS

MUSCULOSKELETAL DISORDERS, OCCUPATIONAL ERGONOMICS,
CONSTRUCTION, INDUSTRY, MANUFACTURING, MINING,
BIOMECHANICAL EXPOSURE, LABOR REGULATIONS, PREVENTION,
WHOLE-BODY VIBRATION, RISK ASSESSMENT.

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema

Los trastornos musculoesqueléticos (TME) son considerados como uno de los problemas más frecuentes y con mayor persistencia en la salud ocupacional. El impacto que generan no se limita solo al dolor o a las molestias físicas que estos producen. También se asocian con la pérdida de capacidad funcional, el ausentismo laboral, la disminución del rendimiento y el deterioro de la calidad de vida de los trabajadores afectados. Estas alteraciones comprometen grupos musculares, tendones y ligamentos, así como también las articulaciones, nervios y en general las estructuras de soporte. Las manifestaciones más frecuentes son el dolor lumbar, el dolor cervical junto a las lesiones de hombro, las tendinopatías, el síndrome del túnel carpiano y las molestias en rodillas, muñecas o manos, entre otras condiciones asociadas a la carga física del trabajo (1).

En el ámbito laboral, los TME rara vez se originan por una sola causa, suelen ser multicausales. Con mayor frecuencia aparecen como resultado de exposiciones crónicas repetidas y acumulativas por factores de riesgo biomecánicos, entre ellos la manipulación manual de cargas pesadas, las posturas incómodas y/o forzadas, los movimientos repetitivos por largos períodos, las vibraciones por uso de herramientas, el trabajo prolongado en una misma posición durante la jornada, la falta de recuperación muscular y/o pausas laborales y la organización inadecuada de las tareas desempeñadas. Los TME deben entenderse como procesos progresivos, donde se genera daño cuando las exigencias del trabajo se mantienen en el tiempo y superan la capacidad del organismo para recuperarse adecuadamente (2).

Esta problemática adquiere especial relevancia en sectores productivos de alto riesgo cuyas actividades son de alta exigencia física. Entre ellos se encuentran la construcción, la industria manufacturera y la minería. Estos sectores se caracterizan por actividades físicamente demandantes, uso frecuente de herramientas, manipulación de diversos materiales, exposición a entornos variables, ritmos productivos exigentes y condiciones laborales que favorecen la sobrecarga a nivel musculoesquelético. Aunque comparten una alta carga biomecánica, cada sector presenta perfiles de exposición distintos que deben ser analizados de manera diferenciada según el puesto de trabajo u oficio desempeñado (3).

En el sector construcción, estas diferencias se hacen especialmente evidentes. Los riesgos biomecánicos son variables según las tareas realizadas y las características de cada oficio. Los albañiles suelen realizar tareas que implican manipulación frecuente de materiales, la adopción de posturas forzadas y continuos desplazamientos durante la jornada laboral. Los ferrallistas realizan labores que combinan cargas pesadas, gran precisión manual, posturas desfavorables y trabajo en posiciones que resultan incómodas. Los carpinteros de obra al realizar su labor presentan mayor exposición a movimientos repetitivos, uso prolongado de herramientas, elevación de miembros superiores y sobrecarga de hombros, muñecas y manos. Estas diferencias reflejan que la construcción no debe evaluarse como un conjunto homogéneo. Cada oficio implica tareas y exigencias físicas diferentes que requieren análisis específico (4).

En la industria manufacturera y de ensamblaje, el riesgo musculoesquelético se expresa de otra manera. En muchos casos no está relacionado con la manipulación de grandes cargas. Su origen suele encontrarse en tareas repetitivas que son

realizadas durante varias horas, ciclos de trabajo cortos sumado a ritmos de producción exigentes y los tiempos de recuperación insuficientes. Actividades aparentemente simples, como colocar piezas, atornillar tuercas, realizar el empaquetado y manipular componentes muy pequeños pueden convertirse en un factor de riesgo cuando se repite cientos de veces durante todo el turno (5).

En minería, la exposición biomecánica presenta características muy particulares. En las operaciones que se realizan a cielo abierto predominan la vibración de cuerpo entero, largas jornadas en posición sentada, la operación de maquinaria pesada y los impactos generados por los terrenos irregulares donde se desarrollan las actividades. En la minería subterránea, las condiciones de trabajo suelen ser más exigentes. Los trabajadores realizan sus actividades en espacios reducidos y con limitaciones de movimiento. Además, desarrollan tareas de perforación, acarreo y manipulación manual de cargas con posturas forzadas. A ello se suman las condiciones del terreno y factores ambientales adversos, como altas temperaturas (6).

Aunque existe amplia evidencia científica disponible sobre los factores que favorecen la aparición de los TME, muchas evaluaciones ergonómicas continúan aplicándose de manera general. No se consideran adecuadamente características del sector, el oficio o las tareas que realizan los trabajadores. Esta situación puede generar una subestimación del riesgo. Especialmente cuando se utilizan herramientas de evaluación que no llegan a reflejar con precisión las condiciones reales del trabajo ni tampoco la combinación de factores como las posturas, la fuerza, la repetitividad o el tiempo de exposición. Esto puede ocasionar que los síntomas sean identificados cuando el daño ya se ha desarrollado. La vigilancia

médico-ocupacional debe orientarse a la identificación temprana de riesgos y en la adopción de medidas preventivas (7).

En el contexto peruano, la Ley N.º 29783, Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo, y la Resolución Ministerial N.º 375-2008-TR, Norma Básica de Ergonomía y de Procedimiento de Evaluación de Riesgo Disergonómico, constituyen bases importantes para la gestión del riesgo laboral. Estas normas nacionales mantienen un enfoque general. Ofrecen criterios técnicos insuficientes para evaluar las exposiciones complejas como las vibraciones de cuerpo entero y la alta repetitividad. Tampoco consideran los tiempos para la recuperación muscular del trabajador, las diferencias entre puestos de trabajo y entre sectores productivos (8). Esta situación pone en evidencia la necesidad de analizar los TME en sectores productivos de alto riesgo como la industria, construcción y minería. La revisión de la información permite comprender mejor los factores que influyen en su aparición y también las limitaciones que aún existen la normativa nacional. Este análisis contribuye a identificar perfiles de exposición y proponer lineamientos que fortalezcan la prevención, la evaluación ergonómica y la vigilancia médico-ocupacional (7).

1.2. Justificación

Justificación teórica: El estudio de esta problemática permite comprender los TME como procesos multifactoriales, de naturaleza acumulativa y que son prevenibles. Su desarrollo está influenciado por factores biomecánicos, organizacionales, ambientales e individuales. Esta revisión reúne evidencia científica relacionada con tres sectores productivos de alto riesgo, evitando una evaluación estandarizada del riesgo y resaltando la importancia de analizar las

tareas reales ejecutadas por los trabajadores según el oficio desempeñado en cada sector.

Justificación práctica: Desde el punto de vista práctico, este trabajo permite identificar diferentes perfiles de exposición biomecánica en la construcción, la manufactura y la minería. Esta información facilita la selección de métodos de evaluación ergonómica, el diseño de intervenciones preventivas, la identificación de los puestos con mayor riesgo y la mejora de los programas que abarca la vigilancia médico-ocupacional. La prevención de los TME no debe centrarse únicamente en modificar el comportamiento del trabajador. También es necesario actuar sobre las condiciones de trabajo mediante mejoras en las tareas desarrolladas, las herramientas utilizadas y los puestos laborales.

Justificación social: Los sectores de construcción, industria y minería agrupan a trabajadores expuestos a condiciones físicas exigentes. En muchas ocasiones estas condiciones se acompañan de limitaciones en la vigilancia ocupacional y en las medidas de prevención. Una prevención más adecuada de los TME puede reducir la aparición de dolor, incapacidad y ausentismo en el trabajo. Esto contribuye a mejorar tanto la calidad de vida de los trabajadores como el desempeño de las actividades productivas.

1.3. Objetivos

Objetivo general

Analizar críticamente la evidencia científica, técnica y normativa relacionada con los trastornos musculoesqueléticos en trabajadores de sectores productivos de alto riesgo, específicamente construcción, industria y minería, identificando los principales perfiles de exposición biomecánica y las brechas existentes entre la

evidencia disponible, los criterios en evaluaciones ergonómicas y la normativa peruana vigente.

Objetivos específicos

Identificar los principales factores de riesgo biomecánico asociados a los trastornos musculoesqueléticos y las características de exposición presentes en trabajadores de construcción, industria y minería

Analizar las exposiciones biomecánicas prioritarias en trabajadores de la construcción, considerando las diferencias entre albañiles, ferrallistas y carpinteros

Examinar las condiciones de trabajo en la industria manufacturera y de ensamblaje, considerando los factores que incrementar el riesgo de trastornos musculoesqueléticos

Evaluar los factores de riesgo musculoesquelético presentes en la minería subterránea y a cielo abierto, considerando las diferencias en las condiciones de trabajo y los perfiles de exposición según cada modalidad

Proponer recomendaciones basadas en evidencia orientadas a fortalecer la evaluación ergonómica, las medidas preventivas y la vigilancia médico-ocupacional en sectores productivos de alto riesgo

1.4. Metodología

La investigación se desarrolló mediante una revisión documentaria a partir del análisis de evidencia científica. También se usaron bases técnicas y normativa en relación con los TME. El estudio se enfocó en personal operativo en los sectores productivos de alto riesgo, que pertenecen a construcción, industria y minería. La revisión no se limitó a una recopilación de evidencia científica, sino a analizar también el origen de los TME en las actividades laborales. Las tareas que

desempeñaban abordadas por las normativas vigentes y las herramientas de evaluación disponibles (9).

Para la formulación de la pregunta de revisión fue utilizado el marco SPIDER. Esta herramienta permitió organizar de manera sistemática los componentes del presente portafolio. Se escogió este modelo ya que es adecuado porque la revisión no se centró en una intervención clínica específica, sino en el análisis de los TME desde el ámbito laboral. Se analizaron aspectos vinculados con las condiciones de trabajo, el marco normativo existente y los factores de riesgo biomecánicos (9).

La estructura SPIDER se definió de la siguiente manera. La muestra estuvo conformada por trabajadores operativos expuestos a exigencias biomecánicas en los sectores de construcción, industria y minería. El fenómeno de interés correspondió a la exposición a factores de riesgo biomecánico presentes en sus actividades diarias. Entre ellos se consideraron la manipulación de cargas, las posturas forzadas, las vibraciones de cuerpo entero y la repetitividad en sus tareas. El diseño fue una revisión documentaria avanzada basada en literatura científica, normas técnicas y documentos regulatorios. La evaluación incluyó la identificación de perfiles de exposición, el análisis de mecanismos de daño, revisión de herramientas evaluadoras en ergonomía y comparación de la normativa a nivel nacional con la internacional. El tipo de investigación se desarrolló bajo un enfoque comparativo documentario.

Las fuentes de información incluyeron bases de datos científicas como Web of Science, Google Scholar, PubMed, Scopus y SciELO. También se revisaron documentos técnicos y normativos tanto nacionales como internacionales relacionados con la salud ocupacional. Se consultaron publicaciones de organismos

especializados en seguridad laboral y ergonomía. Dentro de las fuentes analizadas también se consideraron normas técnicas nacionales e internacionales relacionadas con la identificación y evaluación de factores de riesgo ergonómicos en el trabajo. La búsqueda se realizó mediante términos en español e inglés, combinados con operadores booleanos. Entre los términos principales se incluyeron: “trastornos musculoesqueléticos”, “ergonomía ocupacional”, “exposición biomecánica”, “construcción”, “albañiles”, “ferrallistas”, “carpinteros”, “industria manufacturera”, “líneas de ensamblaje”, “alta repetitividad”, “minería”, “vibración de cuerpo entero”, “posturas forzadas” y “manejo manual de cargas”; así como sus equivalentes en inglés.

Para fortalecer la transparencia del proceso de selección documental, se incorporó un esquema de organización basado en las recomendaciones PRISMA 2020, adaptado al carácter documentario y crítico de la revisión. PRISMA no se empleó con el propósito de declarar una revisión sistemática estricta, sino como una herramienta metodológica para ordenar y reportar de manera clara las fases de identificación, depuración, elegibilidad e inclusión de los documentos revisados (10).

Se incluyeron estudios observacionales, revisiones sistemáticas, metaanálisis e investigaciones biomecánicas relacionadas con los TME. También se consideraron estudios aplicados, normas técnicas y documentos regulatorios vinculados con la exposición biomecánica en los sectores analizados. Se priorizaron publicaciones recientes, preferentemente de los últimos cinco a diez años. También se consideraron algunas referencias clásicas o normativas cuando resultaban necesarias para sustentar métodos de evaluación o criterios técnicos reconocidos.

Se excluyeron los reportes de caso, las cartas al editor, resúmenes de congresos sin texto completo. También fueron descartados los documentos con información metodológica considerada insuficiente. No se incluyeron publicaciones que no estuvieran relacionadas con los sectores analizados ni los estudios que abordaran los TME sin vincularlos con exposición laboral, tarea u oficio. Aquellos documentos que no mostraban una relación clara entre los factores de riesgo ergonómicos y los trastornos musculoesqueléticos también fueron excluidos.

La selección de documentos se realizó mediante una revisión inicial de títulos y resúmenes. Después se revisaron los textos completos de los documentos considerados relevantes para el estudio. La información fue organizada según sector productivo y tipo de exposición analizada. Se consideró la población estudiada, el diseño del estudio, la actividad laboral que desempeñaban, los factores de riesgo y las regiones corporales afectadas más frecuentemente. También los principales hallazgos, los métodos para evaluar que fueron utilizaron y su aporte al análisis tanto preventivo como normativo.

La síntesis de la información se realizó de forma narrativa y crítica. Primero se describieron los perfiles de exposición biomecánica presentes en cada sector estudiado. Luego se analizaron las diferencias internas, siendo considerados los oficios en construcción, los tipos de línea productiva en industria y las modalidades de minería tanto subterránea como a cielo abierto. Los hallazgos también fueron comparados con la normativa peruana vigente y con estándares técnicos internacionales. Esto permitió identificar las principales brechas que existen y poder plantear las propuestas con orientación al fortalecimiento de la prevención y la vigilancia médico-ocupacional.

II. DESARROLLO DE LOS TRABAJOS

2.1. CAPÍTULO I: TRASTORNOS MUSCULOESQUELÉTICOS EN TRABAJADORES DE LA CONSTRUCCIÓN: ANÁLISIS POR OFICIO (ALBAÑILES, FERRALLISTAS, CARPINTEROS) Y EXPOSICIONES BIOMECÁNICAS PRIORITARIAS

2.1.1. Determinantes de carga física en construcción

La construcción concentra una carga relevante de trastornos musculoesqueléticos. Las actividades combinan exigencias físicas intensas con variabilidad de tareas y condiciones de trabajo cambiantes. La salud, el desempeño del trabajador y su calidad de vida se ven afectados directamente por las condiciones laborales en este sector. La relación entre las exigencias del trabajo y la respuesta del sistema musculoesquelético constituye el aspecto más relevante para el análisis de riesgos ergonómicos en este sector (11).

Las características propias del trabajo en construcción generan a corto y largo plazo molestias en el sistema musculoesquelético. La población económicamente activa es afectada principalmente por estas afecciones causando así distintos grados de discapacidad. Entre las consecuencias más frecuentes se encuentra el ausentismo laboral, la disminución del rendimiento en los trabajadores y la incapacidad prolongada para laborar. En trabajadores del sector construcción esta carga adquiere especial importancia porque las actividades suelen implicar exigencia física en cortos periodos (12).

Los trabajadores afectados por estas molestias las relacionan con las demandas biomecánicas de su puesto laboral. Esta relación es asociada a la aparición de síntomas por las tareas realizadas. También se suman los turnos programados en

proyectos de construcción de ejecución prolongada. El posible daño ocupacional está vinculado con las cargas físicas de la labor (13).

Los diferentes oficios en una obra de construcción influyen en el tipo de carga física que afecta al operario. Cada puesto exige tareas, materiales y herramientas propias de su labor. Esta realidad cuestiona las evaluaciones generales que no distinguen entre albañiles, ferrallistas y carpinteros. Los riesgos pueden ser subestimados cuando se aplican matrices amplias sin analizar el trabajo real (2).

La región lumbar es una de las regiones más afectadas por la carga física en el trabajo. Esto ocurre cuando el trabajador levanta materiales de forma frecuente. El peso, la cantidad de levantamientos y el tiempo de exposición aumentan la exigencia sobre esta región. El riesgo es mayor cuando las cargas superan los 25 kg o cuando se realizan más de 25 levantamientos al día. En construcción, esta situación es relevante por la movilización constante de materiales durante la jornada (14).

Las cargas físicas en construcción forman parte de las actividades cotidianas del operario. Son distintos por la variación de los puestos laborales en las obras y las actividades condicionadas por la carga física que exigen esfuerzos diferentes. Los trabajadores comparten una misma área laboral, pero al realizar diferentes actividades o manipular distintas herramientas se les genera factores de riesgo diferenciados. Cada tarea requiere posturas, movimientos y grados de fuerza diferentes como determinantes de carga física (2).

La manipulación manual de cargas es un determinante importante en construcción. El operario levanta, traslada y acomoda materiales durante la jornada. Los materiales más comunes manipulados en este sector son los ladrillos, el cemento,

el acero y la madera. Las herramientas pesadas al ser movilizadas o sostenidas también generan carga física sobre la región lumbar, los hombros y los brazos. Las superficies irregulares en la obra dificultan el desplazamiento y aumentan el esfuerzo físico (4).

La postura de trabajo también es relevante como determinante de carga física. En construcción, los operarios pueden permanecer con el tronco flexionado, en cuclillas o con el cuerpo inclinado. Estas posiciones incómodas generan tensión muscular. También aumentan la fatiga al ser adoptadas por largos periodos de tiempo. El riesgo aparece por el tiempo que el trabajador permanece en estas posturas durante cada turno (2).

La repetitividad también es un componente de las cargas físicas en construcción. Es frecuente en tareas que exigen el uso continuo de herramientas manuales o eléctricas, en la colocación de piezas y al amarrar acero o cortar madera. En este determinante debe considerarse la fuerza aplicada y la postura adoptada. Un movimiento repetitivo no siempre tiene el mismo riesgo. Puede ser menos exigente si se realiza con poca carga. El riesgo aumenta cuando ese mismo movimiento requiere más fuerza. La repetitividad debe analizarse junto con las demás exigencias de la tarea (15).

La organización del trabajo también actúa como determinante de carga física. Los obreros tienen jornadas intensas al realizar las obras. La presión por productividad o culminación de la obra en los tiempos pactados también influye. La disponibilidad limitada de equipos o recursos que faciliten las labores en los tiempos de ejecución influye de igual manera. El trabajador debe adaptarse al terreno, al espacio

disponible y a la tarea asignada debido al avance de la obra. Esto obliga al trabajador a modificar su mecánica corporal para cumplir las demandas de la constructora (16). La carga física en construcción varía según la tarea realizada y puede acumularse cuando la exposición se mantiene durante la jornada. Es necesario detallar y analizar cómo se realiza la tarea, durante cuánto tiempo, la postura y con qué frecuencia se ejecutan las actividades. También debe considerarse las condiciones del entorno donde el operador realiza sus labores. Con esa información se pueden elegir métodos de evaluación más adecuados y proponer medidas preventivas (1).

2.1.2. Riesgos ergonómicos generales en la construcción

En el sector construcción, los riesgos ergonómicos se modifican según el avance de la obra. Un operario puede cargar materiales y luego ser enviado a utilizar herramientas, seguido de trabajar a diferentes alturas y posteriormente desplazarse por zonas irregulares durante el turno programado. Esta variedad tiende a ocultar los riesgos si las evaluaciones solo se enfocan en actividades aisladas. Las condiciones de trabajo se ven afectadas por la evolución del proyecto y deben ser analizadas periódicamente tomando en cuenta este factor (17).

