

FRECUENCIA CARDÍACA COMO INDICADOR DE FATIGA AGUDA EN EL MANEJO MANUAL DE MATERIALES

HEART RATE AS ACUTE FATIGUE INDICATOR IN MANUAL MATERIAL HANDLING

Lamberto Vázquez-Veloz*

Sonia Mariscal-Lagarda**

Manuel Antonio Rivera-Rodríguez***

Resumen: El manejo manual de materiales es uno de los principales causantes de Trastornos Músculo Esqueléticos (TME) mayormente enfocados en la zona lumbosacra de los operadores que realizan estas actividades. La presente investigación conlleva el estudio de la secuencia operativa, de alta demanda biomecánica en los movimientos, que debe llevar a cabo trabajadores para realizar las operaciones de manejo manual de materiales y su impacto en la capacidad de los sistemas circulatorio y respiratorio para suministrar oxígeno a los músculos esqueléticos. Las evaluaciones ergonómicas en el manejo manual de materiales definen el riesgo en el que se encuentra un operador al realizar estas actividades, lo que normalmente se resuelve en función a los controles organizativos enfocados en los periodos de recuperación y cambio de actividad dentro de la jornada laboral. El objetivo del presente trabajo se enfoca en el análisis del comportamiento que se presenta en la frecuencia cardiaca de operadores cuando realizan el manejo manual de materiales. En el periodo transiente la frecuencia cardiaca se eleva rápidamente, en el periodo estable crece moderadamente y luego del punto crítico cae súbitamente, llegando con ello a lo que se denomina fatiga aguda.

Palabras clave: Fatiga, fatiga aguda, manejo manual de materiales.

Abstract: Manual handling of materials is one of the main causes of Musculoskeletal Disorders (MSD) mainly focused on the lumbosacral area of the operators who perform these activities. The present research entails the study of the operative sequence, of high biomechanical demand in the movements, that must be carried out by the worker to perform manual material handling operations and its impact on the ability of the circulatory and respiratory systems to supply oxygen to skeletal muscles. Ergonomic evaluations in manual material handling define the risk in which an operator is in when carrying out these activities, which is normally solved according to organizational controls focused on recovery periods and activity change within the working day. The objective of this work focuses on the analysis of the behavior that occurs in the operator's heart rate when performing manual material handling. Identifying the transient period the heart rate rises rapidly, the stable

*Departamento de Ingeniería Industrial, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Agua Prieta. Agua Prieta, Sonora, México. Correo electrónico: l.vazquez@aguaprieta.tecnm.mx. Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-1270-4537>. Autor de correspondencia.

**Departamento de Ingeniería Industrial, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Agua Prieta. Agua Prieta, Sonora, México. Correo electrónico: soniamariscal105@outlook.com. Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-5130-4288>

***Departamento de ingeniería en Sistemas Computacionales, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Agua prieta. Agua Prieta, Sonora, México. Correo electrónico: m.rivera@aguaprieta.tecnm.mx. Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-3714-3908>

period grows moderately and after the critical point falls suddenly, reaching what is called acute fatigue.

Keywords: Fatigue, acute fatigue, manual material handling.

Recepción: 04.01.2023/ / Revisión: 26.01.2023 / Aceptación: 12.04.2023

Introducción

Los sistemas de producción actuales deben de responder a una dinámica competitiva de gran envergadura y complejidad, donde se hace necesario responder de manera contundente a una demanda incierta, cambiante y que exige alta calidad, tiempo de entrega corto y a bajo costo. Para lograr responder a esta competitividad actual, se han desarrollado estrategias enfocadas a la diversificación de productos y procesos, a partir de sofisticados sistemas automatizados de planeación, organización, ejecución y control de la producción.

Sin embargo, estos sistemas productivos desarrollan sus potencialidades, sólo si el factor humano que los activa, energiza y controla está en condiciones de hacerlo, lo que directamente afecta en la sinergia hombre – máquina dentro del entorno laboral. De tal forma que todas las situaciones no controladas por los autómatas, recaen en el trabajador que desempeña sus actividades en estas operaciones, siendo una de las principales el manejo manual de materiales. Debido principalmente a los costos que representa el manejo automatizado de la carga y cuando estas cargas son consideradas relativamente pequeñas, el uso del manejo automatizado de materiales no es evidentemente costeable. Presentándose la necesidad de que ese manejo de carga lo desarrolle el factor humano.

