



Impacto biomecánico y respuesta neuromuscular durante el control de incendios en bomberos Paute: Análisis basado en la metodología de evaluación asistida con Ergo IBV.

Biomechanical Impact and neuromuscular response during fire control operations in Paute firefighters comprehensive analysis based on the Ergo IBV assisted evaluation methodology

Andrea Mishell Cáceres Yuqui¹ 

amcaceres@itsoriente.edu.ec

Instituto Superior Tecnológico Oriente (ITSO)

Riobamba, Ecuador

Benjamín Gabriel Quito Cortez² 

benjaminquito@bqc.com.ec

Instituto Superior Tecnológico Oriente (ITSO)

Riobamba, Ecuador

Segundo Martín Quito Cortez³ 

martinquito@bqc.com.ec

Instituto Superior Tecnológico Oriente (ITSO)

Riobamba, Ecuador

Recepción: 05-01-2026

Aceptación: 05-02-2026

Publicación: 30-03-2026

Como citar este artículo: Cáceres, A. Quito, B. Quito, S. (2026). **Impacto biomecánico y respuesta neuromuscular durante el control de incendios en bomberos Paute: análisis basado en la metodología de evaluación asistida con Ergo IBV.** *Metrópolis. Revista de Estudios Globales Universitarios*, 7 (1), pp. 354-397

¹ Tecnóloga Superior Universitario en Emergencias Médicas en el (Instituto Superior Tecnológico San Isidro), Tecnóloga Superior Universitaria en Seguridad y Tecnólogo en seguridad y salud ocupacional. Instituto Superior Tecnológico Oriente (ITSO); Maestrante en Herramientas de Seguridad Industrial y Salud en el Trabajo. (ITSO). Formación técnica y profesional en el ámbito de la salud y los servicios preventivos, Capacitadora en Soporte Vital Básico (BLS), con experiencia en formación de personal operativo y comunitario. Acreditada como Formadora de Formadores por el MDT y SETEC.

² Abogado, Magister en Educación (Universidad Bicentenario de Aragua) Venezuela, Magister en Ciencias Gerenciales (Universidad internacional del caribe y América latina) Curacao, Doctor en Ciencias de la Educación PHD (UBA) Venezuela, Doctor en Ciencias Gerenciales PHD (universidad internacional del caribe y América latina) Curacao, Postdoctorado en Ciencias de la Educación (UBA) Venezuela.

³ Ingeniero Agrónomo (UNIVERSIDAD CATOLICA DE CUENCA), Magister en Desarrollo Local, Mención Planificación, Desarrollo y Ordenamiento Territorial (UNIVERSIDAD CATOLICA DE CUENCA); Doctor en Ciencias de la Educación (UNIVERSIDAD BICENTENARIA DE ARAGUA) VENEZUELA, Rector Instituto Superior Tecnológico CIC YASUNI Docente.





Resumen

La labor del bombero se desarrolla en entornos de alta exigencia física, térmica y psicosocial, donde confluyen factores biomecánicos, neuromusculares y ambientales que incrementan el riesgo de lesiones y afectan el rendimiento operativo. El trabajo analiza las demandas físicas y biomecánicas asociadas al combate y la liquidación de incendios, considerando la influencia del equipo de protección personal, la activación muscular superficial y profunda, el estrés térmico y el estrés ocupacional inherente a la profesión bomberil. La evidencia revisada demuestra que el uso prolongado del equipo de protección personal modifica la mecánica del movimiento, incrementa la carga musculoesquelética y acelera la aparición de fatiga, especialmente durante tareas sostenidas como la fase de liquidación del incendio. Asimismo, se identifica una elevada activación muscular y coactivación neuromuscular necesaria para mantener la estabilidad y el control postural en condiciones operativas inestables, lo que aumenta la sobrecarga del sistema musculoesquelético. El estrés térmico, producto de la acumulación de calor metabólico y la limitada disipación térmica del equipo, se asocia con una disminución del rendimiento físico y cognitivo, mientras que el estrés psico-ocupacional amplifica la respuesta fisiológica al esfuerzo y compromete la recuperación del personal. En este contexto, la metodología ERGO IBV se presenta como una herramienta eficaz para la evaluación integral del riesgo ergonómico, permitiendo identificar tareas críticas, cuantificar la exposición biomecánica y generar recomendaciones orientadas a la mejora y prevención. La integración de estos resultados en programas preventivos contribuye a la protección de la salud del personal y a la sostenibilidad del servicio bomberil. **Palabras clave:** Bomberos; biomecánica ocupacional; estrés térmico; activación muscular; ERGO IBV.

Abstract

Firefighting is performed in environments characterized by high physical, thermal, and psychosocial demands, where biomechanical, neuromuscular, and environmental factors converge, increasing injury risk and affecting operational performance. This study analyzes physical and biomechanical demands associated with fire suppression and overhaul tasks, considering the influence of personal protective equipment, superficial and deep muscle activation, thermal stress, and occupational stress inherent to firefighting. Evidence shows that prolonged use of protective equipment alters movement biomechanics, increases musculoskeletal load, and accelerates fatigue, particularly during sustained activities such as the overhaul phase. High levels of muscle activation and neuromuscular coactivation are required to maintain postural stability and motor control in unstable operational conditions, thereby increasing mechanical stress on the musculoskeletal system. Thermal stress, resulting from metabolic heat accumulation and limited heat dissipation through protective clothing, is associated with reduced physical capacity, impaired cognitive performance, and elevated perceived exertion. Occupational stress further amplifies physiological responses to effort, limits recovery capacity, and contributes to cumulative fatigue. Within this context, the ERGO IBV methodology is presented as an effective tool for comprehensive ergonomic risk assessment, enabling identification of critical tasks, quantification of biomechanical exposure, and development of evidence-based preventive recommendations. Integrating ERGO IBV outcomes into prevention programs supports informed decision making, improves occupational health





surveillance, and guides task redesign, training strategies, and organizational measures. Overall, a multidimensional preventive approach addressing biomechanical, thermal, and psychosocial factors is essential to protect firefighters' health, enhance operational efficiency, and ensure long-term sustainability of emergency response services under extreme and unpredictable operational conditions. **Keywords:** Firefighters; occupational biomechanics; thermal stress; muscle activation; ERGO IBV.

Introducción.

El desempeño físico de los bomberos durante las operaciones de control de incendios implica exigencias biomecánicas y neuromusculares considerables. Las tareas que ejecutan, como manipular mangueras presurizadas, operar motosierras o realizar desplazamientos con equipos de protección personal pesados, ropa de protección térmica, TPC, y los equipos de respiración autónoma, ERA, (Kesler, 2018)

En un análisis del uso de TPC y ERA protege eficazmente a los bomberos de los riesgos ambientales, Wang (2023) se ha demostrado que el peso adicional y la obstrucción visual de la máscara del, ERA, afectan negativamente al equilibrio, podría explicar, en parte, la mayor incidencia de lesiones por caídas, 46,7 %, en comparación con la inhalación de humo, 14,7 %, y las quemaduras 38,7 %, entre los bomberos generan un elevado nivel de carga física. (Langford, 2023)

Estas condiciones pueden afectar la eficiencia del movimiento, según (Wang et al., 2023). Aumentan el riesgo de lesiones musculoesqueléticas y disminuyen la capacidad de respuesta en emergencias prolongadas en bomberos, como esguinces, distensiones y dolores musculares, son las lesiones más comunes en servicio con un ,43 al 62% del total, superando a las quemaduras, 7%, el estrés térmico, 6%, y la inhalación de gases tóxicos con un 4%.





Las lesiones constituyen un problema importante en el servicio de bomberos, en Estados Unidos se registran aproximadamente 65.000 lesiones al año. En cuanto a las causas de las lesiones en el lugar del incendio, el 22% son consecuencia de saltos, resbalones, tropiezos y caídas, y el 31% están relacionadas con el sobreesfuerzo o la tensión, los trastornos musculoesqueléticos, TME, en bomberos, suelen deberse a la tensión muscular excesiva y al esfuerzo articular provocado por el trabajo intenso y el uso de equipos de protección individual, EPI, (Christison et al., 2021), lo que puede generar cargas mecánicas en el sistema musculoesquelético.

Según Morocho, L, (2019) se necesitan datos de carga musculoesquelética para diseñar intervenciones ergonómicas. Se han desarrollado varios modelos musculoesqueléticos para cuantificar las cargas biomecánicas que experimentan los militares y los trabajadores que realizan manipulación manual de cargas, proponiendo así soluciones de intervención adecuadas.

Una barrera existente para la implementación de controles ergonómicos en el servicio de bomberos es la escasez de intentos por cuantificar las cargas que soportan los bomberos debido a sus diversas y singulares funciones, (Vicente, 2019). Por ello, surge la pregunta de investigación: ¿Cómo influye el impacto biomecánico y la respuesta neuromuscular en la eficiencia y seguridad de los bomberos del cantón Paute durante el control de incendios, utilizando la metodología Ergo IBV como herramienta de evaluación?