Los riesgos ergonómicos en este sector son multifactoriales. Estos factores suelen presentarse de manera simultánea durante la ejecución de las tareas, lo que incrementa la exposición acumulativa al riesgo. En estos casos se usa la electromiografía para detectar el daño generado en el sistema muscular y también la fatiga (4).

El tipo dolor que reportan los trabajadores suele ser el dolor sordo, caracterizado por ser continuo y profundo. Algunos reportes indican que este dolor aparece

ocasionalmente y tiene una duración de pocas horas a predominio diurno. Esta afectación es más frecuente en la región lumbosacra (18).

La lumbalgia ocasionada por los riesgos ergonómicos tiene relación con el conjunto de tareas y actividades que realiza el trabajador durante la jornada. Una mayor carga lumbar acumulada es factor de riesgo para la aparición de la lumbalgia. En sí, a mayor peso que levanta el trabajador mayor es la carga acumulada en la región lumbar (19).

Tabla 1. Principales riesgos ergonómicos en la construcción y región corporal comprometida

Riesgo ergonómico	Descripción	Región prioritaria
Manipulación de cargas	Levantamiento y traslado de materiales	Lumbar, hombros, rodillas
Posturas forzadas	Flexión, torsión, cuclillas o brazos elevados	Columna, cuello, piernas
Movimientos repetitivos	Uso continuo de herramientas y tareas manuales	Manos, muñecas, codos
Sobrecarga acumulativa	Esfuerzo sostenido con baja recuperación	Columna y miembros
Vibración por herramientas	Corte, clavado, perforación o ajuste	Manos, muñecas, antebrazos

Fuente: Elaboración propia basada en Schneider et al. (2010) (17), Kashif et al. (2022) (18) y Coenen et al. (2013) (19).

Los miembros superiores también son afectados por los riesgos ergonómicos. La mano y muñeca sufren constante presión de manera repetida. El agarre con fuerza, la flexión y extensión de la muñeca sumado a el uso de instrumentos vibratorios generan los factores de riesgo. Estas exigencias están relacionadas con el síndrome de túnel carpiano. Los trabajadores de construcción pese a usar equipo de protección están en constante riesgo de desarrollar esta enfermedad (20).

Las medidas preventivas deben enfocarse desde el inicio de la obra a ejecutar. Si hay alguna molestia inicial en alguna parte del cuerpo debe ser reportada para la evaluación correspondiente. Los métodos para evaluar no deben ser netamente observar y reportar, deben analizar y relacionar los síntomas tempranos que manifiestan los trabajadores. También se debe verificar los antecedentes para priorizar los casos que puedan acumular más daño por los factores de riesgo. De igual manera se debe capacitar constantemente a los operarios en el correcto uso de las herramientas y maquinaria pesada que utilicen en sus labores (2).

2.1.3. Albañiles

En albañilería, hay varios tipos de materiales que utilizan en la construcción. El material utilizado llega a modificar la exigencia ergonómica de la tarea que se realiza. Los bloques de concreto tradicionales generan mayor carga física y molestias que afectan el sistema musculoesquelético de este grupo ocupacional. Los bloques de concreto aireado autoclavado también generan exigencia física, pero en menor escala que los tradicionales al ser más livianos. El riesgo ergonómico aún está presente en ambos casos, pero con menos relevancia en el material con peso reducido. También influye la forma en la que el bloque se sostiene, se eleva y se coloca durante la jornada laboral (21).

La altura donde los albañiles colocan el ladrillo o bloque de concreto modifica la exigencia corporal. A baja altura, el albañil flexiona más el tronco. A la altura del hombro o por encima, la espalda se inclina menos. El esfuerzo se traslada más hacia los hombros. La altura de cadera ofrece un mejor equilibrio entre postura y carga muscular. La altura de trabajo debe ajustarse a las características del trabajador (22). El aprendizaje de la albañilería también puede ser una etapa de exposición al riesgo. El aprendiz no solo incorpora una técnica de trabajo. También aprende formas de cargar, colocar, ajustar y sostener materiales que repetirá durante su vida laboral. En este grupo ya se han reportado molestias en la región lumbar, muñecas y manos. Esto muestra que el dolor puede aparecer desde la formación del oficio y no solo después de muchos años de trabajo. Las medidas preventivas deben inculcarse desde el entrenamiento inicial de los albañiles para disminuir los riesgos ergonómicos (23).

El diseño del área de trabajo también interviene en la exposición biomecánica de los albañiles. Las mesas de producción en plataformas elevadoras acercan los materiales de construcción al trabajador. También permiten trabajar con menos movimiento del tronco y mejoran la estabilidad en sus áreas de trabajo. Esto reduce alcances innecesarios durante la colocación de ladrillos. Las incorporaciones de tecnologías de apoyo facilitan las tareas y ayudan a reducir la carga sobre el cuerpo del trabajador (24).

La prevención en albañilería requiere entrenamiento ergonómico, comunicación sobre seguridad y participación del trabajador en la identificación de riesgos. Los albañiles en etapas iniciales pueden mejorar sus prácticas cuando reconocen las tareas que generan sobrecarga. (25).

La capacitación ergonómica en albañilería debe responder a las necesidades reales del oficio. La formación puede mejorar cuando incorpora estrategias usadas por trabajadores con mayor experiencia. No se trata solo de enseñar normas generales. También debe mostrar cómo organizar el cuerpo, usar movimientos más seguros y mantener la productividad sin aumentar el riesgo de trastornos musculoesqueléticos (26).

La albañilería muestra cómo el cuerpo del trabajador se convierte en parte del ritmo de la obra. Cada bloque colocado exige precisión, fuerza y continuidad. También aparece por la repetición diaria, el espacio disponible y la forma en que se organiza la tarea (27).

2.1.4. Ferrallistas

Este oficio está condicionado a manipular barras de acero y estructuras metálicas. Esta exposición constante de cargas pesadas es un factor de riesgo que afecta a los ferrallistas. Estas actividades no solo implican el levantamiento y transporte de materiales, sino también su posicionamiento, alineación y ajuste en obra, lo que demanda un esfuerzo sostenido a lo largo de la jornada laboral y requiere un control continuo del cuerpo durante la ejecución de las tareas (28).

A esto se agrega que gran parte de las actividades se realizan en condiciones poco favorables desde el punto de vista ergonómico, incluyendo posturas forzadas como la flexión del tronco, el trabajo en cuclillas o en posiciones inclinadas, así como movimientos repetitivos durante procesos como el corte, doblado y amarre del acero. Esta combinación de factores genera una carga significativa sobre la columna vertebral y las extremidades superiores, especialmente en la región lumbar, hombros y muñecas. También, el entorno de trabajo, caracterizado por espacios

reducidos y superficies irregulares, puede limitar la adopción de posturas adecuadas, incrementando la exigencia biomecánica (2).

En este contexto, se ha observado que los trabajadores del sector construcción presentan una elevada frecuencia de síntomas musculoesqueléticos asociados a este tipo de exigencias. Factores como la manipulación manual de cargas, la repetitividad y las posturas inadecuadas se relacionan directamente con la aparición de dolor y limitación funcional, evidenciando el impacto de las condiciones de trabajo sobre la salud del trabajador. De manera más específica, se ha descrito que los ferrallistas desarrollan molestias musculoesqueléticas principalmente en la zona lumbar y en las extremidades superiores, debido a las características propias del amarre y manipulación del acero, lo que incrementa el riesgo de lesión desde etapas tempranas de la exposición laboral (3).

Esta interacción no solo incrementa la probabilidad de desarrollar trastornos musculoesqueléticos, sino que también afecta la calidad del movimiento, generando patrones de ejecución menos eficientes que pueden perpetuar el riesgo a lo largo del tiempo. De esta forma, la fatiga no debe interpretarse únicamente como un fenómeno muscular, sino como un proceso que compromete la coordinación, el control motor y la capacidad de respuesta del trabajador frente a las exigencias del entorno laboral (4).

El trabajo de ferralla combina manejo de acero, esfuerzo físico y movimientos repetidos durante la jornada laboral. En este oficio, la carga no recae solo en la espalda. También compromete hombros, brazos y muñecas por la manipulación continua de materiales (29).

Los acereros padecen de enfermedades como la ruptura de disco lumbar relacionada a la carga física en la espalda. La bursitis de hombro y de rodilla ocasionado por las posturas forzadas y el esfuerzo repetido. La tendinitis y el síndrome del túnel carpiano comprometen manos y muñecas, regiones que participan de forma constante en la manipulación del acero. El tiempo de exposición incrementa la aparición de estas patologías (30).

2.1.5. Carpintería de obra

Los carpinteros de obra están expuestos a movimientos repetitivos durante la ejecución de tareas como corte, ensamblaje e instalación de estructuras de madera y otros materiales. Estas actividades implican el uso constante de herramientas manuales y eléctricas, lo que genera una repetición continua de movimientos en las extremidades superiores. En este contexto, se ha evidenciado que la exposición biomecánica en carpintería no depende únicamente del oficio en general, sino del conjunto de tareas específicas que lo componen, como medir, cortar, colocar y fijar elementos, las cuales presentan distintos niveles de exigencia física y demandan diferentes patrones de movimiento (15).

Del mismo modo, muchas de estas tareas se realizan en posiciones mantenidas o con los brazos elevados, lo que incrementa la carga sobre hombros, muñecas y codos. Esta combinación de repetitividad y postura contribuye a la aparición de fatiga muscular y microlesiones acumulativas en el tiempo. Particularmente, actividades como el corte y el clavado han sido identificadas como aquellas que generan mayor carga, debido tanto a la repetición de movimientos como a la adopción de posturas no neutras durante su ejecución, lo que incrementa la tensión sobre estructuras específicas del sistema musculoesquelético (31).

En estudios realizados en trabajadores de carpintería dentro del sector construcción, se ha identificado que la repetición de tareas y la intensidad del trabajo manual están directamente relacionadas con una mayor frecuencia de trastornos musculoesqueléticos, especialmente en miembros superiores. Este riesgo se incrementa cuando las exigencias físicas se mantienen de forma prolongada y sin periodos adecuados de recuperación, lo que evidencia la necesidad de implementar medidas preventivas orientadas a reducir la carga repetitiva en este grupo ocupacional (15).

En carpintería de obra, las herramientas manuales y eléctricas pueden transmitir vibración hacia la mano y el brazo. Esto ocurre en tareas de corte, perforación, lijado, fijación o ajuste de piezas. La ISO 5349-1 permite medir y evaluar este tipo de exposición. Su uso ayuda a reconocer riesgos que no siempre se explican por la repetición del movimiento. Una herramienta puede aumentar la carga sobre manos, muñecas y antebrazos durante la jornada, sobre todo cuando se utiliza por tiempos prolongados (32).

El riesgo no se limita al movimiento repetido de manos y muñecas en este oficio. Las tareas de levantar, bajar y posicionar materiales también comprometen la espalda. La región dorsolumbar recibe carga cuando el trabajador flexiona el tronco, sostiene piezas o adapta su postura al espacio disponible. Este riesgo puede variar según la exigencia del puesto, la postura adoptada y las características físicas del carpintero (33).

Las lesiones en carpinteros de construcción se relacionan con la forma en que se ejecuta el trabajo real. El uso de herramientas, la manipulación de materiales y las condiciones de la obra pueden aumentar la exposición a lesiones ocupacionales.

También influye la organización de la tarea, la supervisión disponible y la seguridad del entorno donde se trabaja (34).

La prevención en carpintería de obra requiere medidas prácticas y aplicables durante la jornada. El uso de herramientas adecuadas, la reducción de alcances forzados y la mejora en la ubicación de materiales pueden disminuir la carga sobre el cuerpo. También se deben revisar las tareas que exigen esfuerzo repetido o posturas mantenidas. Estas acciones ayudan a proteger espalda, hombros, codos, muñecas y manos (35).

Esta tabla permite relacionar la tarea real con la exposición dominante y con la región anatómica que debe priorizarse en la vigilancia médico-ocupacional.

Tabla 2. Perfil de exposición biomecánica por oficio en trabajadores de construcción

Oficio	Tareas frecuentes	Exposición dominante	Región prioritaria
Albañiles	Ladrillo, mezcla y tarrajeo	Flexión y carga manual	Lumbar, hombro, rodilla
Ferrallistas	Corte, doblado y amarre de acero	Carga y precisión manual	Lumbar, hombros, muñecas
Carpinteros	Corte, fijación y herramientas	Repetitividad y vibración	Hombro, codo, muñeca

Fuente: Elaboración propia basada en Antwi-Afari et al. (2017) (4), Akanmu et al. (2020) (15) y Choi (2010) (28).

2.1.6. Evidencia médica

Los trastornos musculoesqueléticos (TME) pueden afectar músculos, tendones, ligamentos, articulaciones y nervios. Sus síntomas más frecuentes son dolor, rigidez, debilidad y dificultad para mover la zona afectada. No siempre aparecen de forma brusca. En muchos casos se desarrollan poco a poco, especialmente cuando el cuerpo no logra recuperarse entre una tarea y otra. Estas molestias iniciales pueden relacionarse con lumbalgia, tendinopatías, síndrome del túnel carpiano o lesiones articulares. Por eso, la vigilancia ocupacional debe reconocerlas a tiempo, antes de que limiten la función del trabajador (36).

El dolor musculoesquelético no depende solo del esfuerzo físico. También intervienen procesos inflamatorios, cambios en los tejidos y mayor sensibilidad del sistema nervioso. Por eso, la molestia puede continuar después de terminar la tarea. Si la exposición laboral persiste, el dolor puede afectar la movilidad, la fuerza y la tolerancia al trabajo (37).

En trabajadores de construcción, la lumbalgia es una de las enfermedades musculoesqueléticas más frecuentes. Más de la mitad de los trabajadores evaluados reportó dolor lumbar durante el último año. La espalda baja suele recibir carga constante durante el traslado de materiales, la flexión del tronco y otras tareas físicas de la obra. El problema no se limita al dolor. Cuando se vuelve persistente, puede reducir la movilidad, afectar el rendimiento y dificultar la continuidad laboral (38). La combinación de exposición física, organización del trabajo y condiciones individuales del trabajador contribuye al desarrollo de estas patologías, lo que hace necesario un abordaje integral en su prevención y manejo. Al observarlo desde el trabajo real, los TME deben entenderse como el resultado de un proceso dinámico

en el que la exposición repetida y la capacidad de recuperación del organismo determinan la evolución del daño. (1).

2.1.7. Exposiciones biomecánicas prioritarias

Se ha planteado la necesidad de jerarquizar dichas exposiciones en función de su capacidad real de generar daño, superando los enfoques tradicionales que las consideran de manera homogénea (2).

Las exposiciones biomecánicas prioritarias se relacionan con movimientos repetidos, aplicación de fuerza y posturas mantenidas durante la jornada. Estos factores generan mayor riesgo cuando actúan juntos. El tejido musculoesquelético necesita periodos de recuperación, y esa recuperación puede verse limitada cuando la tarea exige esfuerzo continuo (39).

En trabajadores de construcción, las exposiciones prioritarias se relacionan con tareas que exigen carga, postura y esfuerzo sostenido. El levantamiento de materiales, el trabajo con brazos elevados y la flexión o torsión frecuente del tronco aparecen como factores relevantes. Estas exigencias afectan sobre todo la zona lumbar, los hombros y las rodillas (40).

Las exposiciones biomecánicas no actúan por separado. En el trabajo real, el cuerpo responde a varias exigencias al mismo tiempo. En albañilería, la manipulación de cargas suele combinarse con posturas forzadas. En ferrallistas, el esfuerzo físico se mezcla con repetitividad y precisión manual. En carpintería de obra, los movimientos repetidos suelen acompañarse de trabajo con brazos elevados. Por eso, cada oficio debe evaluarse según la forma en que estas exigencias se presentan durante la jornada (2).

Tabla 3. Jerarquización de exposiciones biomecánicas según relevancia

preventiva

Exposición	Relevancia	Justificación
Carga física	Alta	Asociada a lumbalgia
Elevación de brazos	Alta	Vinculada a hombro
Posturas forzadas	Moderada-alta	Generan fatiga sostenida
Movimientos repetitivos	Moderada	Dependen de fuerza y postura
Exposición combinada	Muy alta	Potencia el daño

Fuente: Elaboración propia basada en Graziosi et al. (2024) (2), Coenen et al. (2014) (14) y van der Molen et al. (2017) (31).

La priorización del riesgo en construcción debe apoyarse en síntomas y en evaluación postural. En trabajadores evaluados con cuestionario musculoesquelético y método REBA, la prevalencia de TME fue elevada. También muestra que la exposición no debe interpretarse solo por la tarea descrita, sino por la postura real que adopta el trabajador y el nivel de riesgo observado durante su ejecución. Estos desencadenantes son considerados críticos en la aparición de lesiones ocupacionales crónicas (41).

La evaluación en obra permite encontrar riesgos que una revisión general del puesto puede pasar por alto. En actividades de acabado, el uso de Ergo/IBV y REBA ayudó a valorar tareas reales y reconocer aquellas que requieren corrección. Las

intervenciones deben centrarse en las tareas concretas para reducir la exposición biomecánica (42).

Los métodos observacionales son útiles para iniciar una evaluación ergonómica. Ordenan el riesgo y ayudan a ubicar tareas críticas. Su límite aparece cuando el trabajo cambia durante la jornada. En construcción, una misma actividad puede variar por el espacio disponible, el avance de la obra o la herramienta utilizada. Una observación aislada puede dejar fuera parte de la carga real del trabajador, sobre todo cuando fuerza, postura y movimiento se combinan en una misma tarea (7).

La evidencia longitudinal permite mirar el riesgo con más tiempo. No se queda solo en la exposición del momento. Ayuda a observar si un factor se mantiene durante meses o años y si luego se relaciona con trastornos musculoesqueléticos. En una obra, no todo lo más visible es necesariamente lo más dañino. Algunas exigencias parecen menores al inicio, pero pueden acumularse cuando se repiten durante largos periodos (11).

La exposición a factores ergonómicos sigue siendo frecuente en ocupaciones de alta exigencia física. En construcción, esto obliga a revisar cuántos trabajadores están expuestos y qué tareas concentran mayor esfuerzo. Una medida preventiva tiene más valor cuando se dirige a riesgos frecuentes, modificables y presentes en varios puestos. La intensidad importa, pero también importa la cantidad de trabajadores afectados y la posibilidad real de aplicar controles (16).

El riesgo en construcción también depende del orden de las tareas. Un trabajador puede cargar materiales, luego usar herramientas y después adoptar posturas incómodas en otra fase del turno. Cada actividad puede parecer tolerable por separado. El problema aparece cuando el cuerpo no alcanza a recuperarse entre una

y otra. Por eso, la evaluación debe mirar la secuencia completa de trabajo y no solo la tarea de mayor esfuerzo físico (13).

2.1.8. Análisis crítico

Aunque un albañil, un ferrallista y un carpintero compartan el mismo espacio físico, sus perfiles de carga física difieren sustancialmente: las herramientas que emplean, el tipo de fuerza que aplican y las regiones anatómicas más solicitadas varían de forma significativa según el oficio. Una debilidad frecuente en la evaluación ergonómica del sector construcción consiste en homogeneizar la fuerza laboral, asumiendo que todos los trabajadores enfrentan condiciones equivalentes. Ignorar estas particularidades conlleva el riesgo de subestimar la exposición real y de formular medidas preventivas que pierden precisión justamente donde más se necesita (3).