Esta responsabilidad que recae en el trabajador mantiene un alto riesgo en su estructura anatómica, ya que existen estadísticas que han mostrado que los trastornos músculo esqueléticos (TME) derivados de un esfuerzo excesivo durante el levantamiento de carga pueden representar el 31% del total de casos de lesiones laborales con tiempo perdido (Castro-Castro et al., 2018).

El conjunto multifactorial de acciones que requiere el cuerpo humano para realizar el manejo manual de materiales, está conformado por el impulso eléctrico que el cerebro envía a través de la médula espinal hasta llegar a los músculos encargados de hacer la compresión, como resultado de la reacción química de la actina y la miosina. Con esto la articulación involucrada hace efecto de palanca con los huesos que es la estructura que soporta el movimiento. Cuando esta acción sobrepasa la capacidad del cuerpo y su periodo de recuperación no es el suficiente, se presentan los TME (Saavedra-Robinson et al., 2021).

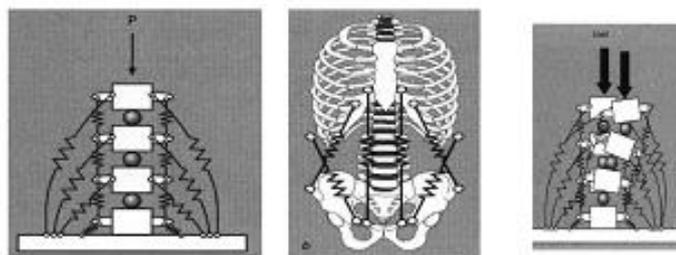
Los TME provocados por el manejo manual de materiales se ven principalmente relacionados con la columna vertebral, debido a que biomecánicamente el centro de masa del cuerpo humano es el que genera el contrapeso en desarrollo de la actividad (López-Torres et al., 2014).

La columna vertebral humana es una estructura rígida, que permite soportar presiones, y elástica, lo que le da un gran rango de movilidad (Mihaila & Slicaru, 2014). Estos dos

conceptos son contrapuestos, pero a lo largo de la evolución se han convolucionado y el resultado es un equilibrio conveniente a las necesidades de soporte y movilidad. Este equilibrio, casi perfecto, se logra mediante los sistemas de protección musculares, aponeuróticos y mixtos.

Cuando la columna deja de ser estable y aparece el dolor se deben revisar estos sistemas y normalmente se observa que alguno o varios están fallando. En la figura 1, se muestra de forma esquemática la alineación y desalineación de la columna vertebral.

Figura 1. Esquema de la columna vertebral alineada y cuando se presenta desalineación.



Fuente. Mihaila y Slicaru (2014).

La carga postural que mantiene la columna vertebral está conformada por un conjunto multifactorial que contempla el peso de la persona, la carga que levante o transporte, la forma y estructura de la carga, la postura en que desarrolle la tarea el operador y entre otras la repetitividad de movimientos que realice. Esto produce una compresión de los discos intervertebrales de forma irregular. Lo que provoca que, lo denominado como cojín intervertebral, pierda hidratación y fortaleza, estando con ello en posibilidad de generar una hernia discal y producir una presión sobre el sistema de nervios.

La afectación principal que se presenta es una desalineación axial del tronco, lo que provoca una compresión asimétrica del cojín intervertebral, generando una presión del núcleo pulposo sobre el anillo fibroso con una mayor intensidad en un área en particular, dando como resultado un desgaste prematuro en su elasticidad y funcionalidad.

Aunado a lo anterior, el movimiento necesario para realizar el manejo manual de carga es una actividad dinámica y en ciertas ocasiones demandante de una gran energía y esfuerzo en un periodo de tiempo muy corto, lo que implica una demanda alta de oxígeno por parte de los músculos. Esta situación hace que el sistema circulatorio se active una manera no normal, al establecer una alta demanda y posterior a ello una inactividad, en un ciclo repetitivo constante. Ello genera la posibilidad de que el operador desarrolle enfermedades coronarias, hipertensión arterial, paro cardiorrespiratorio, insuficiencia cardíaca, arritmia, entre otras. Situación que ha sido poco analizada y estudiada.