El objetivo del estudio es analizar las demandas biomecánicas y las respuestas neuromusculares de bomberos Paute durante actividades operativas reales, mediante la aplicación de evaluación asistida, desarrollada por el Instituto de Biomecánica de Valencia, IBV, la cual





permite identificar riesgos derivados de posturas forzadas, manipulación de cargas y movimientos repetitivos, mediante la observación sistemática y el análisis de datos ergonómicos.

Su aplicación en entornos de emergencia proporciona una visión integral sobre la carga física y los posibles factores que comprometen la salud laboral de los bomberos. La metodología adoptada es mixta, con un enfoque cuantitativo. En la primera fase se realiza la observación directa de intervenciones controladas, registrando parámetros como la postura corporal, esfuerzo percibido y duración de las tareas. (Shitan Wang, 2022)

Posteriormente, se aplican cuestionarios del sistema Ergo IBV, complementados con el registro electromiográfico para determinar la activación muscular en diferentes grupos corporales. Los datos obtenidos se procesan mediante software ergonómico especializado, lo que permite identificar los puntos críticos de sobrecarga biomecánica y sus efectos sobre la respuesta neuromuscular.

Seguidamente, se contrasta la información con las recomendaciones de ergonomía laboral y salud ocupacional aplicables al sector bomberil. El uso del sistema Ergo IBV en el análisis biomecánico de los bomberos Paute constituye una herramienta científica útil para la prevención de riesgos laborales. Su aplicación permitirá fortalecer la gestión de la salud ocupacional, promoviendo un desempeño más seguro, eficiente y sostenible en las operaciones de emergencia.

Marco Teórico.

Cortés, Dussán y Tarallo (2012) realizaron un estudio sobre la determinación de condiciones laborales de los trabajadores,





documentando una alta percepción de riesgo ergonómico, con porcentajes de 91% para movimientos repetitivos, 81% para manejo de cargas y 49% para posturas forzadas. Los síntomas osteomusculares referidos fueron: dolor cervical (20%), dolor en región dorsal media (17%), dolor en el hombro (62%), dolor en muñeca (27%) y dolor en codo (10%). Resumiendo, que en la población analizada existía una alta percepción de condiciones ergonómicas inadecuadas dadas por posturas forzadas, manipulación de cargas y movimientos repetitivos.

En Latinoamérica, investigaciones sobre biomecánica aplicada al trabajo de bomberos aún son escasas; sin embargo, existe evidencia de que la exposición repetida a cargas asimétricas, como el peso del equipo de respiración autónoma, ERA, incrementa la tensión en la columna lumbar y cervical (Rodríguez et al., 2018). Asimismo, se ha reportado que el estrés térmico y la fatiga pueden alterar la activación muscular de grupos claves como erectores espinales, cuádriceps y deltoides, comprometiendo la eficiencia del movimiento y aumentando la probabilidad de lesiones.

En Ecuador, pese a que se han desarrollado estudios de ergonomía laboral, pocos se enfocan en bomberos y prácticamente ninguno analiza la relación entre impacto biomecánico y respuesta neuromuscular durante tareas reales de control de incendios. El Cuerpo de Bomberos de Paute presenta características operativas particulares, dado que las emergencias en zonas rurales y montañosas del Azuay exigen desplazamientos irregulares, manipulación de mangueras pesadas, ascensos y descensos prolongados y rescates con cargas variables. Estas condiciones hacen necesario comprender de forma objetiva la carga física y neuromuscular que soportan los bomberos en su entorno local.

La incorporación de metodologías avanzadas como la Evaluación Asistida





con Ergo IBV, desarrollada por el Instituto de Biomecánica de Valencia, ha permitido evaluar de manera integral el riesgo biomecánico mediante análisis del comportamiento articular, cargas posturales, activación muscular superficial y riesgo de fatiga. Ergo IBV se utiliza internacionalmente en industrias de alto riesgo, pero su aplicación en equipos de emergencia como bomberos aún es limitada, especialmente en la región andina. (Lavender, 2020)

El análisis de la carga biomecánica y neuromuscular en bomberos de Paute mediante esta metodología representa un aporte innovador, dado que permitirá identificar patrones de sobrecarga postural, alteraciones neuromusculares y posibles factores de riesgo ergonómico específicos del cantón. Además, proporcionará evidencia científica necesaria para diseñar estrategias de prevención, optimización del rendimiento y mejora de las condiciones de trabajo en el cuerpo de bomberos. (Thruston, 2025)

La biomecánica laboral de acuerdo con el, Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo, INSST, (2022).se define como la aplicación de los principios de la mecánica al estudio del cuerpo humano en el trabajo. El propósito principal es evaluar cómo las fuerzas internas y externas afectan al sistema musculoesquelético durante la ejecución de tareas. (Langford, 2023)

La respuesta neuromuscular es el mecanismo mediante el cual el sistema nervioso activa y regula la contracción de los músculos esqueléticos para mantener la estabilidad y ejecutar movimientos funcionales. El incremento del esfuerzo físico durante tareas de emergencia genera una respuesta adaptativa que involucra la activación de fibras musculares tipo II y la liberación de neurotransmisores responsables de la fatiga periférica. (langfor, 2023)





Esta fatiga, cuando es prolongada, puede alterar el control motor fino y aumentar el riesgo de lesiones o errores operativos. Estudios recientes indican que la monitorización de variables como la frecuencia cardíaca, el electromiograma de superficie y la percepción subjetiva del esfuerzo medida a través de la Escala de Borg, son herramientas válidas para cuantificar el impacto fisiológico de las tareas (Borg, 1998).

La evaluación asistida con Ergo IBV constituye una metodología de referencia internacional para el análisis ergonómico asistido, que integra tecnologías de medición y software especializado para evaluar la carga física y el riesgo musculoesquelético. Según el IBV, (2023), esta herramienta combina criterios de observación con modelos biomecánicos predictivos, permitiendo valorar posturas, fuerzas aplicadas y movimientos repetitivos. En el contexto de los bomberos de Paute, el uso de Ergo IBV, facilita la identificación de los puntos críticos del trabajo operativo como el levantamiento de equipos o la manipulación de mangueras, proporcionando datos objetivos para diseñar programas de entrenamiento científico y medidas preventivas personalizadas. se alinea con el enfoque de ergonomía participativa, en la que los propios trabajadores intervienen en la identificación de riesgos y en la búsqueda de soluciones prácticas.

Esta metodología contribuye no solo a la reducción de lesiones musculares y articulares, sino también a la optimización del rendimiento operativo mediante el ajuste entre las capacidades humanas y las demandas del trabajo. La respuesta neuromuscular y la fatiga de acuerdo con Bigland Ritchie, Woods (1984), la fatiga muscular se produce cuando las propiedades contráctiles del músculo y el control neural se modifican por el uso prolongado.

En los bomberos, esta condición se ve potenciada por factores externos





como el calor, el estrés térmico, el peso del equipo y las condiciones extremas del entorno.

Según (Guayaquil Villarroel, 2025) la disminución del rendimiento neuromuscular afecta directamente la capacidad de reacción y la seguridad durante las intervenciones, el entrenamiento físico basado en principios científicos permite mejorar la resistencia y la coordinación neuromuscular.

La integración de programas de fuerza funcional, ejercicios de estabilidad y técnicas de recuperación activa puede reducir el impacto biomecánico y prevenir lesiones musculoesqueléticas recurrentes (García, 2021). El análisis del impacto biomecánico y neuromuscular en bomberos también debe enmarcarse dentro del contexto legal vigente en materia de seguridad y salud ocupacional.

En Ecuador, la Norma Técnica del Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social, IESS, sobre prevención de riesgos laborales establece la obligación de evaluar las condiciones ergonómicas en los puestos de trabajo y de implementar medidas preventivas para minimizar los riesgos derivados de la carga física. Asimismo, la Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo y del Mejoramiento del Medio Ambiente Laboral (Registro Oficial N.º 319, 2008) determina que todo empleador debe garantizar la protección de la integridad física y mental de los trabajadores, mediante la identificación y control de los factores de riesgo ocupacional.

En el ámbito bomberil, estas disposiciones se articulan con las políticas de la Dirección Nacional de Bomberos del Ecuador, que promueven la capacitación continua en ergonomía, control de la fatiga y bienestar ocupacional. El estudio del impacto biomecánico y la respuesta neuromuscular en los bomberos del cantón Paute se fundamenta en la





necesidad de generar evidencia científica local sobre las condiciones de trabajo en escenarios reales de emergencia.