La carga física en obra no actúa de forma aislada, sino en interacción con posturas incómodas, movimientos repetidos, características de las herramientas y la presión constante por cumplir plazos. Una matriz de riesgo general resulta útil para identificar la presencia de peligro, pero rara vez logra explicar los mecanismos específicos por los que se produce el daño musculoesquelético en cada oficio. Reducir la evaluación a variables aisladas deja fuera la complejidad acumulativa de la jornada real (2).

El riesgo biomecánico se origina tanto en el movimiento del operario como en la forma en que se organiza la obra, lo que obliga a plantear soluciones que incluyan rediseño de tareas, incorporación de ayudas mecánicas, programas de pausas, rotación de actividades y vigilancia médica temprana. Instruir al trabajador para que mantenga una postura correcta tiene un alcance limitado cuando el entorno no

acompaña: si el acopio de materiales está distante, si las herramientas no responden a las exigencias de la tarea o si el ritmo de producción impone sobreesfuerzos prolongados, la postura difícilmente puede compensar esas condiciones. (1).

El riesgo ergonómico se gesta antes de que se ejecute la tarea, en las fases de organización donde no se anticipó el coste físico para el operario. La planificación logística de la obra incide directamente sobre la salud del trabajador. Materiales mal ubicados, herramientas insuficientes y tareas poco previstas obligan al personal a compensar con el cuerpo lo que el entorno no resuelve: desplazamientos innecesarios, manipulación de cargas no planificadas y flexiones de tronco evitables se acumulan a lo largo de la jornada (7).

La vigilancia médico-ocupacional gana utilidad real cuando se articula con la evaluación ergonómica de campo. El registro de lumbalgia, dolor de hombro o síntomas en muñeca adquiere valor preventivo solo si ese hallazgo clínico se vincula con el oficio y la actividad específica que lo origina, pues es esa trazabilidad la que permite identificar los puestos críticos e intervenir antes de que el cuadro evolucione hacia una limitación funcional o una incapacidad laboral (1).

Aplicar una evaluación estandarizada para toda la obra simplifica el trámite, pero diluye la utilidad de la intervención. Es fundamental la necesidad de implementar una evaluación ergonómica diferenciada por oficio, con valor preventivo concreto y no solo descriptivo. Disponer de datos específicos por especialidad facilita decisiones críticas: determinar qué procesos requieren mecanización prioritaria, organizar técnicamente la rotación del personal, establecer pausas activas dirigidas y orientar el examen médico hacia las zonas anatómicas de mayor vulnerabilidad (3).

Se debe distinguir el riesgo agudo del riesgo acumulativo. La manipulación de una carga excesiva genera una alerta inmediata. El sostener posturas estáticas, repetir pequeños esfuerzos o utilizar herramientas vibratorias durante horas puede pasar desapercibido en el día a día. La acumulación de microtraumatismos solo se detectan cuando ya comprometen el rendimiento del trabajador y su continuidad dentro del mercado laboral (2).

Los trastornos musculoesqueléticos de origen laboral representan una de las cargas de morbilidad más extendidas a nivel mundial. Su presencia sostenida se ubica prácticamente en todos los sectores productivos y grupos etarios de los operarios. Su peso sobre los sistemas de salud y sobre la capacidad funcional de los trabajadores los convierte en un problema de salud pública que trasciende el ámbito clínico individual. En la construcción, esta realidad se expresa con particular intensidad, dado que las condiciones de trabajo combinan de forma casi inevitable los principales determinantes del daño musculoesquelético (12).

La exposición a factores de riesgo ergonómicos en el trabajo no es un fenómeno marginal. La construcción ocupa consistentemente los primeros lugares en estas estimaciones, lo que refuerza la necesidad de abordar el problema con instrumentos de evaluación que respondan a las particularidades reales del sector y no solo a marcos genéricos. Estimaciones globales indican que una proporción considerable de la fuerza laboral mundial está expuesta de forma habitual a posturas forzadas, manipulación de cargas y movimientos repetitivos, y que esta exposición se distribuye de manera desigual según el sector y el tipo de tarea (16).

La evidencia disponible indica que levantar cargas de forma repetida durante la jornada laboral incrementa el riesgo de lumbalgia de manera dosis-dependiente, es

decir, a mayor frecuencia e intensidad del levantamiento, mayor es la probabilidad de desarrollar o agravar el cuadro. Uno de los factores más estudiados en este contexto es la manipulación manual de cargas, especialmente por su relación con el dolor lumbar. Este hallazgo tiene implicaciones prácticas directas: no alcanza con identificar que un trabajador levanta cargas, sino que es necesario cuantificar con qué frecuencia lo hace, en qué condiciones posturales y durante cuántas horas al día (14).

A esto se suman las condiciones laborales que caracterizan a los entornos de obra en economías de ingresos bajos y medios, donde la falta de equipamiento adecuado, los contratos informales y la ausencia de supervisión en salud ocupacional agravan el perfil de exposición. En estos contextos, los trabajadores de la construcción reportan prevalencias elevadas de dolor musculoesquelético en múltiples regiones corporales simultáneamente, con la espalda baja, los hombros y las rodillas como las zonas más frecuentemente afectadas. La informalidad laboral actúa como un amplificador del riesgo porque elimina los mecanismos institucionales que, en otros contextos, funcionan como barreras de protección (18).

El síndrome del túnel carpiano y otros trastornos de la extremidad superior también merecen atención dentro del sector, aunque con frecuencia quedan opacados por el peso estadístico del dolor lumbar. Su relevancia no radica solo en la frecuencia con que se presentan, sino en las consecuencias funcionales que generan, ya que limitan la capacidad de agarre y la destreza manual que son fundamentales para la mayoría de las tareas del oficio. La exposición prolongada a vibraciones de mano-brazo, las posturas en flexión y extensión forzada de muñeca y el uso repetitivo de

herramientas manuales son factores que se asocian de forma consistente con la aparición de estos cuadros entre trabajadores de la construcción. (20).

Lo relevante desde el punto de vista preventivo es que estas condiciones no son inevitables: dependen en gran medida de cómo se diseña el puesto, de la altura a la que se ubican los materiales y de si el trabajador dispone de apoyos o herramientas que reduzcan la necesidad de mantener los brazos elevados durante períodos prolongados. Los trastornos de hombro constituyen otro punto crítico. La exposición a trabajo con los brazos elevados por encima del nivel de los hombros, la aplicación de fuerza en esa posición y la combinación de repetitividad con carga son los mecanismos que con mayor frecuencia explican la aparición de patología en esta articulación entre trabajadores de la construcción. (31).

En oficios que implican trabajo en altura o en superficies irregulares, la musculatura lumbar asume cargas de estabilización que se suman a las de propulsión y manipulación, generando una demanda que supera con frecuencia lo que la evaluación estándar registra. La región lumbar merece un análisis diferenciado según el tipo de tarea que realiza el trabajador. Este patrón de carga mixta —dinámico y estático al mismo tiempo— es especialmente difícil de capturar con herramientas observacionales simples, y explica en parte por qué la lumbalgia en construcción tiende a presentarse incluso en trabajadores jóvenes con años de experiencia limitados (38).

Comprender el origen de estos trastornos exige reconocer que los factores laborales no actúan solos. Esta complejidad no invalida la centralidad del riesgo ergonómico, pero sí obliga a pensar las intervenciones de forma más amplia, considerando al trabajador como un sujeto cuya vulnerabilidad no se explica únicamente por lo que

ocurre dentro del horario laboral Las características individuales del trabajador, su historia de lesiones previas, sus condiciones de vida fuera del trabajo y los factores psicosociales del entorno laboral interactúan con la carga física para determinar quién desarrolla una lesión y quién no (29).

2.2. CAPÍTULO II: TME EN LA INDUSTRIA MANUFACTURERA Y DE ENSAMBLAJE: LÍNEAS DE PRODUCCIÓN, TRABAJO EN CADENA Y EXPOSICIÓN A CICLOS CORTOS DE ALTA REPETITIVIDAD

2.2.1. Marco normativo en industria

La manufactura y el ensamblaje articulan productividad con tareas estandarizadas, estaciones de trabajo y un flujo de producción continuo. Esta organización expone a los trabajadores a ciclos cortos, con posturas sostenidas y a su vez, baja autonomía para modificar el ritmo durante su horario de trabajo, pero permite producir masivamente o a gran escala (5).

El marco normativo en el sector debe considerar que los TME aparecen progresivamente por acumulación de estas cargas repetitivas. Tienen efecto directo sobre los tejidos blandos como músculos, tendones, articulaciones y nervios. Las zonas más afectadas son cuello, hombros, espalda, muñecas y manos, debido a tareas frecuentes como colocar piezas, atornillar, ajustar componentes, inspeccionar productos, empacar materiales o manipular objetos pequeños durante varias horas (5).

A esto se suma que el diseño del puesto influye directamente en la magnitud del riesgo. Mesas mal ajustadas, herramientas alejadas, poco espacio, piezas pesadas o alcances laterales pueden obligar al trabajador a flexionar el tronco, elevar los brazos o girar repetidamente. En actividades de ensamblaje y mecanizado también son frecuentes los movimientos asimétricos, que incrementan la carga sobre hombros, espalda y miembros superiores cuando se combinan con repetitividad (43).

Desde una mirada preventiva, la evaluación normativa no debe centrarse solo en la conducta del trabajador. Es necesario ajustar herramientas y superficies, mejorar la ubicación de materiales, reducir alcances innecesarios, incluir pausas activas, promover rotación de tareas y fortalecer la vigilancia ocupacional para detectar dolor, rigidez, adormecimiento, debilidad o fatiga antes de que el TME se vuelva crónico (44).

De ahí que la productividad en líneas de ensamblaje no debe separarse de la salud del trabajador. Un proceso eficiente también debe prevenir el desgaste físico acumulado y considerar la ergonomía como parte de la organización del trabajo, no como una intervención secundaria posterior a la aparición de síntomas (45).

El análisis del marco normativo aplicado a la manufactura y al ensamblaje de los trabajadores ayuda a prevenir los TME en relación con la seguridad y salud en el trabajo. Es una herramienta de gestión para identificar, evaluar y controlar los riesgos que conlleva la manipulación repetitiva, las posturas forzadas, el diseño de puesto y el cómo está organizado el trabajo (8).

La Ley N.º 29783 es la principal base legal para la prevención de riesgos laborales en el Perú. Es importante puesto que obliga a las empresas a gestionar los peligros en los puestos de trabajo y a establecer medidas que protejan la vida, la salud y el bienestar de sus trabajadores, de lo contrario puede haber una sanción. Una de las formas de proyectar bienestar es prevenir las TME, ya que es un problema que se puede prevenir y está muy vinculado a las condiciones de trabajo que pueden ser modificadas (46).

El Decreto Supremo N.º 005-2012-TR precisa los componentes del sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo. La identificación de peligros, la

evaluación de riesgos y la adopción de medidas preventivas en las líneas de ensamblaje. Esta exigencia adquiere especial relevancia, ya que los trastornos musculoesqueléticos no siempre se manifiestan de forma inmediata. La fatiga, el dolor o la disminución funcional pueden instalarse de manera progresiva, sobre todo cuando no se revisan con suficiente detalle las condiciones reales del puesto, el ritmo de producción, la repetición de movimientos y la disponibilidad efectiva de pausas durante la jornada. (47).

Uno de los instrumentos normativos nacionales más relevantes es la Resolución Ministerial N.º 375-2008-TR, que aprueba la Norma Básica de Ergonomía y de Procedimiento de Evaluación de Riesgo Disergonómico. Se encarga de analizar las condiciones ergonómicas del trabajo y orientar la identificación de factores asociados al riesgo disergonómico. Su utilidad en manufactura se relaciona con la identificación de movimientos repetitivos, posturas forzadas, sobreesfuerzos, manipulación manual de cargas, diseño del puesto y organización del trabajo. Sin embargo, su aplicación debe complementarse con estándares técnicos internacionales cuando se analizan exposiciones de alta repetitividad, recuperación muscular insuficiente o tareas de precisión manual (8).

2.2.2. Condiciones de trabajo en líneas de ensamblaje

Las líneas de ensamblaje funcionan mediante una secuencia organizada de tareas, donde cada trabajador cumple una función específica dentro del proceso productivo. En estos espacios, las actividades suelen estar divididas por estaciones de trabajo, lo que permite mantener una producción continua y ordenada. Sin embargo, esta misma organización puede generar exposición a factores de riesgo

musculoesquelético cuando las tareas se repiten muchas veces, se realizan en posturas mantenidas o se ejecutan bajo un ritmo de trabajo constante (5).

En la manufactura emergente, como la fabricación de componentes tecnológicos, equipos, productos farmacéuticos o maquinaria, muchas actividades combinan el uso de tecnología con trabajo manual. Aunque estos sectores pueden tener procesos modernos, todavía dependen del operario para tareas como ensamblar, inspeccionar, clasificar, manipular piezas, operar equipos o controlar la calidad del producto. Estas actividades pueden exigir precisión, concentración y permanencia prolongada en una misma posición, especialmente cuando el trabajador debe mantener el cuello flexionado, los brazos activos o la espalda fija durante buena parte de la jornada (5).

En la industria electrónica las tareas requieren movimientos finos y una alta atención tanto visual como manual. El trabajador puede estar sentado o parado por largas horas durante su jornada, observando piezas pequeñas, ajustando, revisando circuitos o realizando controles de calidad y haciendo pequeños movimientos repetitivos que, sí requieren de estabilidad postural y exigencia de la visión, al mantener la atención, no existen pausas activas suficientes o el trabajo no permite variar la postura, por lo que hay mayor sobrecarga (48).

Cuando el trabajador necesita observar materiales o piezas pequeñas durante varias horas, sobre todo si estas están en movimiento, puede haber un movimiento del cuello hacia adelante, puede acercar el tronco hacia la mesa o mantener los hombros tensos. Depende también de la altura de la mesa de trabajo, de la iluminaria, de la distancia de los objetos, pues de esto depende también qué postura adopta el trabajador para mejorar la precisión de su trabajo. En este sector se debe evaluar la

repetitividad de la acción que se realiza, la posición del cuerpo al realizarla y las condiciones del puesto de trabajo, así como las pausas que se realizan entre tiempos (49).

En la construcción naval o fabricación de barcos, las condiciones laborales son distintas porque se trata de un entorno industrial pesado. En los astilleros, los trabajadores pueden realizar tareas de montaje, soldadura, corte, ajuste de piezas, manipulación de materiales, uso de herramientas y trabajo dentro de estructuras metálicas. Estas actividades suelen requerir mayor esfuerzo físico que otros sectores de ensamblaje, además de posturas difíciles debido al tamaño de las piezas, la ubicación de las estructuras y las limitaciones del espacio de trabajo (50).

En el sector naval, la carga musculoesquelética puede afectar varias regiones del cuerpo. El trabajador puede permanecer agachado, arrodillado, con el tronco flexionado, con los brazos elevados o realizando movimientos en espacios reducidos. A diferencia de una estación fija de ensamblaje, el ambiente en los astilleros cambia según la etapa de fabricación o reparación del barco. Esto obliga al trabajador a adaptarse constantemente al espacio disponible, lo que puede aumentar la sobrecarga en cuello, hombros, codos, espalda baja y rodillas (51).

Las industrias secundarias, como manufactura, construcción, procesamiento industrial y otros sectores productivos, mantienen una alta dependencia del trabajo manual, incluso cuando existe maquinaria o automatización parcial. En estos ambientes, los trabajadores pueden estar expuestos a manipulación de herramientas, traslado de materiales, movimientos repetitivos, posturas prolongadas y presión por cumplir tiempos de producción. Esto demuestra que la modernización industrial no

elimina por completo el riesgo ergonómico, sino que puede modificar la forma en que aparece dentro del proceso laboral (52).

En estos sectores, el diseño del puesto de trabajo cumple un papel importante. La altura de las superficies, la ubicación de herramientas, la distancia hacia los materiales, el peso de las piezas y el espacio disponible pueden facilitar o dificultar la tarea. Cuando el puesto no se ajusta a las características del trabajador, se incrementan los alcances innecesarios, los giros del tronco, la elevación de brazos y las posturas incómodas. Por esa razón, las condiciones de trabajo deben analizarse no solo desde la tarea principal, sino también desde el entorno físico donde esta se realiza (43).

El ritmo de la línea también influye en la aparición de molestias musculoesqueléticas. Cuando la velocidad del trabajo está determinada por la producción, el trabajador tiene menos libertad para detenerse, cambiar de postura o disminuir la intensidad de la tarea. Esta situación puede aumentar la fatiga física y mental, sobre todo cuando las actividades son monótonas o cuando no existe rotación entre puestos. El problema no depende solo de lo que se hace, sino también del tiempo de exposición, la frecuencia del movimiento y la presión para mantener la productividad (5).

Estas diferencias muestran que no existe una sola forma de exposición ergonómica en las líneas de ensamblaje. En algunos puestos el riesgo aparece por movimientos finos y repetitivos; en otros, por esfuerzos físicos mayores, posturas forzadas, trabajo en espacios reducidos o baja posibilidad de cambiar de posición. Por eso, la evaluación de las condiciones laborales debe adaptarse al tipo de proceso productivo y no aplicarse de manera general para todos los sectores (52).

Para mejorar las condiciones de trabajo en líneas de ensamblaje, no basta con pedir al trabajador que adopte una buena postura. Es necesario revisar el diseño del puesto, ajustar herramientas, mejorar la distribución de materiales, reducir alcances innecesarios, adecuar alturas de trabajo, programar pausas y promover la rotación de tareas. También es importante capacitar al trabajador para reconocer molestias tempranas y comunicar síntomas antes de que se conviertan en lesiones. Estas medidas permiten reducir la exposición a factores disergonómicos y favorecen una producción más segura (44).

2.2.3. Exposición a ciclos cortos y alta repetitividad

La repetitividad representa un determinante crítico porque reduce el tiempo de recuperación muscular y aumenta la fatiga, especialmente cuando se combina con posturas fijas, fuerza manual o presión por cumplir el ritmo de la línea. En estos casos, una tarea simple puede transformarse en una exposición significativa cuando se repite de forma sostenida durante la jornada (53).

En la industria manufacturera, los ciclos cortos no se presentan de la misma manera en todos los puestos. A veces se relacionan con el ensamblaje de piezas grandes, otras veces con movimientos finos de manos y muñecas, y en otros casos con tareas repetidas que además requieren cargar o mover materiales. Por eso, no basta con decir que una tarea es repetitiva. Es necesario mirar qué se repite, cómo se repite y qué parte del cuerpo recibe mayor carga (43).

En una planta de fabricación de camiones, el trabajo repetitivo forma parte del proceso de ensamblaje. Un operario recoge las piezas, las coloca en su lugar, ajusta los tornillos, conecta las partes, empuja los carros, usa las herramientas y así sigue la secuencia con cada acción. Esta se repite múltiples veces, formándose el

problema. Algunas llegan a superar las 400 repeticiones por hora, volviendo importante analizar el número de repeticiones, el tiempo usado, cuánta fuerza se requiere, qué postura se usa durante esta, la posición de las muñecas y el tiempo total de la jornada (54).

En la manufactura de electrónicos, la repetitividad suele ser más fina y menos evidente. El trabajador puede pasar varias horas manipulando piezas pequeñas, haciendo movimientos de pinza, girando la muñeca, sujetando componentes o manteniendo la vista fija sobre el producto. No siempre hay cargas pesadas, pero sí hay uso constante de manos, muñecas, cuello y hombros. Esta carga puede parecer ligera, pero al mantenerse durante la jornada puede producir molestias y fatiga (55).

En una fábrica de harina, la repetitividad tiene otra característica. El trabajador además de repetir movimientos en secuencia, también hace la tarea de cargar los sacos, trasladarlos, colocarlos en las máquinas y acomodarlos en los almacenes. Trabajan más grupos musculares, viéndose afectados la espalda baja, hombros, piernas, rodillas, cuello y muñecas, ya que se afectan por la combinación de esfuerzo físico, ritmo rápido y posturas incómodas sostenidas (56).