El presente trabajo consiste en un análisis de las actividades desarrolladas en el manejo manual de materiales y su impacto en el trabajo cardiovascular. Para ello se plantea como objetivo general de investigación, analizar la variación de la frecuencia cardiaca como indicador del punto crítico de fatiga aguda en las operaciones de manejo manual de materiales.

Materiales y métodos

El trabajo investigativo se desarrolla en las líneas de producción intermitente con flujos en línea de empresas de la industria maquiladora y manufacturera de exportación del noroeste de Sonora, que por sus requerimientos propios se hace necesario el manejo manual de materiales. La metodología utilizada en la presente investigación, se sustenta en un estudio observacional descriptivo transversal con enfoque mixto. Se enmarcan para su desarrollo tres etapas:

Como primera etapa se realiza un diagnóstico ergonómico que logre indicar el grado de riesgo en el que se desarrolla la actividad de manejo manual de materiales. Los instrumentos de apoyo a la evaluación del riesgo que se consideraron en la evaluación son: Método Manual handling assessment chart (MAC) (Health and Safety Executive, 2019), Estimación de Utah de la fuerza de compresión en disco (Carvello & Bernard, 2005) y Estimación de la carga física (FRI) (Diego-Mas, 2015).

La segunda parte de la metodología consiste en analizar el comportamiento de la frecuencia cardiaca del trabajador que realiza el manejo manual de materiales. Este análisis identifica los puntos en el que el ritmo cardíaco va incrementándose en acuerdo a la intensidad en el desempeño de operador.

Como tercera acción se valora el comportamiento de la frecuencia cardiaca del trabajador y se determina el punto crítico donde aparece la fatiga aguda.

Resultados y discusión

Los requerimientos propios de la tarea a realizar hacen necesaria la actividad del manejo manual de cargas, en una secuencia operativa de alta demanda biomecánica en los movimientos que debe llevar a cabo el trabajador. Esto lleva consigo una alta posibilidad de que el operador desarrolle un TME o pueda llegar el caso en que se presente una lesión, principalmente en la zona lumbosacra.

Los estudios observacionales se desarrollaron en 8 empresas, donde las actividades requeridas por la línea de producción hacían necesario el manejo manual de materiales. Es importante establecer que, las líneas analizadas se conforman por varias estaciones de trabajo que contemplan la misma necesidad. Aunado a ello, se trabajan en dos o tres turnos, por lo que la población expuesta a esta demanda alta de trabajo es considerablemente grande.

La carga que debe manipular el operador es un rollo de tela que se utiliza en la fabricación de batas desechables de uso médico, este rollo mantiene un peso de 25 kilogramos. El operador realiza un levantamiento de carga, lo que tiene una duración de 30 segundos, mantienen giros con carga y la transporta más de dos metros. El levantamiento lo hace del piso hasta una altura superior al hombro, el tiempo total de trabajo es de 4 horas en esta actividad.

El trabajo investigativo da inicio con la identificación de los factores de riesgo que se

presentan en el manejo manual de materiales. En la figura 2 se muestra la secuencia de acciones que un operador realiza en una de las estaciones de trabajo analizadas.

Figura 2. Secuencia operativa que conlleva el manejo manual de materiales.



La secuenciación operativa que se exige en la tarea inicia cuando el operador retira el rollo de material del transportador de rollos, lo coloca en el piso para poder reacomodar sus manos y lograr un agarre de mayor sujeción, esto es debido a que posterior a ello realiza un desplazamiento del rollo y luego inicia con la formación del apilado de cuatro rollos, lo que da como resultado una altura mayor a la del hombro del operador.

En análisis ergonómico preliminar logra encontrar y definir un conjunto de riesgos para la estación de trabajo en estudio. Los principales factores de riesgo encontrados se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Principales factores de riesgo en la estación de trabajo.