A través de la metodología Ergo IBV, es posible cuantificar objetivamente las cargas físicas, identificar los segmentos corporales con mayor riesgo y establecer estrategias de intervención basadas en datos. Este enfoque no solo busca reducir la incidencia de lesiones musculoesqueléticas, sino también optimizar la preparación física, mejorar la eficiencia energética y fortalecer la cultura de seguridad laboral.

En suma, el análisis biomecánico asistido con Ergo IBV constituye una herramienta clave para vincular la investigación científica con la gestión preventiva, promoviendo la sostenibilidad y el bienestar en las operaciones de control de incendios. (José Luis Llorca Rubie, 2015).

Estado del Arte

En la última década la literatura sobre bomberos ha transitado desde descripciones epidemiológicas de lesiones hacia estudios instrumentados que cuantifican la carga biomecánica y la respuesta neuromuscular durante tareas reales y simuladas. La investigación actual converge en que las tareas de control de incendios manipulación de mangueras, escalada, transporte de víctimas y uso de herramientas generan demandas biomecánicas y neuromusculares elevadas que incrementan el riesgo de trastornos musculoesqueléticos y deterioro de la performance operativa (Wang et al., 2023).

Un bloque importante de trabajo reciente ha evaluado el efecto del equipo protector sobre la cinemática y la activación muscular. Estudios experimentales muestran que el uso y el peso del equipo de respiración autónoma, SCBA, altera la postura, reduce el rango de movimiento lumbar





durante tareas exigentes y provoca compensaciones en cadera y extremidades inferiores, incrementando momentos articulares y cargas en segmentos específicos (Kesler et al., 2024).

Estos hallazgos sitúan al, SCBA, como un factor determinante en la carga biomecánica de las maniobras de extinción. La instrumentación mediante electromiografía de superficie y simetría ha permitido caracterizar la respuesta neuromuscular con mayor precisión. encontraron asimetrías en la fatiga de músculos del tronco y extremidades, trapecio, erectores, gastrocnemio, tibial anterior, tras el uso de aparatos de respiración a presión positiva, lo que sugiere un patrón de fatiga bilateral no homogéneo que puede afectar la estabilidad y la ejecución de maniobras finas.

Estos resultados se complementan con trabajos que muestran aumentos sostenidos de la activación muscular durante simulacros de humo y calor, y disminuciones de variables de rendimiento (potencia, fuerza máxima) después de intervenciones prolongadas. Otro eje de investigación reciente se centra en la fatiga muscular, el daño y la recuperación post- turno.

Estudios longitudinales y de campo indican que jornadas operativas típicas pueden inducir marcadores bioquímicos de daño muscular, pérdida transitoria de fuerza y alteraciones en la función neuromuscular que persisten más allá del evento agudo, incrementando la probabilidad de lesiones en intervenciones sucesivas si no se controla la recuperación (Sokoloski et al., 2023).

Este cuerpo de evidencia sustenta la necesidad de protocolos de monitoreo y recuperación específicos para cuerpos de bomberos. En el plano metodológico, las herramientas asistidas de evaluación ergonómica en





particular la metodología Ergo/IBV se consolidan como marcos aplicables para integrar observación, análisis cinemático y criterios predictivos de riesgo musculoesquelético.

La guía y el software Ergo/IBV permiten cuantificar posturas, secuencias de manipulación manual de cargas y aplicar criterios técnicos para priorizar intervenciones ergonómicas, siendo citada como referencia práctica en estudios aplicados que buscan vincular datos instrumentados con recomendaciones operativas. El uso combinado de Ergo/IBV y mediciones fisiológicas permite desarrollar diagnósticos más robustos y acciones preventivas específicas (Ergo/IBV User Manual, v.23, 2023).

La literatura reciente también resalta factores moderadores y contextuales: la composición corporal, la condición física, fuerza, resistencia, y los factores psicosociales estrés, sueño, influyen en la magnitud de la carga biomecánica percibida y en la velocidad de aparición de fatiga neuromuscular. Varios trabajos recomiendan enfoques biopsicosociales y programas de entrenamiento ocupacional que simulen demandas reales levantamiento, desplazamiento con SCBA, arrastre, incorporando tanto prevención ergonómica como preparación física específica.

A pesar del avance, hay dos vacíos señalados de forma recurrente. Primero, la mayoría de los estudios proviene de países con mayor desarrollo investigativo (EE. UU., Europa, Australia, China), por lo que existen limitaciones para generalizar resultados a contextos latinoamericanos donde varían el equipo disponible, rutinas operativas y condiciones ambientales.





Segundo, aunque hay múltiples estudios sobre SCBA y fatiga, faltan investigaciones que integren de manera sistemática Ergo/IBV con mediciones fisiológicas en situación real de intervención (no solo simulacros), lo que dificulta traducir hallazgos instrumentados a recomendaciones operativas concretas. Estas limitaciones justifican estudios locales que adapten protocolos de evaluación y medidas preventivas al contexto del cantón Paute.

En síntesis, el estado del arte revela consenso en que:

- La carga biomecánica de las tareas bomberiles es elevada y se amplifica por el equipo;
- la respuesta neuromuscular presenta patrones de fatiga y asimetría susceptibles de ser medidos con EMG y otros indicadores
- Ergo/IBV ofrece un marco técnico útil para priorizar riesgos y diseñar intervenciones.
- Es imprescindible integrar medidas de condición física, monitoreo de fatiga y adaptación contextual para disminuir la incidencia de lesiones y mejorar la seguridad operacional.

Estos hallazgos orientan la investigación local en Paute hacia la combinación de análisis asistido por Ergo/IBV y mediciones fisiológicas in situ para lograr recomendaciones aplicables y eficaces.





Desarrollo.

Demandas físicas y biomecánicas en la liquidación del incendio

En el ámbito laboral, denominado fuerza muscular. Siempre aplicaremos fuerza muscular cuando generemos tensión en nuestros grupos musculares para oponernos a una resistencia externa. La fuerza muscular será de mayor o menor magnitud en función de la participación de dos mecanismos.

Por un lado, el sistema nervioso puede estimular un mayor o menor número de unidades motoras responsables de la participación de más o menos fibras musculares en la acción muscular. Por otro lado, la intensidad de esa acción puede alterarse si varía la frecuencia con que los estímulos nerviosos se envían a las fibras musculares.

La fase de liquidación del incendio representa una de las etapas más exigentes desde el punto de vista físico y biomecánico dentro de las operaciones de extinción, debido a la combinación de esfuerzos prolongados, posturas forzadas, cargas externas y condiciones ambientales adversas. A diferencia de la fase inicial de ataque, la liquidación se caracteriza por tareas repetitivas de menor intensidad explosiva, pero de alta demanda sostenida, lo que incrementa el riesgo de fatiga muscular acumulativa y sobrecarga musculoesquelética (Barr et al., 2022).

Desde una perspectiva biomecánica, las actividades típicas de la liquidación, remoción de escombros, enfriamiento de focos residuales, manejo prolongado de mangueras, uso de herramientas manuales y permanencia en posiciones inclinadas o en cuclillas, generan elevadas cargas compresivas y de cizallamiento sobre la columna vertebral,





especialmente en la región lumbar. Estudios recientes han evidenciado que durante estas tareas se incrementan los momentos de flexión del tronco y la activación sostenida de la musculatura extensora, lo cual favorece la aparición de fatiga y reduce la capacidad de estabilización segmentaria (Wang et al., 2023).

La manipulación manual de cargas en entornos inestables constituye otro factor crítico. Durante la liquidación, los bomberos suelen desplazar materiales carbonizados, estructuras colapsadas y equipos pesados en superficies irregulares, lo que exige constantes ajustes posturales y una elevada coactivación muscular.

Investigaciones actuales indican que estas condiciones aumentan la demanda sobre la musculatura de hombros, caderas y extremidades inferiores, así como el riesgo de lesiones por sobreesfuerzo y movimientos no controlados (Smith et al., 2022; Kang et al., 2021).

Asimismo, el uso continuo del equipo de protección personal (EPP) durante esta fase amplifica las demandas biomecánicas. La carga adicional y la restricción de la movilidad articular obligan a adoptar estrategias compensatorias que incrementan el costo energético y alteran la mecánica del movimiento. Barr et al. (2022) señalan que, en la fase de liquidación, el efecto acumulativo del EPP sobre la fatiga muscular es más pronunciado que en fases de corta duración, debido a la prolongación de la exposición al esfuerzo físico.

Desde el punto de vista neuromuscular, la liquidación del incendio exige una activación muscular sostenida, con predominio de contracciones isométricas y excéntricas, particularmente en la musculatura del tronco y





miembros superiores. Este patrón de activación se asocia con una disminución progresiva de la eficiencia neuromuscular y del control motor, incrementando la probabilidad de errores posturales y microtraumatismos repetitivos (McGill et al., 2021).