Cada ejemplo debe ser evaluado de acuerdo al contexto, pues nos demuestra que la alta repetitividad no siempre significa que se realizará la misma tarea o conllevará el mismo daño. En camiones, se relaciona con montaje, herramientas y ajuste de piezas. En electrónicos, con movimientos pequeños y precisos. En harina, con tareas repetidas que además exigen fuerza y traslado de materiales (57).

Así podemos entender por qué una tarea que es corta puede parecer inofensiva cuando la observamos una sola vez, como ya fue mencionado, el secuenciarla múltiples veces es el problema ya que es acumulativo y progresivo (5).

La prevención puede ser adaptada al tipo de repetición que se nos presenta. En el ensamblaje de los camiones, se pueden rediseñar herramientas para reducir esfuerzos manuales y redistribuir las tareas que requieran trabajo humano. En los trabajos de tipo electrónico, se debe cuidar la altura a la que se trabaja, cuidando la posición de las manos y las muñecas, las pausas activas para variar la postura y el ajuste de la iluminación para cuidar la visión. En la industria harinera, es requerida la ayuda mecánica, la reducción de carga y mejor organización del traslado (53,55,56).

La repetitividad en manufactura no debe valorarse solo por el número de ciclos, sino por la combinación entre tamaño de la pieza, fuerza requerida, postura, precisión y ritmo impuesto. La siguiente tabla organiza esas diferencias para orientar evaluaciones ergonómicas más específicas (5).

Tabla 4. Patrones de carga biomecánica en líneas de manufactura y ensamblaje

Puesto	Exposición dominante	Segmento crítico	Implicancia preventiva
Ensamblaje vehicular	Ajuste y herramientas	Lumbar, hombro, muñeca	Balancear tareas
Electrónica	Pinza fina y flexión cervical	Cuello, manos	Ajustar puesto
Empaque e inspección	Ciclos cortos y ritmo fijo	Hombro, cuello	Rotar y pausar

Puesto	Exposición dominante	Segmento crítico	Implicancia preventiva
Industria naval	Montaje y espacios reducidos	Espalda, rodilla	Planificar accesos
Manufactura emergente	Precisión y postura fija	Cuello, muñeca	Variar posturas

Fuente: Elaboración propia basada en Yang et al. (2023) (5), Hosseini et al. (2025) (43) y Winiarski et al. (2025) (45).

2.2.4. Diagnóstico de enfermedades ocupacionales (OIT y OMS)

El diagnóstico de una enfermedad ocupacional no debe basarse solo en la presencia de dolor. En los trastornos musculoesqueléticos de la industria manufacturera y de ensamblaje, es necesario relacionar los síntomas del trabajador con las condiciones reales del puesto. Para ello se debe revisar qué tarea realiza, cuánto tiempo permanece en ella, qué movimientos repite, qué fuerza aplica, qué postura mantiene y si cuenta con pausas suficientes durante la jornada (58).

Desde el enfoque de la Organización Mundial de la Salud, los trastornos musculoesqueléticos comprenden alteraciones que afectan músculos, huesos, articulaciones, tendones, ligamentos y otras estructuras del sistema musculoesquelético. En el ambiente laboral, esta idea permite entender que el dolor de cuello, hombro, espalda, muñeca o mano no debe analizarse como una molestia aislada. Cuando aparece en trabajadores expuestos a movimientos repetitivos, posturas mantenidas o manipulación de cargas, puede representar una manifestación de sobrecarga acumulada (58).

La Organización Internacional del Trabajo plantea que una enfermedad ocupacional debe evaluarse considerando el cuadro clínico y la exposición laboral compatible. Esto significa que el diagnóstico no termina al identificar una lesión o un síntoma. También se debe comprobar si el puesto de trabajo presenta factores capaces de explicar o agravar ese problema. En una línea de ensamblaje, por ejemplo, el dolor persistente de muñeca o mano debe relacionarse con tareas de agarre, pinza, atornillado, manipulación de piezas pequeñas o movimientos repetidos durante varias horas (59).

En los trabajos con ciclos cortos, la historia laboral tiene mucho valor. El origen ocupacional se vuelve más probable cuando los síntomas aparecen después de iniciar una tarea repetitiva, aumentan durante la jornada, empeoran en periodos de mayor producción o mejoran con el descanso. Esta relación temporal ayuda a diferenciar un trastorno musculoesquelético relacionado con el trabajo de una molestia sin vínculo laboral claro (59).

El Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional de Estados Unidos aporta un enfoque práctico para la evaluación ergonómica del puesto. Sus publicaciones sobre trastornos musculoesqueléticos relacionados con el trabajo consideran factores como repetición, fuerza, posturas incómodas, vibración, manipulación manual de cargas y organización del trabajo. En una planta manufacturera, esto implica que el diagnóstico no debe quedarse solo en el examen físico. También debe incluir la observación de la tarea, la forma en que el trabajador usa herramientas, la velocidad de la línea y las exigencias físicas reales del proceso (60).

En líneas de ensamblaje, el diagnóstico ocupacional puede organizarse en tres momentos. Primero se identifica el daño clínico, como dolor, rigidez, debilidad, adormecimiento, inflamación o limitación funcional. Luego se analiza la exposición laboral, considerando repetición de movimientos, duración del ciclo, fuerza aplicada, postura mantenida, ritmo de trabajo y pausas. Finalmente se relacionan ambos elementos para valorar si la región afectada coincide con la tarea realizada y si la evolución de los síntomas tiene coherencia con el trabajo (60).

El diagnóstico también requiere descartar otras causas. Un dolor lumbar puede estar relacionado con el trabajo, pero también puede depender de antecedentes personales, lesiones previas, edad, enfermedades degenerativas o actividades fuera del ambiente laboral. Por eso, el enfoque ocupacional no consiste en asumir que todo dolor es causado por el trabajo. Se debe analizar si la exposición laboral tiene suficiente intensidad, duración y coherencia para explicar el cuadro clínico o contribuir a su agravamiento (59).

El registro del caso es una parte importante del proceso diagnóstico. Deben documentarse el diagnóstico clínico, el puesto de trabajo, la antigüedad laboral, las tareas realizadas, los factores de riesgo identificados, la evolución de los síntomas y las medidas recomendadas. Esta información permite realizar vigilancia de la salud, reconocer puestos con mayor frecuencia de molestias y tomar decisiones preventivas antes de que los trastornos avancen (61).

2.2.5. Criterios técnicos de evaluación (ACGIH y NIOSH)

En las líneas de producción y ensamblaje, la evaluación ergonómica no debe limitarse a observar si el trabajador presenta dolor o si la tarea parece repetitiva. Es necesario aplicar criterios técnicos que permitan medir el riesgo con mayor

objetividad. Para este tipo de actividades, dos enfoques resultan especialmente útiles: la ecuación revisada de levantamiento del Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional (NIOSH) y el criterio de actividad manual de la Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales (ACGIH) (62).

La ecuación revisada de levantamiento del NIOSH se utiliza para evaluar tareas de levantamiento manual realizadas con ambas manos. Este método permite estimar el peso recomendado para una tarea específica y compararlo con el peso real manipulado por el trabajador. Para ello considera variables como la distancia horizontal de la carga, la altura desde donde se levanta, el desplazamiento vertical, el ángulo de asimetría, la frecuencia del levantamiento, la duración de la tarea y la calidad del agarre. Con estos datos se obtiene el índice de levantamiento, que ayuda a valorar el nivel de exigencia física y el posible riesgo para la región lumbar (62). En el contexto de manufactura, esta ecuación es útil cuando el trabajador debe levantar cajas, sacos, piezas, bandejas, componentes o materiales durante la jornada. No todos los puestos de ensamblaje implican cargas pesadas, pero muchas líneas combinan tareas repetitivas con manipulación manual de objetos. Por ejemplo, en producción de alimentos, fabricación de piezas, empaque o abastecimiento de estaciones, el trabajador puede levantar materiales varias veces por hora. En estos casos, el riesgo no depende solo del peso, sino también de qué tan lejos está la carga del cuerpo, desde qué altura se toma y si el trabajador debe girar el tronco para colocarla (62).

La aplicación moderna de este método también ha incorporado tecnologías de medición. Estudios recientes han usado sensores inerciales portátiles y aprendizaje

automático para estimar variables relacionadas con la ecuación revisada de levantamiento. Esto permite evaluar tareas reales con mayor precisión, especialmente cuando el movimiento cambia durante la jornada o cuando el levantamiento no ocurre siempre de la misma manera. Estas herramientas no reemplazan el criterio ergonómico, pero pueden mejorar la identificación de puestos con mayor carga lumbar en ambientes industriales (63).

El criterio de la ACGIH se orienta principalmente a la actividad manual repetitiva. Su utilidad es mayor en tareas donde predominan movimientos de mano, muñeca, antebrazo y codo. Este criterio considera dos elementos centrales: el nivel de actividad de la mano y la fuerza aplicada durante la tarea. Así, resulta adecuado para puestos de ensamblaje electrónico, atornillado, manipulación de piezas pequeñas, empaque manual, inspección, selección o ajuste de componentes (64).

En los ciclos cortos, este criterio permite diferenciar tareas que parecen similares, pero que no generan el mismo riesgo. No es igual mover la mano de forma repetida con baja fuerza que realizar el mismo gesto aplicando presión, pinza o agarre sostenido. Tampoco es igual repetir un movimiento con la muñeca en posición neutra que hacerlo con desviación o tensión constante. Por eso, la evaluación de la actividad manual no debe centrarse solo en contar repeticiones, sino en analizar la combinación entre ritmo, fuerza y postura. (64).

El uso de mediciones objetivas ha fortalecido la aplicación del valor límite para actividad manual. Investigaciones recientes han evaluado cargas de mano y codo mediante mediciones cinemáticas y electromiografía, tomando como base el criterio de actividad manual. Este tipo de evaluación permite observar con más

detalle la exposición real del trabajador, especialmente en tareas donde el esfuerzo no es evidente a simple vista, pero se mantiene durante muchas repeticiones (65).

En una línea de producción, ambos criterios pueden complementarse. La ecuación del NIOSH es más útil cuando existe levantamiento o manipulación manual de cargas. El criterio de la ACGIH es más adecuado cuando el problema principal está en la repetición de movimientos de mano y muñeca. En una misma planta pueden existir ambos escenarios: un trabajador puede abastecer materiales levantando cajas y otro puede ensamblar piezas pequeñas durante varias horas. Cada puesto requiere una herramienta de evaluación distinta (62).

También es importante reconocer las limitaciones de estos métodos. La ecuación de levantamiento del NIOSH no aplica a todas las formas de manipulación manual. No está diseñada para evaluar levantamientos con una sola mano, tareas realizadas sentado o de rodillas, cargas inestables, empuje, arrastre, transporte prolongado o movimientos de alta velocidad. En esos casos se requiere una evaluación ergonómica más amplia, porque el riesgo puede estar relacionado con otros factores físicos, como posturas forzadas, vibración, esfuerzo sostenido o restricciones del espacio de trabajo (62).

En el caso del criterio de actividad manual de la ACGIH, su mayor valor está en tareas repetitivas de miembro superior, pero no explica por sí solo todos los riesgos del puesto. Una tarea puede tener alta repetitividad de mano y, al mismo tiempo, exigir flexión del cuello, elevación de hombros o permanencia prolongada de pie. Por eso, su aplicación debe acompañarse de la observación del puesto y del análisis del proceso productivo completo (64).

Los criterios técnicos permiten pasar de una evaluación general a una evaluación más precisa. En vez de afirmar únicamente que una tarea es repetitiva o pesada, permiten identificar qué variable aumenta el riesgo: peso excesivo, distancia de la carga, mala altura de trabajo, frecuencia elevada, fuerza manual o actividad repetida de la mano. Esta información es útil para decidir medidas preventivas concretas, como rediseñar alturas, acercar materiales, mejorar agarres, reducir fuerza manual, incorporar ayudas mecánicas o redistribuir tareas (7).

2.2.6. Legislación y normativa nacional vigente

La Ley N.º 29783, Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo, es la base principal de la prevención de riesgos laborales en el Perú. En el caso de la manufactura y el ensamblaje, esta ley obliga al empleador a identificar los peligros y evaluar los riesgos presentes en cada puesto de trabajo. Esto incluye revisar si el diseño de la línea, la velocidad de producción, la distribución de herramientas y la organización de la jornada pueden generar sobrecarga física o daño progresivo en el trabajador. Por tanto, los riesgos disergonómicos y psicosociales deben formar parte del IPERC y no tratarse como molestias normales del trabajo (46).

El Decreto Supremo N.º 005-2012-TR, Reglamento de la Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo, permite llevar esta obligación a la práctica. En una línea de ensamblaje, su importancia está en que exige una gestión preventiva organizada, con participación de los trabajadores, capacitaciones, vigilancia de la salud y evaluación continua de los riesgos. Esto es útil porque muchas veces la fatiga, el dolor de muñeca, hombro o espalda aparecen de manera progresiva y pueden pasar desapercibidos si no se escucha al trabajador o si no se revisan las condiciones reales del puesto (47).

La Resolución Ministerial N.º 375-2008-TR, Norma Básica de Ergonomía y de Procedimiento de Evaluación de Riesgo Disergonómico, es la norma más específica para este tema. Esta norma considera como factores de riesgo las posturas forzadas, los movimientos repetitivos, los sobreesfuerzos, la manipulación manual de cargas y la organización del trabajo. En manufactura y ensamblaje, esto se relaciona directamente con tareas como atornillar, colocar piezas, ajustar componentes, inspeccionar productos, empacar materiales o abastecer estaciones. Aunque muchas de estas tareas parezcan simples, pueden generar TME cuando se repiten durante toda la jornada sin pausas o rotación suficiente (8).

La Resolución Ministerial N.º 312-2011-MINSA, que aprueba los protocolos de exámenes médico ocupacionales, se relaciona con la vigilancia de la salud de los trabajadores. En el caso de las líneas de producción, estos exámenes ayudan a detectar de manera temprana problemas como dolor lumbar, tendinitis, síndrome del túnel carpiano o molestias en hombros y cuello. Esto es importante porque los TME suelen desarrollarse poco a poco, y si no se identifican a tiempo pueden volverse crónicos o limitar la capacidad laboral del trabajador (61).

Tabla 5. Aplicación normativa en la línea de producción manufacturera

Factor	Base normativa	Acción aplicada
Alta repetitividad	RM 375-2008-TR	Rotación y pausas
Carga física	Ley 29783 / RM 375	Ayudas mecánicas
Postura sostenida	RM 375-2008-TR	Ajuste del puesto
Diseño del puesto	DS 005-2012-TR	Control de alcances

Vigilancia	RM 312-2011-	Detección temprana
ocupacional	MINSA	

Fuente: Elaboración propia basada en Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo (2008) (8), Congreso de la República del Perú (2011) (46) y Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo (2012) (47) y Ministerio de Salud (2011) (61).

La normativa peruana exige que las empresas de manufactura y ensamblaje pasen de una respuesta reactiva a una prevención real por puesto de trabajo. Esto significa que no basta con cumplir la jornada laboral o entregar equipos de protección. La empresa debe demostrar que evaluó la repetitividad, los ciclos cortos, la postura, la carga física, el ritmo de producción y la vigilancia de la salud. En una línea de ensamblaje, prevenir TME implica ajustar el trabajo a las capacidades del trabajador y no permitir que la productividad dependa del desgaste físico acumulado (8).

2.2.7. Revisión comparativa: Normativa nacional vs. internacional

En el Perú, la gestión de la seguridad y salud en el trabajo se fundamenta en la Ley N.º 29783 y su reglamento, el D.S. N.º 005-2012-TR, los cuales establecen el deber de prevención y la integración de los riesgos laborales dentro del sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo (46).

Si bien la R.M. N.º 375-2008-TR constituye la principal norma ergonómica nacional al reconocer factores de riesgo como los movimientos repetitivos, las posturas forzadas y la manipulación manual de cargas, su enfoque sigue siendo general para tareas complejas dentro de líneas de producción de alta repetitividad (8).

Una limitación importante de la normativa nacional se observa en la recuperación muscular. La R.M. N.º 375-2008-TR reconoce la importancia de las pausas y de la organización del trabajo, pero no establece un cálculo específico del tiempo de recuperación según la intensidad de la tarea (8).

En cambio, la ISO 11228-3 permite orientar la evaluación de tareas de baja carga y alta frecuencia, como ocurre en el ensamblaje, inspección, empaque o manipulación repetida de piezas pequeñas (66).

En los puestos de microensamblaje, donde el peso manipulado puede ser bajo pero la frecuencia del movimiento es alta, la normativa peruana puede resultar insuficiente para diferenciar niveles de riesgo específicos (8). En estos casos, el método Hand Activity Level de la ACGIH permite relacionar la actividad manual con la fuerza aplicada, lo que resulta útil para valorar tareas repetitivas de mano, muñeca, antebrazo y codo (64).

También, la evaluación basada en TLV-HAL ha sido aplicada para estimar cargas laborales de mano y codo con mayor precisión técnica (65).

La normativa peruana también aborda la manipulación manual de cargas, pero se centra con mayor frecuencia en el levantamiento y no desarrolla con el mismo detalle las tareas de empuje y tracción (8).

En líneas de producción, esto es importante porque muchos trabajadores abastecen estaciones, empujan carros, trasladan bandejas, movilizan racks o retiran productos terminados. Para este tipo de tareas, la ISO 11228-2 permite evaluar específicamente el empuje y la tracción (67).

En relación con las posturas estáticas, la R.M. N.º 375-2008-TR reconoce el riesgo por posturas forzadas, pero su aplicación depende en gran parte del criterio del evaluador (8).

La ISO 11226 ofrece un enfoque más técnico para valorar posturas mantenidas, como cuello flexionado, espalda inclinada u hombros en tensión, frecuentes en puestos de inspección, control de calidad y ensamblaje electrónico (68).

Otro aspecto importante en las líneas de ensamblaje es la exposición a vibración mano-brazo, especialmente cuando se utilizan atornilladores eléctricos, herramientas neumáticas, pulidoras o equipos de impacto. Aunque estos factores pueden incorporarse dentro de la evaluación de riesgos laborales, con frecuencia se analizan de manera separada del resto de exigencias ergonómicas. La ISO 5349-1 permite evaluar la vibración transmitida a la mano y resulta útil cuando esta exposición se combina con fuerza de agarre, repetitividad y posturas incómodas de muñeca (32).

Esta exposición no debe interpretarse como un riesgo físico independiente, ya que en las líneas de ensamblaje suele coincidir con movimientos repetitivos, desviaciones de muñeca, fuerza manual y ritmos de trabajo sostenidos. Cuando el uso de herramientas se combina con movimientos asimétricos o posturas mantenidas, aumenta la carga sobre los miembros superiores y puede favorecer fatiga, dolor y pérdida progresiva de precisión durante la tarea. Por ello, la evaluación ergonómica debe considerar la interacción entre herramienta, postura, repetitividad y tiempo de exposición, más que analizar cada factor por separado (69).

Lo que la comparación normativa revela no es una deficiencia del marco peruano, sino un límite natural de cualquier regulación general cuando se aplica a contextos de alta especificidad técnica. La Ley N.º 29783 y sus normas complementarias establecen obligaciones reales de prevención, identificación de riesgos y vigilancia de la salud que, bien implementadas, constituyen una base sólida; el problema surge cuando esa base se toma como punto de llegada y no como punto de partida (46).

Cuantificar la actividad manual en relación con la fuerza aplicada, diferenciar posturas mantenidas de posturas dinámicas, incorporar la vibración de herramientas dentro del análisis ergonómico global y calcular tiempos de recuperación según la intensidad real de la tarea son operaciones que los métodos nacionales no desarrollan con el mismo nivel de detalle (8, 65, 66, 68).