Carga	Ambiente de trabajo	Esfuerzo físico	Exigencias de la actividad
El volumen de la carga dificulta su manipulación.	No se presentan condiciones adversas al trabajador.	Existe un esfuerzo intenso y repetitivo.	El operador realiza la actividad 17 veces en 4 horas, durante la jornada de trabajo que contempla 9.6 horas.
No es posible mantener un equilibrio de carga.		El esfuerzo físico debe realizarse con torsión y flexión del tronco.	
Es necesario realizar torsiones con la carga.		Se requieren movimientos bruscos.	
La carga tiene dimensiones que complican su manipulación.		La carga se levanta desde el suelo hasta una altura superior al hombro.	

Una vez identificados los factores de riesgo, se procedió a realizar la evaluación ergonómica de la operación. Para ello se utilizaron 3 métodos que incluyen la carga estática y la carga dinámica que el trabajador realiza en su actividad.

El primer método de evaluación ergonómica en el manejo manual de cargas es el denominado MAC (Health and Safety Executive, 2019), esta metodología utiliza una escala cuantitativa y un código de colores que enmarcan el riesgo en el que se encuentra la acción de levantamiento de la carga. Para la evaluación de la estación de trabajo en análisis, el valor cuantitativo que alcanza es de 16 y el código de color es rojo, lo que implica un nivel de riesgo alto significativo y se hace necesario realizar acciones correctivas de forma inmediata. La misma metodología propone para este caso llevar a cabo una acción rápida, por lo que se deben establecer medidas de control, mediante un programa de ergonomía para el manejo manual de cargas.

En esta primera aplicación se detalla que los puntos críticos están en la distancia que se presenta entre la mano del operador y la espalda baja al momento del levantamiento, el segundo punto crítico es la altura a la que debe levantar el rollo y la tercera está en la forma

tan compleja que tienen la carga en el agarre ya que, al ser está un rollo, sólo se puede hacer el agarre del centro al anillo periférico de la carga y no hay mecanismos de sujeción.

El segundo método de evaluación ergonómica que se aplicó es el denominado Estimación de la fuerza de compresión en disco Utah (Carvello & Bernard, 2005).

Este método desarrolla un conjunto de cálculos biomecánicos que estiman la fuerza de compresión en los discos intervertebrales al momento de realizar el levantamiento de la carga, dando como valor de referencia 3100 newtons, para el caso de la tarea en análisis el resultado del método es de 4945 newtons, lo que implica un valor más alto que el de referencia, siendo un riesgo inminente el que presenta la tarea.

El tercer método de evaluación utilizado es denominado FRI (Diego-Mas, 2015). El método valora la frecuencia cardíaca que mantiene el trabajador en el desarrollo de su actividad y lo compara con la frecuencia cardíaca media y la inicial o en reposo, con ello logra estimar la carga física que el trabajador tiene cuando realiza la labor de levantamiento de la carga. En el caso de estudio la valoración de la carga física que se obtiene con el método es de 25, considerando una carga extremadamente dura. Esta situación nos indica que el esfuerzo que tiene el operador en la tarea es alto y que su sistema cardiovascular se encuentra altamente activo.

Como se explica en el desarrollo anterior, el resultado de los tres métodos de evaluación ergonómica es similar e indican que la estación de trabajo con ensamble manual mantiene un alto riesgo para el operador. Sin embargo, al ser una operación que se lleva a cabo durante 4 horas y en ella se realizan aproximadamente 17 levantamientos, el periodo de recuperación en la jornada total de trabajo, es suficiente para no generar un desgaste demasiado alto en el trabajador.