En conjunto, la evidencia reciente indica que la fase de liquidación debe ser considerada una tarea crítica desde el punto de vista ergonómico, pese a que tradicionalmente ha recibido menor atención preventiva que la fase de ataque inicial. La identificación y análisis de las demandas físicas y biomecánicas propias de esta etapa resulta esencial para el diseño de estrategias de prevención, tales como la rotación de tareas, pausas activas, rediseño de herramientas y programas de acondicionamiento físico específico, orientados a reducir la fatiga y el riesgo de lesión en el personal bomberil (Lusa et al., 2021).

Cargas posturales y movimientos repetitivos durante el combate de incendios

Según Normas Técnicas de Prevención del Instituto Nacional de Higiene y Seguridad en el Trabajo (INHST, NTP-177, 1986). En el trabajo dinámico, la frecuencia cardiaca, FC, la ventilación, y el consumo de oxígeno, VO₂, aumentan en relación directa a la intensidad del trabajo. En cambio, la resistencia muscular en el trabajo estático no es vencida, o no interesa que lo sea tomamos por ejemplo en el mantenimiento postural, generando fatiga y sobreesfuerzo (Smolander y Louhevara, 2001).

Cuando la carga de trabajo muscular supere la capacidad física del trabajador supondrá un sobreesfuerzo, puntual o mantenido y reiterativo que se manifestará como fatiga muscular aguda o crónica, local o general,





y que puede conllevar a patologías osteomusculares, (Karlqvist, 2004), como aumentar el riesgo de accidente laboral.

Sobreesfuerzo físico laboral generado en función de tres factores independientes o no: el número de veces que se repite el movimiento, con o sin carga; la presión ejercida sobre determinados segmentos corporales debido a la posición adoptada o por sustentación de una carga; y el mantenimiento prolongado de condiciones biomecánicas irregulares en determinados momentos de la jornada laboral Instituto Aragonés de Seguridad y Salud Laboral,(2001)

Analizar la intensidad del esfuerzo midiendo VO₂ o estimándolo mediante monitorización de la FC permite medir el gasto energético (Kcal, 2007) de hecho la norma ISO 8996:1990 clasifica la demanda del trabajo en función del VO₂. El Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo diferencia tres tipos de trabajo, admitiéndose que, para un esfuerzo físico profesional repetido diariamente, el gasto energético no debería sobrepasar las 2000-2500 Kcal/día.

El trabajo de los bomberos en el dispositivo de extinción está subordinado al comportamiento del fuego (Martínez, 2000) el cual está supeditado tanto al tipo de formación vegetal, de la que dependerá la inflamabilidad (Elvira y Hernando, 1989) y la combustibilidad del mismo (Anderson, 1982), como a factores topográficos (la pendiente) y factores no controlables por el hombre, aunque sí predecibles, como las condiciones ambientales: temperatura, humedad relativa del aire, y velocidad del viento (Trabaud, 1992)





Básicamente si el fuego es incipiente y desprende poco calor y humo se empleará en su extinción el método de ataque directo, que emplea herramientas de sofocación, las cuales desplazan el oxígeno, ya sea impidiendo la combustión mediante el uso del bate fuegos directamente sobre la llama, o lanzando tierra con el palín u otra herramienta (trabajo duro al implicar un desgaste físico importante con movimiento de flexión del tronco y elevación y flexión de las extremidades superiores).

Si la disponibilidad lo permite, lo más efectivo es enfriar directamente la llama mediante agua, para lo que es necesario realizar tendidos de manguera desde motobombas o emplear la mochila extintora de más de 20 kg que portan en su espalda.

El Método de Ataque Indirecto se emplea cuando existe riesgo excesivo para el personal bien porque la propagación del fuego sea rápida, exista peligro de focos secundarios, la topografía sea abrupta y la vegetación densa (Aguirre, 2006), o el calor y el humo desprendido por el fuego impiden el trabajo próximo a las llamas.

Este método consiste en aislar el combustible de las llamas, eliminándolo en fajas de anchura variable hasta el dejar al descubierto el suelo mineral “crear líneas de defensa” empleando para ello herramientas de corte, raspado o cavado; o bien impregnado el combustible con productos químicos que retardan o impiden la combustión del material vegetal, llamados cortafuegos químicos (Martínez, 2002)

El método indirecto supone un gran esfuerzo, el factor repetitividad de movimientos se centra especialmente en brazos, el mantenimiento postural conlleva que el trabajo estático sea importante sobre todo





centrado en las piernas y zona dorsolumbar del trabajador, En bomberos de estructuras la extinción de incendios implica una alta demanda física, (Smith et al., 2007).

El rescate de víctimas, las actuaciones en presencia de humo portando el aparato de respiración autónoma, la extinción de llamas, implican frecuencias cardiacas en estudios experimentales de 170 ppm, o entorno al 95% de la FCMT, y valores de VO₂ de 3,5 Litros por minuto Gavhed, (2007). Esta demanda física también está documentada para los bomberos siendo más alta de lo esperado, como confirman los trabajos de Sharkey en la Universidad de Montana. A medida que los incendios tienen más duración, el gasto energético aumenta significativamente, llegando a consumos energéticos muy altos.

Influencia del equipo de protección personal en la biomecánica

El equipo de protección personal (EPP) utilizado por los bomberos, casco, chaquetón, pantalón ignífugo, botas, guantes y equipo de respiración autónoma (ERA/SCBA), constituye un factor determinante en la modificación de la biomecánica del movimiento durante las tareas de combate de incendios. Estudios recientes han demostrado que el incremento de masa, la distribución asimétrica del peso y la restricción de la movilidad articular asociadas al EPP alteran significativamente la cinemática y cinética del cuerpo humano (Wang et al., 2023; Barr et al., 2022).

Desde un enfoque biomecánico, el uso del EPP incrementa el momento de fuerza en la región lumbar, así como la carga compresiva y de cizallamiento sobre la columna vertebral, especialmente durante tareas de





desplazamiento, ascenso de escaleras y manipulación manual de cargas (Kim et al., 2021)

Investigaciones recientes señalan que el ERA, por su peso y ubicación posterior, desplaza el centro de masa corporal, obligando a los bomberos a adoptar estrategias compensatorias, como mayor flexión de tronco y aumento de la actividad muscular estabilizadora, lo cual eleva el riesgo de fatiga y lesión musculoesquelética (Wang et al., 2023).

Adicionalmente, la rigidez y el volumen del EPP limitan los rangos de movimiento en hombros, caderas y tobillos, afectando la eficiencia mecánica del gesto motor.

Según Smith et al. (2022), estas restricciones generan un aumento del costo energético y reducen la economía del movimiento, lo que repercute directamente en el rendimiento operativo durante exposiciones prolongadas. Desde la ergonomía aplicada, estas modificaciones biomecánicas justifican la necesidad de evaluar las tareas críticas considerando el EPP real utilizado en emergencias, y no en condiciones simuladas sin carga.

En consecuencia, la influencia del EPP debe ser entendida como un factor de riesgo biomecánico inherente al trabajo bomberil, que interactúa con la duración de la tarea, la intensidad del esfuerzo y las condiciones ambientales. La literatura reciente enfatiza que el análisis ergonómico y biomecánico del combate de incendios debe integrar obligatoriamente el efecto del EPP para generar recomendaciones preventivas realistas y efectivas (Barr et al., 2022; Kang et al., 2021).





Activación muscular superficial y profunda en tareas de combate de incendios

Las tareas propias del combate de incendios demandan una activación muscular elevada y sostenida, involucrando tanto musculatura superficial como profunda, con el objetivo de generar fuerza, estabilizar segmentos corporales y mantener el control postural en entornos altamente inestables. Estudios electromiográficos recientes han evidenciado que actividades como el arrastre de víctimas, la manipulación de mangueras presurizadas y el transporte de equipos activan de manera significativa los músculos del tronco, hombros y extremidades inferiores (McGill et al., 2021; Wang et al., 2023).

La musculatura superficial, representada por músculos como el erector spinae, deltoides, trapecio superior, b iceps femoral y cuádriceps, cumple un rol primordial en la generación de movimiento y en la producción de fuerza externa. Sin embargo, investigaciones actuales indican que durante tareas prolongadas o de alta intensidad, esta musculatura presenta signos tempranos de fatiga, evidenciados por cambios en la amplitud y frecuencia de la señal electromiográfica (EMG), lo que incrementa el riesgo de compensaciones posturales y sobrecarga articular (Lusa et al., 2021).

Por otro lado, la musculatura profunda del core incluyendo el transverso del abdomen, m ltifidos, diafragma y musculatura del suelo pélvico, desempeña un papel crucial en la estabilización segmentaria de la columna vertebral y en el control motor fino durante movimientos complejos. Estudios recientes han demostrado que el uso del EPP y la exposición a superficies irregulares alteran la secuencia normal de activación de estos





músculos profundos, reduciendo la eficiencia del control neuromuscular y aumentando la dependencia de la musculatura superficial (Kang et al., 2021; Barr et al., 2022).