Tabla 6. Normativa nacional versus estándares internacionales aplicados a líneas de ensamblaje

Aspecto	Normativa peruana	Estándar técnico	Aplicación
Recuperación muscular	Pausas generales	ISO 11228-3	Ciclos de descanso
Alta repetitividad	Reconocimiento cualitativo	ACGIH-HAL	Microensamblaje
Empuje y tracción	Enfoque general	ISO 11228-2	Racks y bandejas
Carga manual	RM 375-2008-TR	NIOSH / ISO 11228	Peso y frecuencia
Postura sostenida	Criterio general	ISO 11226	Posturas estáticas

Fuente: Elaboración propia basada en la R.M. N.º 375-2008-TR (8), Waters et al. (1994) (62), ACGIH (2024) (64), Seidel et al. (2021) (65), ISO 11228-3 (66), ISO 11228-2 (67) e ISO 11226 (68).

2.2.8. Análisis crítico

El análisis del sector industria aporta una evidencia que con frecuencia queda subrepresentada en la literatura sobre riesgos laborales: los trastornos musculoesqueléticos no requieren grandes cargas ni esfuerzos extremos para desarrollarse. La repetición de ciclos cortos, cuando se sostiene durante horas en una postura mantenida, genera una acumulación de microtraumatismos que el cuerpo no logra resolver entre turno y turno, y cuyo daño se vuelve clínicamente visible solo cuando ya ha comprometido la funcionalidad del trabajador (5).

El diseño del puesto y la organización del proceso son, en ese marco, determinantes que anteceden al riesgo. La altura de la superficie de trabajo, la distancia entre el operario y sus materiales, la fuerza requerida por la tarea, la velocidad del ciclo y la demanda atencional sostenida modifican de forma directa la carga sobre muñecas, manos, cuello y espalda. Por esa razón, la prevención eficaz no puede concentrarse en el comportamiento del trabajador; debe intervenir sobre la ingeniería del puesto y sobre la gestión del ritmo productivo antes de que la exposición acumulada supere la capacidad de recuperación del organismo (60).

La brecha identificada entre la normativa nacional y los criterios técnicos internacionales no refleja una deficiencia regulatoria en sentido estricto, sino una diferencia de escala y propósito. La R.M. N.º 375-2008-TR establece el marco de obligaciones preventivas, pero no fue concebida para resolver la granularidad que exige la evaluación de líneas de alta repetitividad. Los métodos de NIOSH, ACGIH e ISO no la reemplazan; la completan, y su incorporación en la práctica evaluativa es lo que permite traducir el mandato normativo en intervenciones con capacidad real de reducir el daño (8).

Aplicar un procedimiento ergonómico uniforme en una línea de ensamblaje sin distinguir el tipo de tarea ni el segmento corporal comprometido produce evaluaciones que describen el puesto pero no orientan la intervención. Un puesto de ensamblaje electrónico —donde el riesgo se concentra en movimientos de pinza, desviación de muñeca y flexión cervical sostenida— exige criterios distintos a los de un puesto de abastecimiento donde el trabajador empuja carros y moviliza materiales repetidamente; y esa distinción no es de forma, sino de fondo: determina

qué instrumento corresponde aplicar y qué medida tiene posibilidades reales de reducir la carga (43, 52).

En una línea de producción, la coherencia entre la región anatómica afectada y las exigencias físicas del puesto es lo que permite distinguir una lesión de origen laboral de una patología sin vínculo ocupacional claro. Identificar dolor, rigidez o limitación funcional es necesario, pero insuficiente: el valor diagnóstico real aparece cuando ese hallazgo se relaciona con la tarea concreta que lo produce, considerando qué movimiento se repite, con qué frecuencia, en qué postura y durante cuántas horas consecutivas. Sin esa relación, la intervención se dirige al trabajador cuando debería dirigirse al proceso (58, 59).

La repetitividad no genera el mismo perfil de riesgo en todos los contextos manufactureros. En el ensamblaje de vehículos, la carga se concentra en el ajuste de piezas y el uso de herramientas, con mayor compromiso de hombros y región lumbar. En la manufactura de electrónicos, el problema es más fino y menos evidente: movimientos de precisión, tensión cervical acumulada y esfuerzo sostenido de mano que no supera umbrales de fuerza pero se mantiene durante horas. Asumir que estas exposiciones son variantes de un mismo fenómeno conduce a intervenciones que no responden con precisión a ninguna de ellas (55, 56).

La vigilancia de la salud ocupacional llega tarde cuando opera de forma reactiva y desvinculada del puesto. Registrar síntomas como fatiga, adormecimiento o pérdida de fuerza tiene valor limitado si ese registro no se asocia sistemáticamente con las condiciones de trabajo que los generan; en las líneas de ensamblaje, donde los trastornos se construyen de forma progresiva y silenciosa, la detección temprana depende de que el examen médico esté diseñado para buscar los signos que

corresponden a la exposición real de cada tarea y no solo los que son estadísticamente frecuentes en el sector (61).

Lo que las tecnologías de medición objetiva aportan a la evaluación ergonómica no es precisión por sí misma, sino la capacidad de identificar exposiciones que el juicio observacional convencional suele pasar por alto. Sensores inerciales para estimar variables de levantamiento y electromiografía para cuantificar la carga sobre miembros superiores resultan especialmente útiles en tareas donde el esfuerzo es bajo pero sostenido, porque en esos casos la apariencia de la tarea no refleja su costo biomecánico real. El criterio clínico sigue siendo indispensable; estas herramientas lo complementan donde el ojo no alcanza (63, 65).

Modificar el puesto laboral en lugar de exigir al trabajador que se adapte a su estación es una alternativa a considerar. El valor de esta intervención está en reducir los factores de riesgo y mejorar la ergonomía en los operarios de producción (69).

Los reclamos por TME en este sector no deben interpretarse solo como eventos administrativos. Analizarlos permite identificar las zonas más afectadas y en qué estaciones o puestos laborales ocurren con más frecuencia. También son una señal temprana de fallas en la prevención y así poder modificar las medidas implementadas (70).

2.3. CAPÍTULO III: TME EN MINERÍA SUBTERRÁNEA Y A CIELO ABIERTO: VIBRACIÓN DE CUERPO ENTERO, POSTURAS FORZADAS EN ESPACIOS CONFINADOS Y MANEJO MANUAL DE CARGAS

2.3.1. Exposición biomecánica en minería según modalidad

El esfuerzo minero no se limita al levantamiento esporádico de peso ni a la operación de controles; se desarrolla en jornadas prolongadas, terrenos inestables, espacios restrictivos, exposición a vibraciones y condiciones ambientales adversas. En este contexto, los TME suelen instaurarse como resultado de una sobrecarga acumulativa que compromete principalmente la columna lumbosacra, la región cervical, los hombros, las rodillas y los miembros superiores (71).

La exposición biomecánica en minería presenta diferencias relevantes según el tipo de operación, las condiciones del entorno y la organización de las tareas. Aunque la minería a cielo abierto y la minería subterránea comparten factores de riesgo para trastornos musculoesqueléticos, los mecanismos de sobrecarga no son equivalentes. En las operaciones de superficie predomina la exposición asociada a maquinaria pesada, vibración de cuerpo entero, sedestación prolongada y carga mecánica acumulativa. En la modalidad subterránea es diferente. Hay más espacios reducidos, las posturas forzadas el entorno y las adversidades del entorno (72).

La operación prolongada de maquinaria pesada en minería a cielo abierto impone sobre la columna una carga que no siempre es visible desde fuera de la cabina. El operador permanece sentado durante horas mientras el equipo transmite vibración a través del asiento, principalmente en rangos de baja frecuencia que la columna absorbe con menor tolerancia. Lo que agrava este escenario no es un solo factor,

sino su combinación: la vibración sostenida, el cuello flexionado para controlar el entorno, los giros de tronco frecuentes y la ausencia de pausas en terrenos irregulares producen una exigencia acumulada que la musculatura paravertebral no logra compensar sin consecuencias (73).

Esa combinación de vibración y postura no neutra explica por qué los operadores de maquinaria pesada reportan con mayor frecuencia molestias lumbares, cervicales y dorsales que trabajadores de otros puestos del mismo sector. El cuerpo no responde solo a cuánto vibra la máquina, sino a cómo está colocado mientras la conduce: hombros parcialmente elevados, cuello en tensión, tronco girado para observar el entorno. Cada uno de estos factores suma carga sobre segmentos que ya están absorbiendo vibración, y el resultado es una fatiga muscular que se instala de forma progresiva a lo largo del turno (74).

La minería subterránea presenta un perfil biomecánico distinto, condicionado desde el inicio por la geometría del espacio. Las galerías estrechas y los techos bajos no permiten adoptar posturas neutras: el trabajador inclina el tronco, se arrodilla, gira la espalda o eleva los brazos no porque la tarea lo requiera en abstracto, sino porque el entorno no deja otra opción. Estos ajustes posturales no son amplios ni llamativos, pero se sostienen durante toda la jornada y acumulan carga sobre la espalda, las rodillas y los hombros de una manera que los métodos observacionales convencionales tienden a subestimar (75).

A esto se suma que el manejo manual de cargas en galería no ocurre en condiciones controladas. Mover mallas, puntales o perforadoras portátiles sobre superficies húmedas e irregulares obliga al cuerpo a resolver simultáneamente la tarea y el equilibrio, activando con mayor intensidad la musculatura del tronco y los

miembros inferiores para compensar la inestabilidad del terreno. Esa exigencia añadida, cuando se repite a lo largo de la jornada, se traduce en dolor lumbar, distensión muscular y molestias por tracción sostenida que no siempre se vinculan al mecanismo real que las produce (76).

La comparación entre ambos escenarios permite identificar patrones diferenciados de exposición. La tabla siguiente resume esa distinción para evitar una lectura generalista del riesgo minero (59).

Tabla 7. Diferencias críticas de exposición biomecánica según modalidad minera

Dimensión	Cielo abierto	Subterránea	Implicancia
Exposición dominante	VCE y sedestación	Posturas y cargas	Protocolos diferenciados
Entorno	Rutas e impactos	Galerías estrechas	Carga acumulativa
Tarea crítica	Conducción prolongada	Perforación y acarreo	Controles específicos
Región afectada	Lumbar y cuello	Lumbar y hombro	Vigilancia dirigida
Control preventivo	Vías y suspensión	Mecanización y ventilación	Ingeniería prioritaria

Fuente: Elaboración propia basada en Kumar et al. (2022) (6), Shaikh et al. (2022) (71) y Lynas y Burgess-Limerick (2020) (73).

2.3.2. Operación de maquinaria pesada: análisis técnico de la exposición a vibración de cuerpo entero (VCE)

En la minería a cielo abierto, uno de los focos críticos de riesgo se concentra en operadores de camiones de acarreo y maquinaria pesada de movimiento de tierras. Estos trabajadores permanecen en sedestación prolongada mientras reciben energía mecánica de la vibración de cuerpo entero transmitida a través del asiento, condición que puede alterar la nutrición por difusión del disco intervertebral, fatigar la musculatura estabilizadora del core y favorecer dolor lumbar crónico (6).

La vibración no actúa de forma aislada; interactúa con la postura del operador. Aunque el trabajador permanezca sentado, las demandas operativas pueden exigir rotación del tronco, flexión lateral del cuello, tensión isométrica de hombros y movimientos repetitivos de extremidades superiores para controlar mandos. La combinación de vibración con flexión o rotación de columna incrementa las fuerzas de cizallamiento, por lo que el diseño de cabina, la suspensión del asiento, la ubicación de controles y el campo visual son elementos preventivos relevantes (77). Las condiciones operacionales de superficie también modifican la exposición: topografía irregular de rampas y vías de acarreo, velocidad de tránsito, estado de los sistemas de amortiguación y extensión de las jornadas de conducción pueden amplificar la aceleración transmitida al operador. Esto ayuda a explicar por qué el personal asignado al transporte de material rodante puede presentar mayor riesgo de patologías lumbares que otros operadores de maquinaria estacionaria o de superficie (78).

La operación de maquinaria pesada en la industria extractiva y en actividades de movimiento de tierras constituye un escenario de especial interés para la salud

ocupacional, debido a la exposición sostenida a vibraciones de cuerpo entero. Esta exposición se produce cuando la energía mecánica generada por el equipo, el motor, la suspensión y las irregularidades del terreno se transmite al organismo a través de las superficies de apoyo, principalmente el asiento en trabajadores sedentes (79).

La vibración de cuerpo entero se mide en el mismo puesto de trabajo. Para ello suele colocarse un acelerómetro triaxial en el asiento del operador o en el punto donde el cuerpo recibe la vibración. En equipos como camiones mineros, cargadores frontales o montacargas, el movimiento no llega siempre igual. A veces se transmite hacia la columna, otras veces hacia adelante, hacia atrás o hacia los lados, sobre todo cuando el terreno es irregular. La ISO 2631-1 permite ordenar esos datos mediante la aceleración ponderada, la exposición diaria normalizada y la dosis de vibración, con el fin de estimar la carga que recibe el trabajador durante la jornada. Estos indicadores permiten estimar no solo la magnitud de la vibración, sino también la forma en que esta energía mecánica puede ingresar al cuerpo del operador durante la jornada laboral (80).

En equipos pesados como camiones mineros, volquetes, bulldozers, palas mecánicas y cargadores, la vibración suele presentarse en rangos de baja frecuencia y con variaciones importantes según el terreno, la velocidad, el tipo de equipo y el estado de la vía. En minería a cielo abierto, los operadores pueden transitar por rampas, botaderos y superficies irregulares, lo que incrementa la presencia de impactos y picos de aceleración. Así, además de la exposición promedio, resulta importante valorar la dosis vibratoria acumulada y los eventos transitorios de mayor intensidad, ya que estos pueden aumentar la carga biomecánica sobre la columna lumbar (81).

La exposición prolongada a vibración de cuerpo entero puede contribuir al desarrollo de dolor lumbar, fatiga paravertebral y alteraciones funcionales asociadas a la carga acumulativa. La columna vertebral responde a la vibración como un sistema viscoelástico formado por discos intervertebrales, articulaciones facetarias, ligamentos y músculos estabilizadores. Cuando la vibración se mantiene durante largos periodos, se generan microciclos repetidos de compresión y descompresión que pueden aumentar la exigencia mecánica sobre los discos y favorecer molestias lumbares persistentes, sobre todo si se combinan con sedestación prolongada o posturas no neutras (82).

La evidencia experimental en aplicaciones de maquinaria pesada minera también muestra que la vibración de cuerpo entero puede analizarse como una exposición con efectos fisiológicos, no solo mecánicos. Aunque las exposiciones agudas pueden no producir cambios inmediatos evidentes en biomarcadores de inflamación, estrés oxidativo o daño muscular, los estudios resaltan la importancia de considerar la exposición repetida y crónica como un componente relevante del riesgo ocupacional. Esto refuerza la necesidad de evaluar la vibración en condiciones reales de operación y no únicamente desde mediciones aisladas de corta duración (83).

El riesgo biomecánico se incrementa cuando la vibración se combina con posturas no neutras durante la conducción. El operador puede mantener flexión cervical, torsión axial del tronco o movimientos repetidos para visualizar el entorno, controlar la maquinaria o realizar maniobras en espacios complejos. Cuando estas posturas coinciden con impactos verticales o laterales, aumentan las fuerzas de compresión y cizallamiento sobre la columna lumbar. Esta situación puede

favorecer fatiga muscular, espasmo paravertebral, dolor lumbar persistente y reducción progresiva de la movilidad funcional (79).

El control de la vibración de cuerpo entero requiere intervenciones técnicas y organizacionales. Así, la gestión ergonómica de maquinaria pesada debe orientarse a disminuir la energía vibratoria transmitida al trabajador y a reducir la exposición acumulada durante la jornada (79).

2.3.3. Labores en socavón

En la minería subterránea, el espacio condiciona la forma de trabajar desde el inicio. No siempre hay margen para mantener una postura cómoda o moverse con libertad. Las galerías estrechas, los techos bajos, la humedad, el suelo irregular y la poca iluminación obligan al trabajador a inclinar el tronco, girar la espalda, apoyar las rodillas o trabajar en cuclillas durante parte de la jornada. En esas condiciones, la carga no depende solo del esfuerzo físico, sino también de cómo el cuerpo se adapta al socavón para poder completar la tarea (84).

El análisis del trabajo femenino en minería subterránea muestra el riesgo ergonómico desde el género. En socavón, muchas tareas y equipos han sido diseñados históricamente para una fuerza, talla y alcance corporal masculinos. Esta situación no implica menor capacidad laboral de las mujeres, sino la necesidad de adaptar equipos, tareas y condiciones de trabajo a una fuerza laboral más diversa (85).

La evidencia en mineros de carbón muestra que las molestias musculoesqueléticas son frecuentes en labores subterráneas. El problema no se limita a levantar peso o realizar actividades de alta fuerza en este sector. También intervienen la permanencia en posturas incómodas, la repetición de movimientos y la falta de

espacio para ejecutar la tarea dentro de rangos articulares seguros. En la práctica, el trabajador muchas veces no elige la postura; la adopta porque el frente de trabajo se lo impone (86).

Las tareas de perforación, sostenimiento, acarreo y preparación del frente suelen exigir flexión del tronco, torsión lumbar, apoyo de rodillas o elevación de los brazos. Cuando estas posiciones se mantienen o se repiten durante varias horas, la carga se concentra en espalda, cuello, hombros y rodillas. En el caso de la rodilla, el trabajo en cuclillas o con flexión marcada puede aumentar la presión sobre la articulación y favorecer dolor anterior, bursitis o lesiones por sobreuso. No es un daño inmediato. Se construye con la repetición y con la falta de recuperación suficiente entre tareas (87).

El hombro también puede verse comprometido en las tareas mineras, sobre todo cuando el trabajador instala pernos, sostiene barras, manipula perforadoras o trabaja con los brazos elevados en galerías, frentes de avance o zonas de sostenimiento. En estas actividades, el manguito rotador recibe una carga constante, más aún cuando la herramienta exige fuerza, precisión o vibración. La elevación repetida o mantenida del brazo puede irritar las estructuras subacromiales y favorecer dolor, pérdida de fuerza y dificultad para sostener herramientas durante la jornada. En minería subterránea, este problema se vuelve más evidente porque el espacio reducido muchas veces obliga a trabajar por encima del hombro o en posiciones poco cómodas (31).

En trabajadores de una mina de oro en South Kivu, República Democrática del Congo, Okello et al. reportaron una carga importante de trastornos musculoesqueléticos relacionados con el trabajo. Este hallazgo es relevante porque

muestra que los TME en minería no son un problema aislado de un tipo de mineral o país. Se repiten en contextos donde predominan tareas físicamente exigentes, manipulación de materiales, trabajo manual y condiciones ambientales poco controladas (87).

El manejo manual de cargas en socavón no ocurre sobre pisos estables ni en espacios amplios. Las mallas, puntales, herramientas, tuberías u otros materiales suelen movilizarse sobre superficies húmedas, con lodo, rocas sueltas o desniveles. El trabajador carga, gira, empuja y al mismo tiempo intenta mantener el equilibrio. Esa exigencia aumenta el trabajo de la musculatura del tronco y de los miembros inferiores, con mayor carga sobre la zona lumbar cuando la tarea se repite durante la jornada (88).

Las intervenciones ergonómicas en minería subterránea deben partir del puesto real. La experiencia del operador ayuda a reconocer qué movimientos fatigan más, qué tareas generan mayor riesgo y qué controles pueden aplicarse dentro de una galería estrecha, húmeda o con poca visibilidad. Una solución puede parecer adecuada en el papel, pero fallar cuando no considera el espacio, la herramienta, el terreno o la forma en que se organiza la tarea (89).