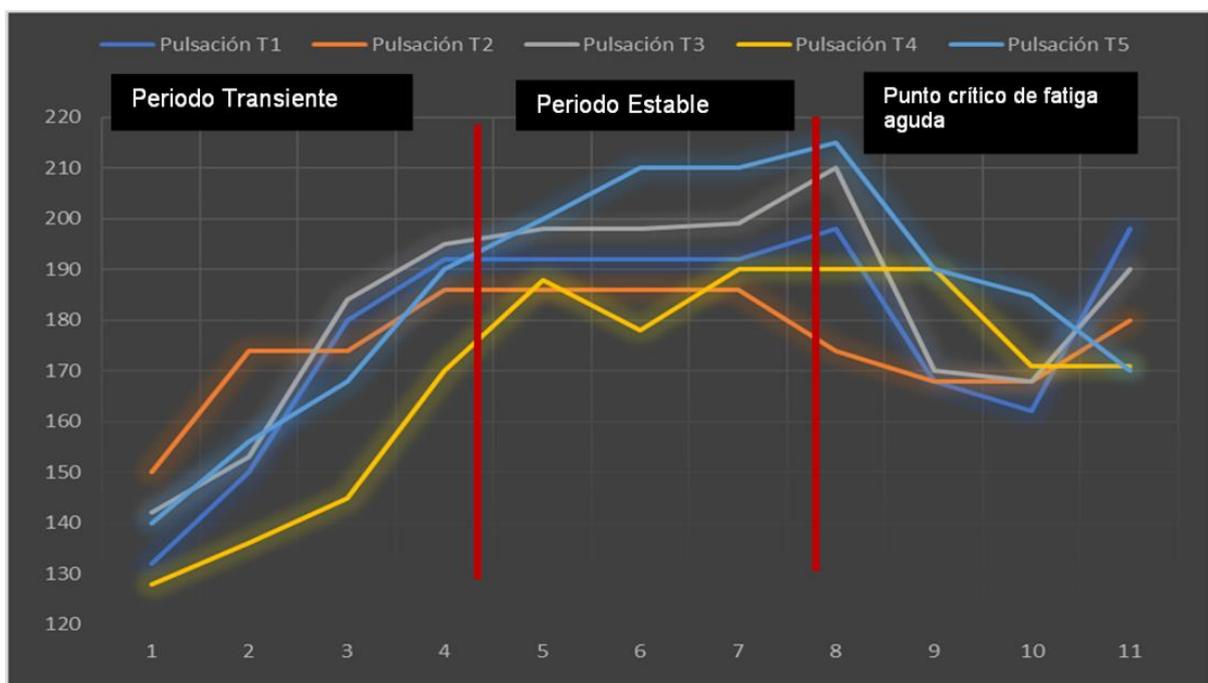
La inquietud principal de esta investigación se enfoca al periodo de 4 horas donde el esfuerzo es muy alto y el operador está en posibilidad de generar una grave lesión músculo esquelética, principalmente en la zona lumbosacra, cadera y articulación de rodilla, a su vez se encuentra en riesgo la función cardiorrespiratoria del operador, esto se debe principalmente a que el levantamiento se lleva a cabo en 30 segundos, es una carga de 25 kilogramos y una altura superior al hombro, lo que implica un gran esfuerzo muscular y cardíaco.

La fatiga neuromuscular está asociada a distintos mecanismos, centrales o periféricos, que interactúan de forma dinámica entre sí, y generan una serie de eventos que lleva a una disminución protectora en la capacidad productiva de la fuerza, en forma reversible. Cuando el Pi (fosfato inorgánico) limita la liberación, la actividad y la sensibilidad al Ca^{2+} , caen las reservas de ATP creando una deuda de oxígeno en el músculo, generando un punto de fatiga donde la hidrólisis no potencializa la reacción química en el músculo y no se genera la demanda de oxígeno al sistema nervioso central, por lo que se explican las anomalías en la transmisión neuromuscular o de propagación de potencial de acción por el sarcolema, a nivel del acople excitación – contracción – relajación, esto puede ocasionar lesiones músculo – esqueléticas cuando se llevan a cabo actividades de manejo manual de materiales en la estadía laboral (Gómez-Campos et al., 2010).

Para valorar lo anterior en las estaciones de manejo manual de materiales se hace necesario evaluar la variación en la frecuencia cardíaca del operador y construir la gráfica que defina el punto crítico donde aparece la fatiga aguda. La valoración se llevó a cabo con un pulsómetro que realiza la medición a través de una banda que se coloca en el pecho del operador y envía los resultados al dispositivo móvil del analista. Las principales características del dispositivo de medición son: Peso 15 gramos; rango de frecuencia cardíaca 30 – 240 ppm; conexiones Bluetooth 4 y ANT+; distancia de trabajo Bluetooth 10 metros y ANT 6 metros.