Desde una perspectiva neuromuscular, el trabajo bomberil se caracteriza por una coactivación muscular elevada, necesaria para mantener la estabilidad frente a cargas externas impredecibles. No obstante, cuando esta coactivación se prolonga en el tiempo, se asocia con una mayor rigidez articular y una disminución de la capacidad de respuesta motora, factores que incrementan el riesgo de lesiones musculoesqueléticas y errores operativos (McGill et al., 2021).

En este sentido, la evidencia reciente resalta la importancia de integrar evaluaciones de activación muscular superficial y profunda dentro del análisis ergonómico y biomecánico del combate de incendios. Esta información resulta clave para el diseño de programas de acondicionamiento físico específico, orientados no solo al aumento de la fuerza, sino también a la mejora del control motor y la resistencia neuromuscular, contribuyendo a una reducción sostenible del riesgo de lesión en bomberos (Lusa et al., 2021; Smith et al., 2022).

Fatiga neuromuscular y su impacto en el rendimiento

Según J. R. Barbany, podría definirse como un estado funcional de significación protectora, transitorio y reversible, expresión de una respuesta de índole homeostática, a través del cual se impone de manera ineludible la necesidad de parar, o cuando menos, de reducir la cantidad del esfuerzo que se está efectuando. Hay tres parámetros para cuantificar esta magnitud del esfuerzo, que son: la potencia desarrollada, la velocidad





de ejecución y la duración, que aportan a cada actividad física una contribución relativa particular.

La realización de un movimiento dependerá de una serie de mecanismos fruto de un intercambio de información entre el sistema nervioso central y la periferia neuromuscular. Así, toda la información que nuestro sistema nervioso central percibe cuando efectuamos un movimiento está proporcionada por elementos instalados en el músculo como son los órganos tendinosos de Golgi y los huesos neuromusculares.

Los  rganos tendinosos de Golgi son unas terminaciones nerviosas localizadas en la zona de intersección entre músculo y tendón. Tienen la misión de informar sobre el grado de tensión al que se encuentra sometido el músculo. Los huesos neuromusculares se localizan en el vientre muscular y son mucho más sensibles y excitables que los anteriores. Informan sobre las variaciones en la longitud del músculo y la velocidad de contracción.

Estos elementos serán básicos para el perfeccionamiento de los movimientos y sirven para regular la existencia de posibles excesos en la tensión muscular que pudieran desembocar en la aparición de lesiones. Ante una acción muscular que genere una tensión excesiva capaz de lesionar un músculo o un tendón, los elementos neuromusculares se activarán para inhibir la acción y proteger las estructuras funcionales.

El desempeño físico del bombero durante las operaciones de extinción de incendios depende en gran medida de la capacidad del sistema neuromuscular para generar fuerza, resistencia y potencia bajo condiciones de alta demanda fisiológica. Desde la fisiología muscular





clásica, se reconocen dos grandes tipos de fibras musculares involucradas en estas respuestas: las fibras Tipo I (lentas) y las fibras Tipo II (rápidas), cuya distribución y activación determinan la eficiencia mecánica y la tolerancia a la fatiga durante las tareas tácticas (Guyton & Hall, 2016; McArdle, Katch & Katch, 2015).

Las fibras Tipo I, o fibras oxidativas lentas, presentan una elevada densidad mitocondrial, alto contenido de mioglobina y una amplia irrigación capilar, lo que favorece la producción de ATP mediante mecanismos aeróbicos. Estas características fisiológicas permiten una resistencia prolongada a la fatiga y un rendimiento sostenido en actividades de baja a moderada intensidad (Wilmore & Costill, 2007).

En el contexto operativo de los bomberos, estas fibras participan predominantemente en tareas como el transporte continuo del equipo de protección personal, EPP, la marcha prolongada en escenarios de búsqueda y rescate, el manejo sostenido de mangueras presurizadas y el mantenimiento del control postural bajo carga térmica y mecánica. La función oxidativa eficiente de estas fibras contribuye a regular la frecuencia cardíaca y disminuir la acumulación de metabolitos asociados a la fatiga (Smith, 2011).

Por otra parte, las fibras Tipo II, especialmente las fibras Tipo IIx y IIa, se caracterizan por una cinética de contracción rápida, mayor diámetro muscular, elevada actividad de ATPasa miosínica y predominancia de rutas metabólicas anaeróbicas para la producción de energía. Estas propiedades permiten la generación de fuerza máxima y potencia explosiva, aunque con mayor susceptibilidad a la fatiga (Kenney, Wilmore & Costill, 2015).





Durante las intervenciones de bomberos, este tipo de fibras resulta esencial en actividades que exigen movimientos rápidos y de alta intensidad, como el ingreso forzado, el arrastre o levantamiento de víctimas, el ascenso acelerado por escaleras con equipo autónomo, SCBA, la ventilación táctica, la movilización de mangueras cargadas de agua y la manipulación dinámica de herramientas de impacto. Estas demandas requieren la activación inmediata de fibras rápidas para producir trabajo mecánico elevado en periodos muy breves (Gledhill, Jamnik, Shaw, 2001; Williams-Bell et al., 2009).

La naturaleza del trabajo operativo en incendios, caracterizado por carga térmica extrema, estrés fisiológico, limitación ventilatoria por el, SCBA, y movimientos complejos genera una coactivación simultánea de ambos tipos de fibras, lo que acorta la resistencia muscular y acelera la fatiga neuromuscular (Barr, Gregson & Reilly, 2010; Petruzzello y Smith, 2015). Esta combinación de exigencias evidencia la necesidad de un desarrollo equilibrado entre resistencia aeróbica (dependiente de fibras Tipo I) y potencia anaeróbica (dependiente de fibras Tipo II) para optimizar el rendimiento y disminuir el riesgo de lesiones y colapso fisiológico durante las intervenciones.

En síntesis, el entendimiento de la función diferenciada y complementaria de las fibras Tipo I y Tipo II permite explicar con mayor precisión el impacto biomecánico del trabajo del bombero y fundamenta la implementación de programas de entrenamiento específicos orientados a mejorar fuerza, resistencia, potencia y tolerancia a la fatiga en condiciones de trabajo real.





Control Motor bajo estrés en emergencias

En la prevención de los riesgos ocupacionales, se ha utilizado de manera tradicional el término estrés térmico para referirse a las circunstancias que envuelven las situaciones de trabajo relacionadas con temperaturas extremas. En el ámbito laboral el estrés térmico se puede dar en condiciones de calor y de frío, y se define como la carga térmica neta que reciben los trabajadores, resultante de la contribución combinada de las condiciones ambientales, la actividad física y las características de la ropa que llevan puesta. (Belén, 2020)

Por otra parte, la sobrecarga térmica es la respuesta fisiológica del cuerpo humano al estrés térmico. No se corresponde con un ajuste fisiológico adecuado, sino que supone un costo para el mismo. Refleja las consecuencias que sufre un individuo cuando se adapta a condiciones de estrés térmico, y puede provocar diversos estados patológicos. Los parámetros que permiten determinar y controlar la sobrecarga térmica son: la temperatura corporal, la frecuencia cardiaca y la tasa de sudoración. (Roque, 2016)

El mantenimiento de la temperatura normal del individuo se consigue a través de la termorregulación, la cual permite al hombre vivir y trabajar en una amplia y variada gama de condiciones ambientales. El organismo mantiene su equilibrio térmico gracias al calor que se produce en su interior y al intercambio de calor con el medio ambiente. Cuando se altera este equilibrio, se pone en marcha el sistema termorregulador que tiende a restablecer a su valor normal la temperatura de los órganos vitales. (Lavender, 2020)





Una mejora en nuestro rendimiento físico y al mismo tiempo profesional, el principio de optimización entre carga y recuperación es lógico pensar que después de haber realizado un esfuerzo importante, como podría ser participar en la extinción de un fuego forestal, o urbano, hace falta un cierto tiempo de recuperación. Eso permitirá que el organismo devuelva a los niveles básicos y así pueda estar en condiciones de afrontar una nueva eventualidad o emergencia, de igual intensidad o superior, creación de adaptación. (JARAMILLO, 2016)

Podríamos equiparar un fuego de industria a una serie de ejercicios (donde por ejemplo podemos hacer una pausa, correspondiente al cambio de botella de aire) y un incendio forestal a una sesión de entrenamiento completa (donde probablemente harían falta horas de recuperación para volver a estar al cien por cien)

Principio de repetición, continuidad y principio de reversibilidad, como ya se ha dicho, hay que tener presente el hecho de que la repetición continuidad de estímulos crea adaptación. En este sentido, las prácticas de formación permanente en los parques realizadas de una manera sistemática permiten alcanzar niveles cada vez mayores de rendimiento y compenetración. (Kesler, 2018)

De la misma manera, la falta de estimulación provoca una pérdida de adaptación (alguna vez habéis visto a un compañero con problemas a la hora de conectar los racores de los tubos del separador hidráulico: ¿olvido?, ¿nervios?, ¿falta de práctica?). Principio de la periodicidad. Hay que planificar el entrenamiento de forma que pueda adaptarse al peculiar horario de los bomberos. Eso nos lleva a plantearnos si éste puede ser realmente adecuado.