La prevención debe modificar la tarea, el equipo y el entorno inmediato de trabajo. Corregir la postura del trabajador ayuda, pero no resuelve el problema si el puesto sigue obligándolo a trabajar en posiciones forzadas (89).

2.3.4. Tareas de perforación y acarreo manual

En minería subterránea, la perforación y el acarreo concentran buena parte de la carga física del trabajo. No es solo fuerza muscular. También intervienen la vibración de las herramientas, las posturas obligadas, el desplazamiento en espacios

reducidos y el manejo de materiales sobre pisos irregulares. En frentes de avance con poca mecanización, el trabajador sostiene equipos, transporta insumos y acomoda el cuerpo según el espacio disponible. Con el paso de la jornada, esa exigencia se acumula en columna lumbar, hombros, antebrazos, manos, rodillas y tobillos (73).

El espacio del socavón marca el ritmo y la forma de trabajar. En piques o pozos mineros de pequeña escala, se ha descrito un ciclo que incluye perforación neumática manual, voladura, ventilación, retiro de material, perfilado del frente y sostenimiento. En el caso analizado por Medeiros da Luz et al., el pozo tenía una sección de 3,7 m × 2,0 m y una profundidad de 94 m, dimensiones que dejaban poco margen al perforista y a su ayudante. En un ambiente así, extender los brazos, acercar la carga al cuerpo o mantener una postura neutra deja de ser una decisión del trabajador y pasa a depender del espacio real donde se ejecuta la tarea (90).

La perforación manual exige sostener y controlar una herramienta que transmite fuerza y vibración de manera continua. El perforista debe ajustar el equipo frente a cambios en la dureza de la roca, desviaciones del barreno y movimientos propios del contacto entre la broca y el macizo rocoso. Los brazos guían la herramienta, el tronco corrige el balance y las piernas ayudan a sostener el equilibrio. La fatiga aparece por el peso del equipo, pero también por mantener contracciones musculares durante varios minutos y repetir el mismo esfuerzo a lo largo del turno (73).

La contracción isométrica sostenida tiene relevancia fisiopatológica. En la práctica, este mecanismo se expresa como dolor, pérdida de fuerza, temblor fino, disminución del control motor y mayor riesgo de lesiones por sobreuso. En

perforación, las estructuras más comprometidas suelen ser el manguito rotador, el deltoides, los flexores del antebrazo, la musculatura paravertebral y la región cervical (73).

La vibración mano-brazo aumenta la carga sobre el sistema osteomioarticular. Sridhar et al. evaluaron operadores de equipos LHD de carguío, acarreo y descarga de mineral (Load Haul Dumpers) en minas subterráneas, analizando cuatro fases del ciclo: mucking o recogida/limpieza del mineral suelto, traslado cargado, descarga y retorno vacío. Las mayores respuestas vibratorias se registraron durante el mucking, seguido del retorno vacío. De los ocho equipos evaluados, tres superaron el valor de acción de exposición diaria de $2,5 \text{ m/s}^2$, con un máximo de $2,9 \text{ m/s}^2$. El estudio estimó riesgo de trastornos neurovasculares, como blanqueamiento de dedos inducido por vibración, en un horizonte aproximado de 12 años de vida laboral en los operadores expuestos (91).

Este hallazgo permite reconocer que el riesgo no se concentra solo en el momento de transportar el material. El ciclo de acarreo también tiene fases críticas. Durante el mucking, el equipo interactúa directamente con el mineral fragmentado y el terreno irregular, lo que incrementa la vibración y los impactos transmitidos al operador. Durante el retorno vacío, la menor masa transportada puede aumentar el rebote del equipo sobre superficies irregulares. En minería subterránea, estos ciclos se repiten muchas veces durante la jornada, generando una exposición acumulativa que puede comprometer manos, muñecas, codos, hombros y columna (91).

El acarreo manual de mineral, barrenos, maderas de sostenimiento, mallas o herramientas pesadas agrega otro componente de riesgo. En el socavón, el levantamiento no se realiza sobre superficies amplias, secas y estables. El trabajador

puede desplazarse sobre lodo, agua de filtración, roca suelta, pendientes, iluminación limitada y zonas estrechas. Estas condiciones dificultan acercar la carga al cuerpo, obligan a girar el tronco y reducen la estabilidad de los apoyos. El riesgo lumbar no depende únicamente del peso de la carga, sino también de la distancia horizontal, la asimetría del movimiento, la frecuencia de levantamiento, la altura de agarre y la calidad del agarre (92).

La prevención debe centrarse en el rediseño del ciclo operativo. Rodríguez-Ruíz et al. plantean un procedimiento aplicado a minería subterránea que organiza la gestión ergonómica en identificación de peligros, evaluación del riesgo, propuesta de mejoras, implementación y seguimiento. Las capacitaciones en higiene postural son insuficientes. Deben modificarse las herramientas y condicionar los suelos para realizar las tareas óptimamente (93).

Las medidas preventivas deben responder a lo que ocurre en el frente de trabajo. En perforación, conviene reducir el peso efectivo del equipo, mejorar la amortiguación de las empuñaduras, usar apoyos o pies de avance cuando sea posible, mantener las herramientas en buen estado y alternar tareas que no carguen siempre los mismos grupos musculares. En acarreo, la prioridad es disminuir el levantamiento manual y el traslado prolongado: estabilizar pisos, retirar roca suelta, controlar filtraciones, usar carros de bajo perfil, winches, baldes izables o rieles puede reducir maniobras forzadas en espacios estrechos (94).

En minería a cielo abierto, la perforación también influye en el trabajo que viene después de la voladura. Cuando la roca estéril queda en fragmentos grandes o irregulares, la carga se vuelve más difícil y el acarreo exige más al equipo y al

operador. Un buen patrón de perforación ayuda a que el material se retire con menos maniobras, menor empuje auxiliar y mejor continuidad en el frente de trabajo (95).

2.3.5. Métodos de evaluación ergonómica in situ documentados en informes técnicos e investigaciones aplicadas

La evaluación ergonómica en minería subterránea enfrenta una restricción que no aparece en otros entornos industriales: el método debe funcionar donde las condiciones no son controladas. La iluminación limitada, el espacio reducido, la humedad y la dificultad para registrar video o instalar equipos de medición fijos obligan a combinar herramientas que sean rápidas, portátiles y aplicables durante la tarea real. Por esa razón, la práctica evaluativa en este sector suele articular tres líneas complementarias: observación postural sistemática, medición instrumental de vibraciones y cuestionarios estandarizados de síntomas musculoesqueléticos (7). Dentro de los métodos observacionales, la elección del instrumento no es indiferente al tipo de tarea. REBA resulta adecuado cuando la exposición involucra el cuerpo en su conjunto, como ocurre en perforación, sostenimiento, limpieza y acarreo, porque fue diseñado para capturar el compromiso postural global incluyendo inestabilidad, carga dinámica y movimientos en planos múltiples (96). RULA, en cambio, gana precisión cuando el problema se concentra en miembros superiores, cuello y tronco, especialmente en tareas que combinan agarre sostenido, aplicación de fuerza y vibración transmitida por herramientas manuales (97).

La diferencia entre ambos no es de jerarquía sino de foco: aplicar RULA donde corresponde REBA, o viceversa, produce una evaluación técnicamente correcta pero clínicamente poco útil (96,97).

OWAS aporta una dimensión que los dos métodos anteriores no cubren con la misma eficacia: la distribución temporal de las posturas a lo largo del ciclo de trabajo. En tareas de larga duración como el rezagado, el transporte manual o el acarreo repetitivo, lo relevante no es solo qué postura adopta el trabajador sino cuánto tiempo permanece en ella y con qué frecuencia la repite. OWAS clasifica esa distribución y estima la urgencia de intervención según la proporción del turno que el operario pasa en posturas de riesgo, lo que lo convierte en un complemento necesario cuando el daño se construye por acumulación y no por eventos puntuales de alta exigencia (98)

La vibración transmitida a mano y brazo necesita una evaluación específica, sobre todo en tareas de perforación manual, uso de martillos neumáticos o manejo de herramientas vibrátiles. En estos casos, la ISO 5349-1:2001 permite estimar la exposición del trabajador y valorar el riesgo asociado al uso sostenido de este tipo de equipos. Esta norma establece criterios para medir la exposición a vibración mano-brazo mediante aceleraciones ponderadas en frecuencia. Su aplicación permite estimar el riesgo de trastornos neurovasculares, alteraciones sensitivas, fatiga de antebrazo y síndrome de vibración mano-brazo (32).

En operadores de equipos de acarreo, camiones, dumpers, locomotoras o equipos LHD (Load Haul Dumpers), la evaluación se orienta a la vibración de cuerpo entero. En este caso, se aplica la ISO 2631-1 (International Organization for Standardization), que considera la aceleración transmitida al cuerpo a través del asiento o superficie de apoyo. Esta medición permite valorar exposición lumbar, impacto de caminos irregulares, choques, vibración acumulada y riesgo de dolor lumbar en operadores de maquinaria pesada (80).

Los cuestionarios de síntomas son necesarios porque muchos trastornos musculoesqueléticos inician con molestias leves antes de convertirse en lesiones incapacitantes. El Cuestionario Nórdico de Kuorinka permite identificar dolor o discomfort por región corporal y relacionarlo con la tarea realizada, el método ergonómico aplicado y el tiempo de exposición (99).

La evaluación in situ no debe depender de un solo instrumento. Un análisis más completo combina observación postural, medición de vibración y autorreporte de síntomas. En perforación, pueden integrarse REBA o RULA, ISO 5349-1 y Cuestionario Nórdico. En acarreo o transporte de mineral, pueden combinarse REBA u OWAS, ISO 2631-1 cuando existe maquinaria, y evaluación clínica de molestias lumbares o de miembros inferiores. Esta integración permite pasar de una descripción general del riesgo a una priorización más precisa de medidas preventivas (99).

Por la combinación de vibración, postura, carga y síntomas, la evaluación minera requiere métodos complementarios. La siguiente matriz ordena qué instrumento corresponde a cada exposición y qué decisión preventiva permite tomar (32).

Tabla 8. Métodos de evaluación ergonómica aplicables a exposiciones mineras

Exposición	Método	Qué mide	Uso práctico
Posturas forzadas	REBA/RULA	Cuerpo y miembros superiores	Perforación y sostenimiento
Manejo de cargas	Ecuación NIOSH	Peso, frecuencia y agarre	Traslado de materiales
Vibración cuerpo entero	ISO 2631	Aceleración y duración	Camiones y equipos

Exposición	Método	Qué mide	Uso práctico
Vibración mano-brazo	ISO 5349	Aceleración en mano	Herramientas vibrátiles
Síntomas	Cuestionario nórdico	Región y frecuencia	Vigilancia ocupacional

Fuente: Elaboración propia basada en Waters et al. (1994) (62), ISO 2631-1 (1997) (80), Hignett y McAtamney (2000) (96) y McAtamney y Corlett (1993) (97).

2.3.6. El impacto de los factores ambientales (terreno, espacio, temperatura) como agravantes del riesgo biomecánico

Los factores ambientales en minería no actúan como elementos secundarios del riesgo ergonómico. El terreno, el espacio disponible y la temperatura modifican la forma en que el trabajador se mueve, sostiene cargas, mantiene el equilibrio y responde a la fatiga. En operaciones subterráneas y de superficie, estas condiciones pueden aumentar la demanda biomecánica aun cuando la tarea principal no cambie. De ahí que el análisis de los trastornos musculoesqueléticos debe considerar no solo la postura o la fuerza aplicada, sino también el ambiente donde se ejecuta el trabajo (100).

El terreno es uno de los principales amplificadores del riesgo. En minería de superficie, los caminos de acarreo, rampas, zonas de descarga y vías irregulares incrementan la exposición a vibración de cuerpo entero en operadores de camiones y maquinaria pesada. Rahimdel et al. evaluaron el riesgo vibracional en camiones

mineros y señalaron que las condiciones de operación influyen directamente en la salud y seguridad del conductor (101).

La revisión de Duarte et al. permite entender que la vibración en minería no depende solo del tipo de equipo. También cambia según la tarea, el estado del camino, la postura del operador y la forma en que se mide la exposición. En una misma operación, el riesgo puede aumentar si el terreno es irregular, si la cabina amortigua poco o si el trabajador debe conducir en una postura incómoda durante varias horas (82).

El espacio reducido también modifica la forma de trabajar. Mokwena et al. describen que, en minería subterránea de carbón, el diseño del puesto, las dimensiones del equipo y las exigencias físicas del entorno pueden aumentar el riesgo ergonómico. En galerías estrechas o zonas de circulación limitada, mantener una postura cómoda deja de ser sencillo y el cuerpo termina adaptándose al espacio disponible (85).

En minas metálicas, el dolor lumbar aparece como un problema relevante. Zenda et al. encontraron asociación entre lumbalgia, condiciones laborales y factores ergonómicos en trabajadores de una mina de níquel en Zimbabwe. Este hallazgo ayuda a sostener que la espalda baja no se afecta solo por levantar peso, sino también por el terreno, la postura, el tipo de tarea y la organización del trabajo (88).

La temperatura agrega otra exigencia al trabajo subterráneo. Huang et al. analizaron el peligro térmico en excavaciones profundas y señalaron la necesidad de evaluar el calor como parte de la prevención minera. En estos ambientes, el calor puede acelerar la fatiga, reducir la tolerancia al esfuerzo y hacer más difícil la recuperación durante la jornada (100).

Bian y Li evaluaron el confort térmico en tajos profundos de la mina de oro Xiadian, en China, y mostraron que la profundidad se asocia con incremento de la carga térmica y deterioro del confort laboral. Al calor se le suma el esfuerzo físico, la ventilación limitada y las restricciones propias del trabajo subterráneo (102).

De manera integrada, los factores ambientales —terreno, espacio y temperatura— intensifican el riesgo biomecánico en minería, al aumentar la vibración, limitar la movilidad segura y acelerar la fatiga. Por esa razón, la prevención debe integrar medidas sobre el entorno de trabajo, como mejora de vías, control de vibraciones, adaptación del puesto, ventilación adecuada y reducción de la exposición al calor (103).

2.3.7. Tecnologías de amortiguación, mecanización de tareas y controles de ingeniería en el sector minero

Las tecnologías de control en minería deben actuar sobre la fuente del riesgo. En este sector, las medidas más relevantes incluyen la reducción de vibraciones, el rediseño mecánico de equipos, la automatización de tareas críticas y la electrificación de flotas subterráneas. Estas intervenciones tienen mayor valor preventivo cuando reducen la exposición directa del trabajador y no se limitan a exigir “mejor postura” o mayor cuidado individual (94).

En perforación manual, los controles antivibración son importantes por el contacto directo del trabajador con la herramienta. Kremer et al. evaluaron guantes y mangos antivibración en perforadoras tipo jackleg. El estudio mostró que estos controles pueden reducir parcialmente la vibración mano-brazo, pero también pueden modificar el agarre y aumentar el esfuerzo muscular del antebrazo. Este hallazgo es relevante porque demuestra que un control de ingeniería debe evaluarse de forma

integral: reducir la vibración no siempre es suficiente si la solución aumenta la fuerza de prensión, la fatiga o la tensión tendinosa (94).

En maquinaria pesada de superficie, la amortiguación y la suspensión son componentes esenciales para disminuir la vibración transmitida al operador. Xiao et al. analizaron la amortiguación por partículas en camiones mineros y describieron su potencial para mejorar el confort de marcha mediante la disipación de energía vibratoria (104).

Zhao et al. evaluaron la optimización de la suspensión delantera de doble horquilla en camiones mineros de gran tonelaje, destacando que el diseño de la suspensión influye en la estabilidad y en la reducción de aceleraciones transmitidas a la cabina. Estas tecnologías son relevantes porque el control de la vibración no depende solo del asiento, sino del sistema vehículo–terreno–suspensión (105).

La mecanización puede reducir parte de la carga física en tareas mineras que exigen fuerza, repetición y permanencia en zonas de riesgo. En minería subterránea, los equipos LHD realizan carguío, acarreo y descarga en espacios estrechos, donde el operador está expuesto a vibración, impactos y maniobras repetidas. El sistema autónomo de carga desarrollado para estos equipos busca intervenir justo en el momento en que el balde entra en contacto con el material fragmentado, una fase donde suelen aparecer golpes, rebotes y ajustes constantes del equipo. Al automatizar esa parte del ciclo, se puede disminuir la exposición directa del operador en el frente de trabajo y trasladar parte de la tarea hacia funciones de supervisión (106).

La conducción no tripulada apunta en una dirección similar. En el transporte minero, los trayectos repetidos, el polvo, el ruido, la vibración y el riesgo de colisiones forman parte de la rutina operativa. Las

tecnologías de conducción autónoma pueden reducir esa exposición directa, aunque no eliminan todos los riesgos. Cambia el tipo de exigencia: el operador deja de estar dentro del equipo durante toda la tarea, pero aparece la necesidad de diseñar bien los puestos de monitoreo remoto, donde pueden presentarse sedestación prolongada, fatiga visual y alta demanda de atención (91). La electrificación de equipos subterráneos también puede mejorar las condiciones de trabajo. Los vehículos eléctricos de batería reducen emisiones diésel, calor generado por los equipos y demanda de ventilación en mina. Esto tiene impacto ergonómico, porque el calor y la mala ventilación aumentan la fatiga y hacen más difícil sostener tareas físicas durante la jornada. (107).

Estas tecnologías no deben verse como soluciones aisladas. Su valor está en reducir la exposición desde el diseño del proceso: menos vibración directa, menor permanencia en zonas críticas, menos calor y menor dependencia del esfuerzo físico del trabajador. La prevención gana fuerza cuando modifica el equipo, el ciclo operativo y el ambiente de trabajo, en lugar de limitarse a pedir mayor cuidado o resistencia individual (108).

2.3.8. Análisis crítico

La evaluación ergonómica en minería debe superar la descripción genérica del puesto y aproximarse a la observación real de la tarea en campo. La evidencia revisada confirma que los TME en minería tienen una etiología multifactorial. La vibración de cuerpo entero, las posturas forzadas en entornos confinados, el manejo manual de cargas, la repetitividad y la fatiga térmica o ambiental no operan como variables independientes, sino como factores concurrentes que se potencian entre sí. (59).

Desde la medicina ocupacional, la mitigación de los TME exige enfoques diferenciados según modalidad de explotación. La prevención debe sustentarse en la comprensión objetiva del trabajo real, reconociendo que detrás de cada tarea minera existe una carga física acumulada que puede comprometer la salud del trabajador si no se interviene oportunamente (59).

El análisis del sector minero confirma que la exposición musculoesquelética debe diferenciarse según la modalidad de operación. En la minería a cielo abierto, el riesgo se concentra principalmente en la vibración de cuerpo entero, la sedestación prolongada, la operación de maquinaria pesada y las irregularidades del terreno. En la minería subterránea, en cambio, predominan las posturas forzadas, los espacios confinados, la perforación, el acarreo manual y las condiciones ambientales adversas (6).

Un hallazgo crítico es que la vibración no debe evaluarse de forma aislada. Su efecto sobre la columna y el sistema musculoesquelético depende de la postura del operador, la duración de la exposición, el tipo de equipo, el estado del asiento, el mantenimiento de la vía, la presencia de impactos transitorios y la recuperación posterior a la jornada. De ahí que los indicadores técnicos como A(4), VDV y los criterios de ISO 2631 deben interpretarse junto con la evaluación ergonómica del puesto y no como mediciones independientes (80).