En la figura 3 se muestran los datos de la frecuencia cardíaca de 5 operadores que realizan el manejo manual de materiales en las estaciones de trabajo analizadas.

Figura 3. Frecuencia cardíaca de los operadores de manejo manual de materiales.



En la figura 3 se logra observar que existe un periodo transiente donde la frecuencia cardíaca se eleva rápidamente, posterior a eso su crecimiento se puede considerar estable y finalmente llega un punto en el que disminuye drásticamente, lo que indica que el trabajador está en el punto crítico de fatiga aguda.

Conclusiones

La sobrecarga de trabajo que contempla el manejo manual de materiales lleva consigo un acelerado incremento en las frecuencias cardíacas de los operadores que realizan estas actividades. Estos incrementos se presentan en un período de tiempo muy corto, momento en el cual se da una sobrecarga de trabajo en el sistema cardiovascular del operador.

La función excitación – contracción – relajación que se presenta en los músculos para ejercer el movimiento demanda de oxígeno para su activación. Es de esta forma que en el

levantamiento manual de cargas se ve un incremento en la frecuencia cardíaca al realizar la operación.

Cuando un trabajador está en el punto de fatiga aguda, se presenta la posibilidad de que el músculo demande una gran cantidad de oxígeno y se active de manera súbita la frecuencia cardíaca, lo que pone en alto riesgo la salud del operario, que en caso extremo puede sufrir un paro cardíaco.

Es de suma importancia que se considere un análisis de los trabajos de manejo manual de materiales cuando las condiciones de la operación son altamente demandantes y el trabajador este en posibilidad de presentar fatiga aguda.

La ergonomía mantiene dos directrices importantes en su estudio, la calidad de vida del trabajador y la eficiencia productiva de la empresa. Sin embargo, es necesario que los estudios enfocados al manejo manual de cargas se considere una ampliación en la búsqueda de la fatiga aguda y con ello se enmarque con más detalle el cuidado de la salud del operador.

Referencias

- Carvello, V., & Bernard, T. (2005). *Utah Estimation of Back Compressive Force*. University of South Florida and College of Public Health.
- Castro-Castro, G. C., Ardila-Pereira, L. C., Orozco-Muñoz, Y. del S., Sepulveda-Lazaro, E. E., & Molina-Castro, C. E. (2018). Factores de riesgo asociados a desordenes musculo esqueléticos en una empresa de fabricación de refrigeradores. *Revista de Salud Pública*, 20(2). <https://doi.org/10.15446/rsap.v20n2.57015>
- Diego-Mas, J. (2015). *Valoración de la carga física del trabajo mediante la frecuencia cardiaca*. Ergonautas, Universidad Politécnica de Valencia. <https://www.ergonautas.upv.es/herramientas/frimat/frimat.php>
- Gómez-Campos, R., Cossio-Bolaños, M. A., Brousett Minaya, M., & Hochmuller-Fogaca, R. T. (2010). Mecanismos implicados en la fatiga aguda. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y del Deporte / International Journal of Medicine and Science of Physical Activity and Sport*, 10(40), 537-555. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=54222122003>
- Health and Safety Executive. (2019). *Manual handling assessment chart (MAC)*. United Kingdom Government. <https://www.hse.gov.uk/pubns/indg383.htm>
- López-Torres, B. P., González-Muñoz, E. L., Colunga-Rodríguez, C., & Oliva-López, E. (2014). Evaluación de sobrecarga postural en trabajadores: Revisión de la literatura. *Ciencia & trabajo*, 16(50), 111-115. <https://doi.org/10.4067/S0718-24492014000200009>
- Mihaila, R., & Slicaru, A. (2014). Spine Functionality - General Methodological Problems and Electromyography as a Method of Investigation. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 117, 588-596. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.02.267>
- Saavedra-Robinson, L. A., Paredes-Astudillo, Y. A., & Quintana, L. (2021). Análisis de la Frecuencia Cardiaca relacionada con las variables de altura y frecuencia en el Levantamiento de cargas. *Archivos de Prevención de Riesgos Laborales*, 24(1), 34-46. <https://doi.org/10.12961/aprl.2021.24.01.04>