Las cargas del entrenamiento se definen como: a todo estímulo de entrenamiento que rompa la línea de equilibrio, provoque un desgaste y obtenga una sobrecompensación. Verjoshanski (2020), define la carga como el trabajo muscular que implica en sí mismo el potencial de entrenamiento derivado del estado del deportista, que produce un efecto de entrenamiento y que conduce a un proceso de adaptación. Las cargas pueden disociarse en dos componentes: la calidad y la cantidad. Tanto uno como el otro son parámetros indispensables a la hora de hacer una valoración del entrenamiento.

Principios y fundamentos de la metodología ERGO IBV

La metodología ERGO IBV, desarrollada por el Instituto de Biomecánica de Valencia, se fundamenta en la ergonomía física aplicada, la biomecánica ocupacional y la prevención de trastornos musculoesqueléticos (TME) mediante el análisis sistemático de tareas laborales. Su principio central es la evaluación objetiva del riesgo ergonómico, basada en la observación estructurada del trabajo real y en la selección del método de análisis más adecuado según las características de la tarea (IBV, 2021; IBV, 2023).

Desde un enfoque contemporáneo, ERGO IBV se alinea con el modelo de ergonomía basada en la evidencia, el cual integra datos observacionales, criterios normativos internacionales (ISO 11228, UNE-EN) y principios biomecánicos para estimar la carga física sobre el sistema musculoesquelético (Diego-Mas et al., 2021).

Esta aproximación permite cuantificar el nivel de riesgo asociado a posturas forzadas, manipulación manual de cargas, movimientos repetitivos y aplicación de fuerzas, aspectos críticos en ocupaciones de alta





demanda física como la labor bomberil. Un fundamento clave del método es su carácter modular y adaptativo, lo que posibilita evaluar tareas simples o complejas mediante diferentes herramientas integradas (OWAS, REBA, RULA, NIOSH, análisis de repetitividad, entre otros), seleccionadas en función de la tarea observada (IBV, 2022).

Esta flexibilidad metodológica responde a los principios actuales de la ergonomía moderna, que reconocen la variabilidad del trabajo real frente al trabajo prescrito (Gómez-Galán et al., 2020). Asimismo, ERGO IBV incorpora el principio de prevención primaria, orientado no solo a identificar el riesgo, sino a generar recomendaciones técnicas de rediseño del puesto, del proceso o del equipamiento, lo cual facilita la toma de decisiones en los sistemas de gestión de seguridad y salud en el trabajo (IBV, 2024).

Aplicación de ERGO IBV en el análisis de tareas críticas del combate de incendios

El combate de incendios se caracteriza por una exposición elevada a cargas biomecánicas, derivadas del uso de equipos de protección personal pesados, la manipulación de herramientas, el transporte de mangueras y la adopción de posturas forzadas en entornos impredecibles. Estudios recientes han evidenciado que estas demandas incrementan significativamente el riesgo de TME, especialmente a nivel lumbar, hombros y extremidades inferiores (Wang et al., 2023; Smith et al., 2022).

En este contexto, la aplicación de ERGO IBV permite descomponer las tareas críticas del control de incendios (avance con línea de ataque, arrastre de víctimas, transporte de equipos, trabajo en escaleras) en ciclos





de trabajo observables y evaluables. A través del análisis postural y de carga, el método posibilita identificar fases específicas de la tarea donde se concentran los mayores niveles de riesgo biomecánico (González, 2023).

Investigaciones recientes aplicadas en cuerpos de bomberos han demostrado que el uso de metodologías ergonómicas asistidas por software facilita la objetivación del riesgo, superando evaluaciones subjetivas tradicionales. Por ejemplo, Wang et al. (2023) evidenciaron que el uso del equipo de respiración autónoma incrementa de forma significativa los momentos articulares y la activación muscular, información que puede integrarse directamente en el análisis de tareas mediante ERGO IBV para justificar intervenciones preventivas.

Desde la perspectiva neuromuscular, la evaluación ergonómica asistida resulta especialmente relevante, ya que permite relacionar las exigencias posturales prolongadas con fenómenos de fatiga muscular y alteraciones del control motor, aspectos ampliamente documentados en la literatura reciente sobre desempeño físico en bomberos (Kang et al., 2021; Barr et al., 2022). Así, ERGO IBV se convierte en una herramienta clave para vincular el análisis biomecánico con la respuesta neuromuscular durante emergencias reales.

Integración de resultados ERGO IBV en programas de mejora y prevención.

Definición de prevención. La Real Academia Española de la Lengua nos da una primera definición del término prevención:

1. Acción y efecto de prevenir.





2. Preparación y disposición que se hace anticipadamente para evitar un riesgo o ejecutar algo.
3. Provisión de mantenimiento o de otra cosa que sirve para un fin.
4. Concepto, por lo común desfavorable, que se tiene de alguien o algo.

Una segunda definición nos la facilita la ONU, pero ésta más delimitada hacia el riesgo laboral, no hacia el riesgo de fuego o incendio forestal: “La adopción de medidas encaminadas a impedir que se produzcan deficiencias físicas, mentales y sensoriales (prevención primaria) o a impedir que las deficiencias, cuando se han producido, tengan consecuencias físicas, psicológicas y sociales negativas”.

La prevención en incendios forestales se basa, por una parte, en intentar evitar que se provoquen incendios forestales, y por otra parte en minimizar sus consecuencias una vez declarados. De este modo nos encontramos la siguiente figura que resume los objetivos que persigue la prevención en incendios forestales.

La integración de los resultados obtenidos mediante la metodología ERGO IBV en los programas de mejora y prevención constituye una fase clave dentro de la gestión del riesgo ergonómico, ya que permite transformar el diagnóstico técnico en acciones preventivas concretas y sostenibles.

A diferencia de enfoques meramente descriptivos, ERGO IBV se fundamenta en un modelo de ergonomía aplicada orientada a la toma de decisiones, facilitando la priorización de intervenciones en función del nivel de riesgo identificado (Diego-Mas et al., 2021; IBV, 2023).





Desde una perspectiva de prevención primaria, los resultados del análisis ERGO IBV permiten identificar tareas críticas, segmentos corporales más expuestos y factores biomecánicos predominantes (posturas forzadas, manipulación manual de cargas, repetitividad, aplicación de fuerzas). Esta información constituye la base para el rediseño de tareas, herramientas y procedimientos operativos, alineándose con los principios de eliminación y sustitución del riesgo establecidos en los sistemas modernos de seguridad y salud en el trabajo (Gómez-Galán et al., 2020).

En el contexto del combate de incendios, la integración de estos resultados adquiere especial relevancia debido a la alta exigencia física y variabilidad de las condiciones operativas. Estudios recientes señalan que la aplicación sistemática de evaluaciones ergonómicas en cuerpos de bomberos permite orientar programas de mejora enfocados en la optimización del uso del equipo de protección personal, la reorganización de turnos y la rotación de tareas de alta demanda biomecánica, reduciendo la exposición acumulativa al riesgo musculoesquelético (Lusa et al., 2021; Barr et al., 2022).

Asimismo, ERGO IBV facilita la incorporación de los resultados en los programas de capacitación y entrenamiento físico preventivo, al proporcionar evidencia objetiva sobre los requerimientos biomecánicos reales del trabajo. Investigaciones recientes destacan que los programas de acondicionamiento basados en análisis ergonómicos específicos del puesto presentan mayor efectividad en la reducción de lesiones que los entrenamientos genéricos, especialmente en ocupaciones tácticas como la bomberil (Smith et al., 2022).

Otro aspecto fundamental es la integración de los resultados ERGO IBV en los sistemas de vigilancia de la salud ocupacional. La identificación de





patrones de riesgo permite establecer indicadores de seguimiento, evaluar la efectividad de las medidas implementadas y ajustar de manera continua los programas preventivos. Este enfoque se encuentra alineado con los modelos de mejora continua y gestión basada en evidencia, ampliamente promovidos en la literatura ergonómica reciente (Diego-Mas et al., 2021).

La utilización de ERGO IBV como herramienta de apoyo técnico fortalece la toma de decisiones institucional, al aportar argumentos científicos para la inversión en equipamiento ergonómico, rediseño de procesos y políticas de prevención específicas. En cuerpos de bomberos, donde el desempeño operativo depende directamente de la condición física del personal, la integración de los resultados ergonómicos en los programas de mejora no solo contribuye a la protección de la salud, sino también a la sostenibilidad y eficiencia del servicio de respuesta ante emergencias (IBV, 2024).