La minería subterránea plantea además limitaciones que las evaluaciones generales pueden subestimar. La restricción de movimiento, el trabajo en socavón, el calor, la humedad, el terreno irregular y la necesidad de realizar tareas manuales en espacios reducidos incrementan la carga biomecánica y reducen la posibilidad de adoptar posturas neutras. Esto muestra que la prevención debe combinar controles

de ingeniería, mecanización, ergonomía participativa, rediseño de cabinas, mejora de herramientas y vigilancia médico-ocupacional específica (63).

Los trastornos musculoesqueléticos en minería rara vez tienen un origen único. La vibración, las posturas forzadas, la manipulación de cargas y las condiciones del entorno no se presentan por separado; se superponen durante la jornada y se potencian mutuamente. Una evaluación que analiza cada factor de forma aislada puede ser técnicamente correcta y preventivamente inútil al mismo tiempo (59).

Esto se vuelve más crítico cuando se considera que la carga física varía según el equipo, el terreno, la duración del turno y la modalidad de explotación. No existe una exposición promedio representativa del sector. Existe la exposición concreta de un operador específico, en un turno específico, sobre un terreno que cambia (60).

El estado del asiento, el mantenimiento de la vía y la duración del turno determinan en gran medida la magnitud de los daños. En la minería a cielo abierto, el riesgo se construye dentro de la cabina. La sedestación prolongada sobre un equipo que vibra en rangos de baja frecuencia, combinada con las posturas que el operador adopta para controlar el entorno, genera una carga sobre la columna que no es visible desde afuera pero se acumula hora a hora (66, 67).

La ISO 2631-1 ofrece un marco técnico válido para medir esa exposición, pero sus resultados pierden valor preventivo cuando se interpretan sin considerar las condiciones reales de operación. En minería, el operador nunca está expuesto en condiciones ideales: el terreno es irregular, la jornada es larga y las demandas posturales se suman a la vibración medida (80).

La minería subterránea exige un análisis distinto porque el espacio impone las posturas antes de que la tarea lo haga. Esa diferencia importa, porque cambia el

foco de la intervención: no hay corrección postural posible si el entorno no se modifica primero. Trabajar con el tronco flexionado, arrodillado o con los brazos elevados no siempre es una elección del operario; muchas veces es la única opción que la galería permite. Esa diferencia importa, porque cambia el foco de la intervención: no hay corrección postural posible si el entorno no se modifica primero (72).

La perforación, el acarreo y el trabajo en zonas de altura reducida comprometen simultáneamente la columna, los hombros y las extremidades inferiores a través de mecanismos que los métodos observacionales convencionales tienden a subestimar. La carga no está en un gesto puntual de alta intensidad, sino en la repetición sostenida de ajustes posturales que el cuerpo realiza para compensar lo que el entorno no resuelve (63).

El trabajador no puede compensar con la postura lo que el diseño del trabajo no resuelve. Frente a ese panorama, la prevención eficaz combina controles de ingeniería, mecanización de las tareas de mayor demanda física y vigilancia médica que vincule el hallazgo clínico con la tarea que lo origina. La capacitación ergonómica y los programas de preparación física pueden contribuir, pero su utilidad es marginal si las condiciones del puesto no cambian. (109).

III. CONCLUSIONES

Concluyo que los trastornos musculoesqueléticos en los sectores de alto riesgo como industria, construcción y minería constituyen un problema multidimensional. Siguen siendo un gran problema para la salud ocupacional. La evidencia revisada nos demuestra que estos trastornos dependen de la interacción crónica de tareas repetitivas, la manipulación manual de cargas y posturas forzadas en cada puesto de trabajo.

En el sector construcción, se concluye que no todos los trabajadores están expuestos al mismo riesgo. En este sector que abarca varios oficios en una sola área laboral las exposiciones biomecánicas no deben evaluarse de una manera englobada a solo el oficio. Los albañiles, ferrallistas y carpinteros realizan diferentes tareas durante la jornada, afectando así grupos musculares por la manipulación de herramientas según la tarea que realizan.

En el sector industria, se concluye que las tareas con ciclos cortos, pero con alta repetitividad, representan una exposición prioritaria. Incluso cuando las tareas realizadas no impliquen grandes pesos. Actividades como atornillar, colocar piezas o manipular componentes pequeños suelen generar daño progresivo-acumulativo cuando son realizadas durante toda la jornada, con escasas o nulas pausas y bajo un ritmo impuesto por la línea de producción demandante. Esto nos demuestra que las evaluaciones ocupacionales no deben centrarse solo en el peso de la carga manipulada, sino también en la frecuencia de los movimientos, la fuerza que se aplica asociada a la postura mantenida y el tiempo de recuperación que debería otorgarse a cada trabajador.

En minería, la revisión realizada nos permite ver la diferencia en los dos escenarios de riesgo. En la minería a cielo abierto destacan factores de riesgo como la vibración de cuerpo entero, el tiempo prolongado en sedestación y las posturas inadecuadas y/o asimétricas al manipular las maquinarias pesadas. En la minería subterránea, se observan con más frecuencia los espacios confinados para laborar con el tronco flexionado y el trabajo de rodillas o en cuclillas sumando la inestabilidad del terreno.

Los TME requieren un detallado análisis y posterior seguimiento, con énfasis en las medidas preventivas al inicio ya que son considerados como consecuencia de las condiciones laborales ineficientes. Las diferencias por oficio nos permiten reconocer que una evaluación general en estos sectores tiende a subestimar los riesgos específicos. Esta diferenciación justifica la necesidad de actualizar protocolos ergonómicos específicos para estos sectores con énfasis en los puestos de trabajo y la exposición predominante. En el sector minero debe analizarse según modalidad de operaciones.

Uno de los principales hallazgos del portafolio es que existe una brecha entre la evidencia científica disponible y su aplicación en las supervisiones de ergonomía. Los estudios actuales destacan que los TME son originados por la interacción y acumulación combinada de factores de riesgo para cada oficio, muchos métodos de evaluación son aún muy generales y sus criterios no se adecuan a la especificidad de cada trabajador.

Resulta necesario entonces promover modelos evaluativos que integren los distintos factores de riesgo presentes en cada contexto laboral y así permitir identificar mejor la exposición real de cada trabajador expuesto.

La revisión efectuada muestra que el marco normativo nacional representa un avance importante en la seguridad y salud en el trabajo, aun así, existe la necesidad de una mayor precisión a nivel técnico para responder a los desafíos actuales en la gestión de riesgos.

Aunque la Ley N.º 29783, el D.S. N.º 005-2012-TR y la R.M. N.º 375-2008-TR constituyen un marco normativo que reconoce la obligatoriedad de prevenir riesgos y evaluación de factores disergonómicos, se requiere fortalecer la normativa mediante lineamientos técnicos diferenciados enfocados en las actividades que realizan los trabajadores en los oficios analizados. Es pertinente implementar esta propuesta considerando las exigencias específicas de cada puesto de trabajo y las demandas físicas de las tareas que desempeñan.

Este portafolio también contribuye al desarrollo del conocimiento ya que aborda la problemática desde un enfoque comparativo entre distintos contextos laborales. Su aporte no solo se limita a describir los TME, sino que también constituye una base para nuevas líneas de investigación relacionadas con el análisis de riesgos según el oficio, la evaluación biomecánica en campo, la efectividad de las pausas laborales y la comparación entre la normativa nacional con la normativa internacional.

En ese sentido, el portafolio busca transmitir que los TME no son una consecuencia inevitable del trabajo físico, sino un daño prevenible mediante la mejora de las condiciones de trabajo y una adecuada gestión de riesgos laborales. Los hallazgos pueden orientar la implementación de medidas preventivas en otros sectores productivos de alto riesgo y contribuir al fortalecimiento de la vigilancia médico-ocupacional.

La prevención efectiva requiere complementar las capacitaciones de los trabajadores con intervenciones que logren modificar las condiciones de trabajo que originan los factores de riesgo. Más que acciones aisladas, la prevención requiere rediseñar puestos con optimización de las herramientas utilizadas, programación de pausas laborales con rotación de tareas según criterio ergonómico y fortalecer la vigilancia temprana de síntomas musculoesqueléticos.

También se concluye que la prevención de los TME en los sectores productivos de alto riesgo tienen la necesidad de pasar de un enfoque reactivo a un enfoque más preventivo, basado en evidencia y orientado a la gestión de riesgos.

IV. RECOMENDACIONES

Fortalecer la evaluación ergonómica en construcción, industria y minería a partir de la observación directa del trabajo. La valoración del riesgo debe considerar las condiciones reales en las que se desempeña el trabajo asignado.

Actualizar la aplicación de la normativa peruana en ergonomía ocupacional, en especial la RM N.º 375-2008-TR. Es necesario incorporar criterios más específicos para la evaluación de factores de riesgo que en la actualidad no son abordados adecuadamente. La complejidad de estas exposiciones requiere métodos y herramientas de evaluación más precisos y adaptados a las condiciones reales del trabajo.

Desarrollar programas de vigilancia médico-ocupacional ajustados al perfil de exposición de cada actividad. En el sector construcción debe priorizarse la evaluación de columna lumbar, hombros, muñecas y rodillas. En el sector industria se recomienda mayor vigilancia del cuello, los hombros, la espalda, las manos y las muñecas. En el sector minero, las evaluaciones deben enfocarse en columna lumbar, las extremidades superiores y la exposición prolongada a vibraciones.

Diseñar intervenciones preventivas adaptadas a cada oficio en el sector construcción. En albañilería, las acciones sugeridas deben reducir la manipulación de cargas y la flexión mantenida del tronco. En ferrallistas, controlar el manejo de acero, las posturas forzadas y la precisión manual sostenida. En carpintería de obra, disminuir la repetitividad, la vibración mano-brazo y el trabajo con brazos elevados.

Implementar mejoras en el diseño de los puestos de trabajo en manufactura y ensamblaje. Revisar la altura de las mesas de trabajo, ubicación de las herramientas y distancia de alcance de cada trabajador. También debe evaluarse la iluminación,

el peso de las piezas manipuladas y el ritmo de la línea de producción. Se recomienda promover cambios posturales durante la jornada de trabajo mediante pausas programadas o la rotación de actividades. La productividad no debe sostenerse a costa del desgaste físico acumulado del trabajador.

Priorizar en minería a cielo abierto las medidas destinadas a reducir la vibración de cuerpo entero. Es importante mantener en buenas condiciones las vías de circulación, los sistemas de suspensión y la maquinaria utilizada por los operadores con mejora de asientos. En minería subterránea deben reforzarse los controles relacionados a los espacios confinados y las posturas forzadas. También deben considerarse medidas para reducir las exigencias del acarreo manual, la perforación y las condiciones ambientales adversas. Se debe supervisar y optimizar la temperatura, ventilación y la disponibilidad de equipos adecuados.

Incorporar la ergonomía participativa como parte de las medidas de prevención. La experiencia de los trabajadores aporta información valiosa para identificar riesgos que no siempre son evidentes durante una evaluación externa. Estos riesgos suelen estar presentes cuando las tareas cambian, se realizan bajo presión o dependen de condiciones difíciles de estandarizar.

Mejorar el registro de los trastornos musculoesqueléticos en estos sectores productivos de alto riesgo. Debiendo estar diferenciados los casos por sector donde labora, oficio que desempeña y tarea que realiza. También la región corporal afectada, el tiempo de exposición y los factores de riesgo identificados. Esta información facilitaría la identificación oportuna de puestos críticos, reducir la subnotificación y orientar intervenciones más precisas.

Impulsar investigaciones nacionales sobre trastornos musculoesqueléticos en industria, construcción y minería. La evidencia generada en el contexto local permitiría adaptar mejor los estándares internacionales a la realidad laboral peruana y sustentar futuras mejoras normativas en ergonomía ocupacional.

Integrar la prevención de los trastornos musculoesqueléticos dentro del sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo. La identificación de peligros, la vigilancia médico-ocupacional y la capacitación deben desarrollarse de manera coordinada. El rediseño de tareas y la implementación de controles también deben desarrollarse de manera coordinada. Estas acciones deben formar parte de una estrategia preventiva integral. La detección temprana de los riesgos debe ser una prioridad. La intervención debe orientarse a controlar los riesgos antes de que se produzcan daños en la salud de los trabajadores.

V. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Gregg C, Visconti VV, Albanese M, Gasperini B, Chiavoghilefu A, Prezioso C, et al. Work-related musculoskeletal disorders: a systematic review and meta-analysis. *J Clin Med*. 2024;13(13):3964. doi:10.3390/jcm13133964.
2. Graziosi F, Bonfiglioli R, Decataldo F, Violante FS. Criteria for assessing exposure to biomechanical risk factors: a research-to-practice guide—part 1: general issues and manual material handling. *Life (Basel)*. 2024;14(11):1398. doi:10.3390/life14111398.
3. Kisi K, López OS. Ergonomic risk and musculoskeletal disorders in construction: assessing job-related determinants in the U.S. workforce. *Buildings*. 2026;16(2):286. doi:10.3390/buildings16020286.
4. Antwi-Afari MF, Li H, Edwards DJ, Pärn EA, Seo J, Wong A. Biomechanical analysis of risk factors for work-related musculoskeletal disorders during repetitive lifting task in construction workers. *Autom Constr*. 2017;83:41-47. doi:10.1016/j.autcon.2017.07.007.
5. Yang F, Di N, Guo WW, Ding WB, Jia N, Zhang H, et al. The prevalence and risk factors of work related musculoskeletal disorders among electronics manufacturing workers: a cross-sectional analytical study in China. *BMC Public Health*. 2023 Jan 3;23(1):10. doi:10.1186/s12889-022-14952-6.
6. Kumar V, Palei SK, Karmakar NC, Chaudhary DK. Whole-body vibration exposure vis-à-vis musculoskeletal health risk of dumper operators compared to a control group in coal mines. *Saf Health Work*. 2022;13(1):73-77. doi:10.1016/j.shaw.2021.10.007.

7. Takala EP, Pehkonen I, Forsman M, Hansson GÅ, Mathiassen SE, Neumann WP, et al. Systematic evaluation of observational methods assessing biomechanical exposures at work. *Scand J Work Environ Health*. 2010;36(1):3-24. doi:10.5271/sjweh.2876.
8. Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo (PE). Norma Básica de Ergonomía y de Procedimiento de Evaluación de Riesgo Disergonómico. RM N.º 375-2008-TR. Lima: MTPE; 2008.
9. Cooke A, Smith D, Booth A. Beyond PICO: the SPIDER tool for qualitative evidence synthesis. *Qual Health Res*. 2012;22(10):1435-1443. doi:10.1177/1049732312452938.
10. Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*. 2021;372:n71. doi:10.1136/bmj.n71.
11. da Costa BR, Vieira ER. Risk factors for work-related musculoskeletal disorders: a systematic review of recent longitudinal studies. *Am J Ind Med*. 2010;53(3):285-323. doi:10.1002/ajim.20750.
12. Vos T, Lim SS, Abbafati C, Abbas KM, Abbasi M, Abbasifard M, et al. Global burden of 369 diseases and injuries in 204 countries and territories, 1990-2019: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. *Lancet*. 2020;396(10258):1204-1222. doi:10.1016/S0140-6736(20)30925-9.
13. Boschman JS, van der Molen HF, Sluiter JK, Frings-Dresen MHW. Musculoskeletal disorders among construction workers: a one-year follow-up study. *BMC Musculoskelet Disord*. 2012;13:196. doi:10.1186/1471-2474-13-196.

14. Coenen P, Gouttebarga V, van der Burght ASAM, van Dieën JH, Frings-Dresen MHW, van der Beek AJ, et al. The effect of lifting during work on low-back pain: a health impact assessment based on a meta-analysis. *Occup Environ Med.* 2014;71(12):871-877. doi:10.1136/oemed-2014-102346.
15. Akanmu A, Olayiwola J, Olatunji OA. Musculoskeletal disorders within the carpentry trade: analysis of timber flooring subtasks. *Eng Constr Archit Manag.* 2020;27(9):2577-2590. doi:10.1108/ECAM-08-2019-0402.
16. Hulshof CTJ, Pega F, Neupane S, van der Molen HF, Colosio C, Daams JG, et al. The prevalence of occupational exposure to ergonomic risk factors: a systematic review and meta-analysis from the WHO/ILO Joint Estimates of the Work-related Burden of Disease and Injury. *Environ Int.* 2021;146:106157. doi:10.1016/j.envint.2020.106157.
17. Schneider S, Irastorza X, Copsey S. OSH in figures: work-related musculoskeletal disorders in the EU—facts and figures. Luxembourg: European Agency for Safety and Health at Work; 2010.
18. Kashif M, Albalwi A, Raqib A, Farooq M, Ullah R, Sakoor M, et al. Work-related musculoskeletal disorders among Pakistani construction workers: prevalence, characteristics, and associated risk factors. *Work.* 2022;72(1):119-126. doi:10.3233/WOR-205009.
19. Coenen P, Kingma I, Boot CRL, Twisk JWR, Bongers PM, van Dieën JH. Cumulative low back load at work as a risk factor of low back pain: a prospective cohort study. *J Occup Rehabil.* 2013;23(1):11-18. doi:10.1007/s10926-012-9375-z.
20. Bicha N, Gashaw M, Chanie ST, Mekie M, Yalew ES. Burden of carpal tunnel syndrome and its associated factors among construction industry workers in Gondar

- town, Ethiopia. *Front Public Health*. 2024;12:1365124. doi:10.3389/fpubh.2024.1365124.
21. Hess JA, Kincl L, Amasay T, Wolfe P. Ergonomic evaluation of masons laying concrete masonry units and autoclaved aerated concrete. *Appl Ergon*. 2010;41(3):477–483. doi:10.1016/j.apergo.2009.10.003.
 22. Brandt M, Bláfoss R, Jakobsen MD, Samani A, Ajslev JZN, Madeleine P, et al. Influence of brick laying height on biomechanical load in masons: cross-sectional field study with technical measurements. *Work*. 2024;79(1):459-470. doi:10.3233/WOR-230325.
 23. Anton D, Bray M, Hess JA, Weeks DL, Kincl LD, Vaughan A. Prevalence of work-related musculoskeletal pain in masonry apprentices. *Ergonomics*. 2020;63(9):1194-1202. doi:10.1080/00140139.2020.1772380.
 24. Pan CS, Ning X, Wimer B, Zwiener J, Kau TY. Biomechanical assessment while using production tables on mast climbing work platforms. *Appl Ergon*. 2021;90:103276. doi:10.1016/j.apergo.2020.103276.
 25. Hess JA, Kincl L, Weeks DL, Vaughan A, Anton D. Safety Voice for Ergonomics (SAVE): evaluation of a masonry apprenticeship training program. *Appl Ergon*. 2020;86:103083. doi:10.1016/j.apergo.2020.103083.
 26. McFarland TC, Ryu J, Haas C, Abdel-Rahman E. Attitudes, needs, and opportunities for training on musculoskeletal disorder risk reduction in masonry. *BMC Public Health*. 2025;25(1):3772. doi:10.1186/s12889-025-25011-1.
 27. Biswas G, Bhattacharya A, Bhattacharya R. Occupational health status of construction workers: a review. *Int J Med Sci Public Health*. 2017;6(4):669-674. doi:10.5455/ijmsph.2017.0745302112016.