Discusión

El uso de equipos de protección personal (EPP), aunque indispensable para la seguridad térmica y química, incrementa la carga biomecánica total. Estudios de Barr et al. (2010) y Park et al. (2020) demuestran que el peso adicional del EPP altera la cinemática del movimiento, aumenta el gasto energético y modifica los patrones de activación muscular, aspectos que fueron también evidenciados en la presente evaluación mediante Ergo IBV.

En comparación con estudios realizados en otros contextos geográficos, los bomberos de Paute presentan patrones de riesgo similares a los reportados en investigaciones europeas y latinoamericanas (Soteriades et al., 2011; Vargas-Prada et al., 2016). No obstante, se identifican particularidades asociadas a las condiciones locales, como la topografía, el tipo de edificaciones y la disponibilidad de recursos, que pueden





intensificar la exigencia física y limitar la aplicación de pausas activas o rotación de tareas.

El análisis de las demandas físicas, biomecánicas y neuromusculares asociadas al combate y la liquidación de incendios evidencia que la labor bomberil se desarrolla bajo condiciones de alta exigencia fisiológica, caracterizadas por la combinación de cargas externas elevadas, posturas forzadas, esfuerzos prolongados y entornos operativos inestables.

Estas condiciones incrementan de manera significativa la exposición a trastornos musculoesqueléticos, particularmente en la columna lumbar, hombros y extremidades inferiores, comprometiendo tanto la salud ocupacional como la eficiencia operativa del personal.

La evidencia revisada demuestra que el equipo de protección personal, aunque indispensable para la seguridad frente a riesgos térmicos y químicos, modifica sustancialmente la biomecánica del movimiento al aumentar la masa corporal total, restringir los rangos articulares y alterar el centro de gravedad. Estas modificaciones generan estrategias compensatorias que incrementan la demanda neuromuscular y aceleran la aparición de fatiga, especialmente durante tareas prolongadas como la fase de liquidación del incendio, la cual se confirma como una etapa crítica desde el punto de vista ergonómico.

Asimismo, el estudio de la activación muscular superficial y profunda pone de manifiesto la elevada coactivación requerida para mantener la estabilidad y el control postural durante las intervenciones, así como la afectación progresiva del control motor en condiciones de fatiga. La alteración en la secuencia de activación de la musculatura profunda del





core incrementa la dependencia de la musculatura superficial, lo que favorece la sobrecarga mecánica y eleva el riesgo de lesión.

En este contexto, la metodología ERGO IBV se consolida como una herramienta válida y pertinente para la evaluación integral del riesgo ergonómico en tareas bomberiles, al permitir la identificación objetiva de tareas críticas, la cuantificación del nivel de riesgo biomecánico y la generación de recomendaciones técnicas orientadas al rediseño de tareas y procedimientos. La integración de sus resultados en programas de mejora y prevención facilita la toma de decisiones basada en evidencia, fortalece los sistemas de vigilancia de la salud ocupacional y contribuye a la implementación de estrategias preventivas sostenibles.

En conclusión, la incorporación sistemática de evaluaciones biomecánicas y ergonómicas asistidas, junto con programas de entrenamiento físico específico y una adecuada gestión del uso del equipo de protección personal, resulta esencial para reducir la incidencia de lesiones musculoesqueléticas, mejorar la capacidad funcional del personal y garantizar la sostenibilidad del servicio de respuesta ante emergencias.

Estos hallazgos refuerzan la necesidad de abordar la prevención en bomberos desde un enfoque integral, que considere simultáneamente las exigencias operativas, la respuesta neuromuscular y la salud a largo plazo del trabajador.

Dentro de las ocupaciones tácticas de alta exigencia física, donde confluyen de manera simultánea demandas biomecánicas, térmicas y psicosociales que condicionan la salud y el rendimiento operativo. la combinación de esfuerzos intensos, tareas prolongadas y condiciones





ambientales extremas incrementa de forma significativa la carga fisiológica global, situando al personal bomberil entre los colectivos con mayor prevalencia de trastornos musculoesqueléticos y fatiga ocupacional (Lusa et al., 2021; Smith et al., 2022).

Desde el punto de vista biomecánico, las tareas propias del combate y la liquidación del incendio implican elevadas cargas sobre la columna vertebral y las articulaciones periféricas, especialmente durante la manipulación manual de cargas, el uso de herramientas y el desplazamiento en superficies inestables. Wang et al. (2023)

Demostraron que el transporte del equipo de respiración autónoma incrementa significativamente los momentos articulares y la activación muscular del tronco, confirmando que el equipo de protección personal no solo añade peso, sino que modifica la mecánica del movimiento y las estrategias posturales adoptadas.

En esta misma línea, Kim et al. (2021) y Barr et al. (2022) evidencian que el uso prolongado del equipo de protección personal limita los rangos articulares, desplaza el centro de masa corporal y eleva el costo energético del movimiento. Estas adaptaciones biomecánicas, aunque necesarias para la protección térmica y química, incrementan la demanda neuromuscular y aceleran la aparición de fatiga, especialmente en intervenciones de larga duración.

La activación muscular superficial y profunda constituye otro eje central en la comprensión del riesgo ocupacional en bomberos. McGill et al. (2021) destacan que las ocupaciones tácticas requieren elevados niveles de coactivación muscular para garantizar la estabilidad y el control postural





frente a cargas externas impredecibles. No obstante, Kang et al. (2021) señalan que la fatiga neuromuscular progresiva altera la secuencia de activación de la musculatura profunda del core, reduciendo la eficiencia del control motor y aumentando la dependencia de la musculatura superficial, lo que favorece la sobrecarga mecánica y el riesgo de lesión.

Estas exigencias físicas se ven amplificadas por el estrés térmico, considerado uno de los principales factores limitantes del rendimiento en bomberos. Barr et al. (2022) y Smith et al. (2022) coinciden en que la acumulación de calor metabólico, combinada con la limitada disipación térmica del EPP, genera un incremento sostenido de la temperatura corporal central, afectando la función cardiovascular, la producción de fuerza y el rendimiento cognitivo.

El estrés térmico no solo reduce la capacidad física, sino que incrementa la percepción de esfuerzo y la probabilidad de errores operativos en escenarios críticos. De manera paralela, el estrés psico-ocupacional inherente a la profesión bomberil derivado de la exposición a situaciones de riesgo vital, toma de decisiones bajo presión y contacto frecuente con eventos potencialmente traumáticos actúa como un factor modulador de la respuesta fisiológica al esfuerzo. (Guayaquil Villarroel, 2025)

La activación sostenida del sistema nervioso simpático y del eje hipotálamo, hipófisis-adrenal contribuye a una mayor carga alostática, afectando la recuperación física y mental del trabajador (Lusa et al., 2021).

Frente a este escenario multifactorial, la metodología ERGO IBV emerge como una herramienta estratégica para la evaluación integral del riesgo ergonómico. Diego.Mas et al. (2021) y el Instituto de Biomecánica de





Valencia (IBV, 2021; 2023; 2024) destacan que ERGO IBV permite identificar tareas críticas, cuantificar la exposición biomecánica y generar recomendaciones técnicas orientadas al rediseño del trabajo. Su carácter modular facilita la integración de métodos como OWAS, REBA y NIOSH, ampliamente validados en la literatura ergonómica (Gómez-Galán et al., 2020).

La evidencia procedente de aplicaciones prácticas en contextos reales demuestra que la integración de los resultados ERGO IBV en programas de mejora y prevención permite orientar intervenciones específicas, como la reorganización de tareas, la rotación del personal, la optimización del uso del EPP y el diseño de programas de acondicionamiento físico basados en las demandas reales del puesto (González, 2023; Figueredo, 2024). Este enfoque basado en evidencia resulta coherente con los modelos actuales de gestión preventiva, que promueven la mejora continua y la vigilancia de la salud ocupacional.

En síntesis, la literatura reciente confirma que la labor bomberil debe ser abordada desde una visión integral del riesgo, en la que convergen factores biomecánicos, neuromusculares, térmicos y psicosociales. La aplicación sistemática de metodologías ergonómicas asistidas, como ERGO IBV, constituye una herramienta clave para reducir la incidencia de lesiones, optimizar el rendimiento operativo y garantizar la sostenibilidad física y mental del personal encargado de la respuesta ante emergencias. (Kesler, 2018)

Por último, los hallazgos refuerzan la pertinencia de incorporar evaluaciones biomecánicas sistemáticas mediante herramientas como Ergo IBV, no solo como mecanismo de diagnóstico, sino también como base





para el diseño de programas de prevención, rediseño de tareas y entrenamiento específico orientado a la resistencia neuromuscular y al control postural. Tal como lo plantean Marras et al. (2009), la integración de la ergonomía en ocupaciones de alto riesgo es clave para reducir la incidencia de TME y mejorar el desempeño operativo sin comprometer la seguridad.