28. Choi SD. Ergonomic assessment of musculoskeletal discomfort of iron workers in highway construction. *Work*. 2010;36(1):47–53. doi:10.3233/WOR-2010-1006.
29. Ekpenyong CE, Inyang UC. Associations between worker characteristics, workplace factors, and work-related musculoskeletal disorders: a cross-sectional study of male construction workers in Nigeria. *Int J Occup Saf Ergon*. 2014;20(3):447-462. doi:10.1080/10803548.2014.11077057.
30. Forde MS, Punnett L, Wegman DH. Prevalence of musculoskeletal disorders in union ironworkers. *J Occup Environ Hyg*. 2005;2(4):203-212. doi:10.1080/15459620590929635.
31. van der Molen HF, Foresti C, Daams JG, Frings-Dresen MHW, Kuijer PPFM. Work-related risk factors for specific shoulder disorders: a systematic review and meta-analysis. *Occup Environ Med*. 2017;74(10):745-755. doi:10.1136/oemed-2017-104339.
32. International Organization for Standardization. ISO 5349-1:2001. Mechanical vibration — Measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration — Part 1: General requirements. Geneva: ISO; 2001.
33. Rahman A, Ekambaram P. Mathematical model for predicting carpenters' job-related risk of back musculoskeletal disorders in Australia. *Theor Issues Ergon Sci*. 2025;26(6):750-769. doi:10.1080/1463922X.2025.2522418.
34. Ojo TO, Onayade AA, Naicker N. Factors associated with occupational injuries among bricklayers and carpenters in building construction: insights from a mixed methods study in Osun State, Nigeria. *BMC Public Health*. 2025;25:277. doi:10.1186/s12889-025-21473-5.

35. Choi S, Yuan L, Borchardt J. Musculoskeletal disorders in construction: practical solutions from the literature. *Prof Saf*. 2016;61(1):26-32.
36. Imran R. Understanding musculoskeletal disorders: a comprehensive review. *Int J Clin Rheumatol*. 2024;19(1):51-53. doi:10.37532/1758-4272.2024.19(1).51-53.
37. Puntillo F, Giglio M, Paladini A, Perchiazzi G, Viswanath O, Urits I, et al. Pathophysiology of musculoskeletal pain: a narrative review. *Ther Adv Musculoskelet Dis*. 2021;13:1759720X21995067. doi:10.1177/1759720X21995067.
38. Adhikari B, Ghimire A, Jha N, Karkee R, Shrestha A, Dhakal R, et al. Factors associated with low back pain among construction workers in Nepal: a cross-sectional study. *PLoS One*. 2021;16(6):e0252564. doi:10.1371/journal.pone.0252564.
39. Lopes M, Lages M. Work-related musculoskeletal disorders: prevalence and contributing risk factors—a narrative review. *Explor Musculoskeletal Dis*. 2026;4:1007117. doi:10.37349/emd.2026.1007117.
40. Lee YC, Hong X, Man SS. Prevalence and associated factors of work-related musculoskeletal disorders symptoms among construction workers: a cross-sectional study in South China. *Int J Environ Res Public Health*. 2023;20(5):4653. doi:10.3390/ijerph20054653.
41. Akhtar SMF, Mumtaz N, Khan AR. Prevalence and nature of ergonomic hazards among construction workers in India: a cross-sectional study. *Safety*. 2025;11(3):62. doi:10.3390/safety11030062.

42. Tandazo O, Jaramillo-Carrión V, Valarezo E, Sanchís-Almenara M, Montalbán-Domingo L, Catalá-Alís J. Ergonomic risk assessment in construction: case study Ecuador. *Heliyon*. 2025;11(4):e42751. doi:10.1016/j.heliyon.2025.e42751.
43. Hosseini ZSJ, Mokhtarinia HR, Vahedi M, Melloh M. Prevalence and multivariate analysis of risk factors associated with musculoskeletal disorders among automotive assembly workers: a cross-sectional study. *BMC Public Health*. 2025 Aug 8;25(1):2710. doi:10.1186/s12889-025-23987-4.
44. Chaiklieng S, Suggaravetsiri P, Pruktharathikul V. Risk factors for developing occupational back pain in electronics industry workers: a cross-sectional study. *Safety*. 2024;10(4):90. doi:10.3390/safety10040090.
45. Winiarski S, Molek-Winiarska D, Chomałowska B. From motion to prevention: evaluating ergonomic risks of asymmetrical movements and worker well-being in an assembly line work. *Appl Sci*. 2025;15(2):560. doi:10.3390/app15020560.
46. Congreso de la República del Perú. Ley N.º 29783, Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo. Lima: Diario Oficial El Peruano; 2011.
47. Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo. Decreto Supremo N.º 005-2012-TR, Reglamento de la Ley N.º 29783, Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo. Lima: MTPE; 2012.
48. Chu PC, Wang TG, Guo YL. Work-related and personal factors in shoulder disorders among electronics workers: findings from an electronics enterprise in Taiwan. *BMC Public Health*. 2021 Aug 9;21(1):1525. doi:10.1186/s12889-021-11572-4.

49. Anita AR, Yazdani A, Hayati KS, Adon MY. Association between awkward posture and musculoskeletal disorders (MSD) among assembly line workers in an automotive industry. *Malays J Med Health Sci.* 2014;10(1):23-8.
50. Kim WJ, Park HJ, Jeong BY. A cross-sectional descriptive study of musculoskeletal disorders (MSDs) of male shipbuilding workers and factors associated the neck, shoulder, elbow, low back, or knee MSDs. *Appl Sci.* 2022;12(7):3346. doi:10.3390/app12073346.
51. Watanabe S, Takahashi T, Takeba J, Miura H. Factors associated with the prevalence of back pain and work absence in shipyard workers. *BMC Musculoskelet Disord.* 2018;19(1):12. doi: 10.1186/s12891-018-1931-z.
52. Govaerts R, Tassignon B, Ghillebert J, Serrien B, De Bock S, Ampe T, et al. Prevalence and incidence of work-related musculoskeletal disorders in secondary industries of 21st century Europe: a systematic review and meta-analysis. *BMC Musculoskelet Disord.* 2021 Aug 31;22(1):751. doi:10.1186/s12891-021-04615-9.
53. Jin X, Dong Y, Yang L, Huang W, Cao L, Zhang Z, et al. Ergonomic interventions to improve musculoskeletal disorders among vehicle assembly workers: a one-year longitudinal study. *BMC Public Health.* 2025 Mar 1;25(1):824. doi:10.1186/s12889-025-21798-1.
54. Zare M, Black N, Sagot JC, Hunault G, Roquelaure Y. Ergonomics interventions to reduce musculoskeletal risk factors in a truck manufacturing plant. *Int J Ind Ergon.* 2020;75:102896. doi:10.1016/j.ergon.2019.102896.
55. Mahfoudh A, Khedher A, Khalfallah T. Musculoskeletal disorders and biomechanical constraints in a Tunisian manufactory. *J Ergonomics.* 2020;10:262. doi:10.35248/2165-7556.20.10.262.

56. Hemati K, Darbandi Z, Kabir-Mokamelkhah E, Poursadeghiyan M, Ghasemi MS, Mohseni-Ezhiye M, et al. Ergonomic intervention to reduce musculoskeletal disorders among flour factory workers. *Work*. 2020;67(3):611-618. doi:10.3233/WOR-203275.
57. Guerreiro MM, Serranheira F, Cruz EB, Sousa-Uva A. Working time and upper limb musculoskeletal symptoms: a longitudinal study among assembly line workers. *Ind Health*. 2021;59(1):43-53. doi: 10.2486/indhealth.2020-0155.620590929635.
58. World Health Organization. Musculoskeletal health [Internet]. Geneva: World Health Organization; 2022 [cited 2026 May 31]. Available from: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/musculoskeletal-conditions>.
59. International Labour Organization. Diagnostic and exposure criteria for occupational diseases: guidance notes for diagnosis and prevention of the diseases in the ILO List of Occupational Diseases, revised 2010. Geneva: ILO; 2022.
60. National Institute for Occupational Safety and Health. Musculoskeletal disorders and workplace factors [Internet]. Cincinnati: Centers for Disease Control and Prevention; 2021 [cited 2026 May 31]. Available from: <https://www.cdc.gov/niosh/topics/msd/default.html>.
61. Ministerio de Salud. Resolución Ministerial N.º 312-2011-MINSA, Protocolos de Exámenes Médico Ocupacionales y Guías de Diagnóstico de los Exámenes Médicos Obligatorios por Actividad. Lima: MINSA; 2011.
62. Waters TR, Putz-Anderson V, Garg A. Applications manual for the revised NIOSH lifting equation. Cincinnati: U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for

- Occupational Safety and Health; 1994. DHHS (NIOSH) Publication No. 94-110. Revised September 2021. doi:10.26616/NIOSH PUB94110revised092021.
63. Donisi L, Cesarelli G, Coccia A, Panigazzi M, Capodaglio EM, D’Addio G. Work-related risk assessment according to the revised NIOSH lifting equation: a preliminary study using a wearable inertial sensor and machine learning. *Sensors (Basel)*. 2021;21(8):2593. doi:10.3390/s21082593.
64. American Conference of Governmental Industrial Hygienists. TLVs and BEIs: threshold limit values for chemical substances and physical agents and biological exposure indices. Cincinnati: American Conference of Governmental Industrial Hygienists; 2024.
65. Seidel DH, Heinrich K, Hermanns-Truxius I, Ellegast RP, Barrero LH, Rieger MA, et al. Assessment of work-related hand and elbow workloads using measurement-based TLV for HAL. *Appl Ergon*. 2021;92:103310. doi:10.1016/j.apergo.2020.103310.
66. International Organization for Standardization. ISO 11228-3:2007. Ergonomics — Manual handling — Part 3: Handling of low loads at high frequency. Geneva: ISO; 2007.
67. International Organization for Standardization. ISO 11228-2:2007. Ergonomics — Manual handling — Part 2: Pushing and pulling. Geneva: ISO; 2007.
68. International Organization for Standardization. ISO 11226:2021. Ergonomics — Evaluation of static working postures. Geneva: ISO; 2021.
69. Daneshmandi H, Kee D, Kamalinia M, Oliaei M, Mohammadi H. An ergonomic intervention to relieve musculoskeletal symptoms of assembly line workers at an

electronic parts manufacturer in Iran. *Work*. 2018;61(4):515-21. doi: 10.3233/WOR-182822.

70. Bao S, Howard N, Lin JH. Are work-related musculoskeletal disorders claims related to risk factors in workplaces of the manufacturing industry? *Ann Work Expo Health*. 2020;64(2):152-64. doi: 10.1093/annweh/wxz084.

71. Shaikh A, Mandal B, Shanmugarajah M. Causative and risk factors of musculoskeletal disorders among mine workers: a systematic review and meta-analysis. *Saf Sci*. 2022;155:105868. doi:10.1016/j.ssci.2022.105868.

72. Rabiei H, Malakoutikhah M, Vaziri MH, Sahlabadi AS. The prevalence of musculoskeletal disorders among miners around the world: a systematic review and meta-analysis. *Iran J Public Health*. 2021;50(4):676-688. doi:10.18502/ijph.v50i4.5992.

73. Lynas D, Burgess-Limerick R. Whole-body vibration associated with underground coal mining equipment in Australia. *Appl Ergon*. 2020;89:103162. doi:10.1016/j.apergo.2020.103162.

74. Mihir Kunar B, Aruna M, Bekal Kar M. Postural analysis of dumper operators and construction workers: a case study. *J Mines Met Fuels*. 2021;69(6):180-185. doi:10.18311/jmmf/2021/28525.

75. Negahdary M, Ahmadi O. Ergonomic risk assessment of manual drilling in an underground copper mine: fatigue assessment. *Int J Musculoskelet Pain Prev*. 2025;10(4):1310-1316. doi:10.48311/ijmpp.2025.117112.82905.

76. Smith TD, Yu Z, Balogun AO. Assessing the impact of job demands and hazardous workload activities on musculoskeletal symptoms in stone, sand, and

gravel mining operations. *Work*. 2023;75(4):1393-1402. doi:10.3233/WOR-220188.

77. Upadhyay R, Jaiswal V, Bhattacharjee A, Patra A. Role of whole-body vibration exposure and posture of dumper operators to musculoskeletal disorders: a case study in metalliferous mines. *Int J Occup Saf Ergon*. 2022;28(3):1711-1721. doi:10.1080/10803548.2021.1932111.

78. Chaudhary DK, Palei SK, Kumar V, Karmakar NC. Whole-body vibration exposure of heavy earthmoving machinery operators in surface coal mines: a comparative assessment of transport and non-transport earthmoving equipment operators. *Int J Occup Saf Ergon*. 2022;28(1):174-183. doi:10.1080/10803548.2020.1785154.

79. de la Hoz-Torres ML, Aguilar AJ, Ruiz DP, Martínez-Aires MD. Whole body vibration exposure transmitted to drivers of heavy equipment vehicles: a comparative case according to the short- and long-term exposure assessment methodologies defined in ISO 2631-1 and ISO 2631-5. *Int J Environ Res Public Health*. 2022;19(9):5206. doi:10.3390/ijerph19095206.

80. International Organization for Standardization. Mechanical vibration and shock: evaluation of human exposure to whole-body vibration. Part 1: General requirements. ISO 2631-1:1997. Geneva: ISO; 1997.

81. Atal MK, Palei SK, Chaudhary DK, Kumar V, Karmakar NC. Occupational exposure of dumper operators to whole-body vibration in opencast coal mines: an approach for risk assessment using a Bayesian network. *Int J Occup Saf Ergon*. 2022;28(2):758-765. doi:10.1080/10803548.2020.1828551.

82. Duarte J, Castelo Branco J, Matos ML, Baptista JS, Torres Costa J. Understanding the whole-body vibration produced by mining equipment as a role-player in workers' well-being: a systematic review. *J Sustain Min.* 2020;19(4):271-279. doi:10.46873/2300-3960.1012.
83. Kia K, Fitch SM, Newsom SA, Kim JH. Effect of whole-body vibration exposures on physiological stresses: mining heavy equipment applications. *Appl Ergon.* 2020;85:103065. doi:10.1016/j.apergo.2020.103065.
84. Ijaz M, Ahmad SR, Akram MM, Thygersson SM, Nadeem FA, Khan WU. Cross-sectional survey of musculoskeletal disorders in workers practicing traditional methods of underground coal mining. *Int J Environ Res Public Health.* 2020;17(7):2566. doi:10.3390/ijerph17072566.
85. Mokwena OS, Morodi TJ, Shirinde J. Occupational ergonomic risks among women in underground coal mining, South Africa. *Safety.* 2025;11(4):116. doi:10.3390/safety11040116.
86. Bandyopadhyay A, Dev S, Gangopadhyay S. A study on the prevalence of musculoskeletal disorders among the coalminers of Eastern Coalfields of India. *Int J Occup Saf Health.* 2012;2(2):34-37. doi:10.3126/ijosh.v2i2.6596.
87. Okello A, Wafula ST, Sekimpi DK, Mugambe RK. Prevalence and predictors of work-related musculoskeletal disorders among workers of a gold mine in South Kivu, Democratic Republic of Congo. *BMC Musculoskelet Disord.* 2020;21(1):797. doi:10.1186/s12891-020-03828-8.
88. Zenda KP, Rathebe PC, Moto TP, Masekameni DM, Mbonane TP. Prevalence of lower back pain and associated workplace and ergonomic factors among

mineworkers in a nickel mine, Zimbabwe. *Safety*. 2024;10(3):81. doi:10.3390/safety10030081.

89. Sakinala V, Paul PS, Fissaha Y. Promoting safety of underground machinery operators through participatory ergonomics and fuzzy model analysis to foster sustainable mining practices. *Sci Rep*. 2024;14(1):16319. doi:10.1038/s41598-024-67375-1.

90. Medeiros da Luz JA, Silva JM, Neuppmann PH. Diagnosis of the production cycle in the small shaft sinking. *Res Soc Dev*. 2022;11(5):e44711528233. doi:10.33448/rsd-v11i5.28233.

91. Sridhar S, Govinda Raj M, Aruna M. Investigations of hand transmitted vibrations and associated health risks in load haul dumper operators based on different components of a work cycle. *Mater Today Proc*. 2023;92(Pt 1):296-302. doi:10.1016/j.matpr.2023.04.603.

92. Gallagher S, Moore SM. Musculoskeletal disorders in mining: An examination of NIOSH data and inspection of injury records. *Safety Science*. 2010;48(10):1461-1467. doi:10.1016/j.ssci.2010.07.005.

93. Rodríguez-Ruíz Y, Pérez-Mergarejo E, Barrantes-Pastor WA. Procedure for the prevention of musculoskeletal disorders: application in underground mining works. *Duazary*. 2020;17(3):54-69. doi:10.21676/2389783X.3322.

94. Kremer C, Autenrieth D, Stack T, Rosenthal S, Gilkey D. Hand-arm vibration controls for jackleg rock drills: a pilot study assessing ergonomic hazards. *Min Metall Explor*. 2021;38(5):1933-1941. doi:10.1007/s42461-021-00451-6.

95. Nikkhah A, Vakylabad AB, Hassanzadeh A, Niedoba T. An evaluation on the impact of ore fragmented by blasting on mining performance. *Minerals*. 2022;12(2):258. doi:10.3390/min12020258.
96. Hignett S, McAtamney L. Rapid entire body assessment (REBA). *Appl Ergon*. 2000;31(2):201-205. doi:10.1016/S0003-6870(99)00039-3.
97. McAtamney L, Corlett EN. RULA: a survey method for the investigation of work-related upper limb disorders. *Appl Ergon*. 1993;24(2):91-99. doi:10.1016/0003-6870(93)90080-S.
98. Karhu O, Kansu P, Kuorinka I. Correcting working postures in industry: a practical method for analysis. *Appl Ergon*. 1977;8(4):199-201. doi:10.1016/0003-6870(77)90164-8.
99. Kuorinka I, Jonsson B, Kilbom A, Vinterberg H, Biering-Sørensen F, Andersson G, et al. Standardised Nordic questionnaires for the analysis of musculoskeletal symptoms. *Appl Ergon*. 1987;18(3):233-237. doi:10.1016/0003-6870(87)90010-X.
100. Huang L, Wei Y, Chen Z, Wang Z, Liu Y, Sun L, et al. Thermal hazard evaluation and prediction in deep excavations for sustainable underground mining. *Sustainability*. 2024;16(24):10863. doi:10.3390/su162410863.
101. Rahimdel MJ, Maleki MS, Noferesti H. Assessment of the vibrational health risk in mining trucks operation: driver's health and safety. *Acta Montan Slovaca*. 2024;29(4):885-894. doi:10.46544/AMS.v29i4.08.
102. Bian M, Li L. Application of human thermal comfort evaluation method in deep stope of Xiadian Gold Mine. *Discov Appl Sci*. 2025;7:419. doi:10.1007/s42452-025-06878-6.

103. Sunkpal M, Roghanchi P, Kocsis KC. A method to protect mine workers in hot and humid environments. *Saf Health Work*. 2018;9(2):149-58. doi:10.1016/j.shaw.2017.06.011.
104. Xiao W, Lu D, Song L, Guo H, Yang Z. Influence of particle damping on ride comfort of mining dump truck. *Mech Syst Signal Process*. 2020;136:106509. doi:10.1016/j.ymssp.2019.106509.
105. Zhao J, Ren X, Dong Z, Liu T. Optimization design of double wishbone front suspension parameters for large mining dump truck and analysis of ride comfort. *Appl Sci*. 2024;14(5):1812. doi:10.3390/app14051812.
106. Tampier C, Mascaró M, Ruiz-del-Solar J. Autonomous loading system for load-haul-dump (LHD) machines used in underground mining. *Appl Sci*. 2021;11(18):8718. doi:10.3390/app11188718.
107. Wang M, Bao J, Yuan X, Yin Y, Khalid S. Research status and development trend of unmanned driving technology in coal mine transportation. *Energies*. 2022;15(23):9133. doi:10.3390/en15239133.
108. Hooli J, Halim A. Battery electric vehicles in underground mines: insights from industry. *Renew Sustain Energy Rev*. 2025;208:115024. doi:10.1016/j.rser.2024.115024.
109. Yağcı M, Yıldızlar O, Yıldırım M. Reduction of work-related musculoskeletal risk factors following ergonomics training and exercise practices in a mechanised underground copper mine. *Work*. 2025;80(3):1265-77. doi:10.1177/10519815241289781.