Conclusiones

El análisis integral de la labor bomberil desarrollado en este estudio permite concluir que el combate y la liquidación de incendios constituyen actividades de alta exigencia biomecánica, térmica y psicosocial, con un impacto significativo sobre la salud musculoesquelética y el rendimiento operativo del personal. La evidencia revisada confirma que las tareas propias de la extinción implican elevadas cargas físicas, posturas forzadas y esfuerzos prolongados, especialmente durante la fase de liquidación, la cual presenta una exposición sostenida al riesgo y una mayor acumulación de fatiga

El uso del equipo de protección personal se identifica como un factor determinante en la modificación de la biomecánica del movimiento. Si bien su función protectora es incuestionable, su peso, rigidez y distribución alteran el centro de gravedad corporal, incrementan la demanda neuromuscular y aceleran la aparición de fatiga, particularmente en la región lumbar y en los miembros superiores. Estas adaptaciones biomecánicas se asocian con un aumento del riesgo de trastornos musculoesqueléticos cuando la exposición es prolongada.

Evidencia una elevada activación muscular superficial y profunda, necesaria para mantener la estabilidad y el control postural en entornos





operativos inestables. La fatiga neuromuscular progresiva altera la secuencia de activación del core, incrementando la dependencia de la musculatura superficial y favoreciendo la sobrecarga mecánica

El estrés térmico y el estrés ocupacional actúan de manera sinérgica, amplificando la carga fisiológica global y afectando tanto el rendimiento físico como la capacidad cognitiva del bombero (Barr et al., 2022). En este contexto, la metodología ERGO IBV se consolida como una herramienta eficaz para la evaluación objetiva del riesgo ergonómico y la generación de medidas preventivas basadas en evidencia. La integración de estos resultados en los programas de prevención resulta esencial para proteger la salud del personal y garantizar la sostenibilidad del servicio bomberil.

Recomendaciones

A partir de los hallazgos analizados, se recomienda la implementación sistemática de evaluaciones ergonómicas asistidas, como la metodología ERGO IBV, en todas las fases de la intervención bomberil, con especial énfasis en las tareas de liquidación del incendio, debido a su elevada carga física sostenida y menor percepción de riesgo operativo (Diego-Mas et al., 2021; IBV, 2024).

Se sugiere optimizar el uso y diseño del equipo de protección personal, priorizando mejoras que reduzcan el peso total, mejoren la distribución de la carga y permitan mayor movilidad articular, sin comprometer los niveles de protección. Estas acciones pueden disminuir la demanda biomecánica y el costo energético asociado al trabajo operativo (Barr et al., 2022).

En el ámbito del acondicionamiento físico, se recomienda desarrollar programas de entrenamiento específicos para bomberos, orientados no





solo al incremento de la fuerza general, sino también al fortalecimiento de la musculatura profunda del core, la resistencia neuromuscular y el control motor, con base en las demandas reales identificadas durante las intervenciones (McGill et al., 2021; Lusa et al., 2021).

De tal manera, resulta fundamental implementar estrategias de gestión del estrés térmico, tales como protocolos de hidratación, pausas programadas, rotación de tareas y programas de aclimatación al calor, especialmente en escenarios de intervención prolongada (Smith et al., 2022).

De manera complementaria, se recomienda fortalecer los programas de apoyo psicosocial, orientados a la gestión del estrés ocupacional, la resiliencia psicológica y la recuperación postevento. Finalmente, se sugiere integrar los resultados ergonómicos en los sistemas de vigilancia de la salud ocupacional, permitiendo un seguimiento continuo de la exposición al riesgo y la efectividad de las medidas implementadas. Este enfoque integral contribuirá a reducir la incidencia de lesiones, mejorar el desempeño operativo y asegurar la sostenibilidad física y mental del personal bomberil a largo plazo.

Referencias

Belén, A. (2020). SOBRESFUERZO EN PERSONAL ESPECIALISTA EN EXTINCIÓN DE. España.

Guayaquil Villarroel, D. H. (2025). Evaluación de riesgo ergonómico en profesionales del área administrativa en los bomberos Latacunga. doi:<https://doi.org/10.55813/gaea/ccri/v6/nE1/694>

Instituto Biomecanico de valencia. (2003). laboratorios IBV. miscelánea , 40.





Instituto Nacional de Educación, Universidad Tecnológica de Nanyang, Singapur. (14 de julio de 2023). Dolor lumbar y características biomecánicas de los músculos de la espalda en bomberos. doi:<https://doi.org/10.1080/00140139.2023.2236821>

JARAMILLO, J. I. (2016). SISTEMAS DE APOYO BIOMECANICO S.A.B PARA DISMINUCIÓN DE AFECTACIONES MUSCULO ESQUELETICAS POR TRABAJO EN POSICIÓN DE RODILLAS. pereira.

Kesler, R. M. (mayo de 2018). Impacto del tamaño del equipo de respiración autónoma y del ciclo de trabajo de extinción de incendios en el equilibrio funcional del bombero. págs. 112-119.

langfor, E. L. (2023). Evaluación de la eficiencia laboral en bomberos estructurales. Revista de Investigación sobre Fuerza y Acondicionamiento Físico, 72,24,57.

Langford, E. L. (13 de diciembre de 2023). Evaluación de la eficiencia laboral en bomberos estructurales. pág. 2457. doi:DOI: 10.1519/JSC.0000000000004577

Lavender, S. A. (Enero de 2020). Una evaluación biomecánica de posibles soluciones ergonómicas para su uso por bomberos y personal de emergencias médicas al levantar pacientes pesados en sus hogares. doi:<https://doi.org/10.1016/j.apergo.2019.102910>

Roque, M. D. (2016). estrés térmico, salud y confort laboral.

Shitan Wang. (28 de marzo de 2022). Modelo musculoesquelético para evaluar las fuerzas internas y los trastornos musculoesqueléticos





ocupacionales de los bomberos durante el uso de equipos de respiración autónoma. trabajo de salud segura, págs. 312-315.

Thruston, J. L. (28 de mayo de 2025). Efecto de la fatiga por entrenamiento de resistencia en servicio sobre la función neuromuscular en bomberos estructurales. " Salud y preparación de las poblaciones tácticas"., págs. 14,32.

Wang, S. (2023). Evaluación biomecánica de las cargas musculoesqueléticas de los bomberos al transportar equipos de respiración autónoma al caminar y correr. 1-14.

Referencias Instituto de Biomecánica de Valencia (IBV). (2023). Guía de evaluación ergonómica Ergo IBV: Herramientas de análisis de la carga física en el trabajo. Valencia: IBV.

Organización Internacional del Trabajo. (2022). Ergonomía y seguridad en los servicios de emergencia. OIT. Soteras, F., & Hernández, P. (2021). Análisis biomecánico y respuesta muscular en entornos de alta demanda física. Revista Iberoamericana de Ergonomía, 15(2), 45-58.

Hu, H., et al. (2024). The impact of positive-pressure breathing apparatus on muscle fatigue of volunteer firefighters. PLOS ONE. Wang, S., et al. (2023). A biomechanical evaluation of firefighters' musculoskeletal loads when carrying self-contained breathing apparatus. Journal / PubMed. Kesler, R. M., et al. (2024).

Evaluation of self-contained breathing apparatus (SCBA) weight on firefighter physiological response and biomechanical performance.





Ergonomics / PMC. Sokoloski, M. L., et al. (2023). Muscle damage, inflammation, and muscular performance following a typical firefighting shift. Journal / PMC. Ergo/IBV. (2023). User Manual Ergo/IBV (v.23). Ergo/IBV.

Bigland-Ritchie B, W. J. (2024). Cambios en las propiedades contráctiles musculares y el control neural durante la fatiga muscular humana. Retrieved from Muscle & Nerve: Revista Oficial de la Asociación Americana de Medicina Electrodiagnóstica: <https://doi.org/10.1002/mus.880070902>

José Luis Llorca Rubie, L. L. (2015, Mayo 14). Manual de ergonomía aplicada a la prevención de riesgos laborales. (L. -E. Pirámide, Ed.) José Luis Llorca Rubie, Luis Llorca Pellicer, Marta Llorca Pellicer, 16,19,33,40.

Secretaria de gestion de riesgos. (2016). GUÍA OPERATIVA PARA LA ORGANIZACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE LOS CUERPOS DE BOMBEROS NIVEL

NACIONAL. In D. d. Riesgos, GUÍA OPERATIVA PARA LA ORGANIZACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE LOS CUERPOS DE BOMBEROS NIVEL NACIONAL (pp. 10,20,28,42). samborondon

