

MANEJO MANUAL DE CARGAS: UNA APROXIMACIÓN DE LA EVIDENCIA AL TERRENO

MANUAL MATERIAL HANDLING: AN EVIDENCE-BASED APPROACH TO THE FIELD

Cristhian Mella-Riquelme*

Resumen: A pesar del creciente grado de mecanización y automatización en la industria, las tareas de manejo manual de carga (MMC) siguen siendo una característica importante de muchas faenas industriales y de servicios. Es interesante que la introducción de la mecanización y la automatización en el lugar de trabajo no elimine la necesidad de realizar tareas de MMC, sino que modifique la naturaleza de las demandas y quizás introduzca nuevas tareas. La siguiente revisión tiene como objetivo analizar la problemática existente durante la aplicación en terreno de herramientas convencionales de evaluación de MMC, para ser consideradas por el especialista al momento de emitir una conclusión diagnóstica de una tarea respecto a su nivel de riesgo.

Palabras clave: Manejo manual de cargas, ergonomía, factores humanos, carga física.

Abstract: Despite the increasing degree of mechanization and automation in industry, manual material handling (MMC) tasks remain an important feature of many industrial and service jobs. Interestingly, the introduction of mechanization and automation in the workplace does not eliminate the need for MMC tasks, but rather changes the nature of the demands and perhaps introduces new tasks. The following review aims to analyze the problems encountered during the field application of conventional MMC assessment tools, to be considered by the specialist when issuing a diagnostic conclusion of a task with respect to its risk level.

Keywords: Manual material handling, ergonomic, human factors, physical workload.

Recepción: 05.08.2022 / Revisión: 08.08.2022 / Aceptación: 15.08.2022

Introducción

Existe evidencia considerable de que muchas características del trabajo de MMC aumentan el riesgo de lesión del trabajador y consecuentemente a su capacidad para realizar el MMC. La compleja interacción de los factores del MMC que determinan la carga física o la intensidad de la exposición hace que la caracterización de estas actividades sea todo un reto. Además, no es suficiente con evaluar la intensidad de las demandas de MMC en un único momento sin tener en cuenta el patrón temporal de la carga y la variabilidad de la exposición a MMC a lo largo del tiempo, que puede ser muy elevada en trabajos como el de la construcción (Paquet, 1999).

*Goodyear Chile. Santiago, Chile. Correo electrónico: cristhian.mella@gmail.com. Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-8701-404X>

Estudios anteriores indican que la manipulación manual de materiales no sólo es la categoría más frecuente sino también la más costosa de las pérdidas indemnizables en el lugar de trabajo (Sanders & McCormick, 1992; Burdorf & Sorock, 1997; Hashemi et al., 1997; NIOSH, 1997; Dempsey & Hashemi, 1999; Murphy & Courtney, 2000; Dempsey, 2003; Ciriello, 2003, Ciriello, 2007). Estos estudios informan de que los trastornos musculoesqueléticos son las lesiones relacionadas con el trabajo más comunes en las tareas de MMC. Según un estudio realizado por el NIOSH (1997), Ayoub y Mital (1989), Sanders y McCormick (1992), Mital et al. (1993), Waters et al. (1993) y Snook y Ciriello (1991), los factores de riesgo laboral debidos a MMC, que pueden causar estrés físico, son aparentemente ilimitados.

Desde hace varias décadas, la eliminación, o al menos la reducción, del riesgo de lesiones debidas a las tareas de levantamiento ha sido un tema de interés en muchos campos de investigación. Los investigadores han utilizado varios enfoques (técnicas), como el enfoque epidemiológico, los análisis posturales, el enfoque biomecánico, el enfoque fisiológico, y el enfoque psicofísico, para evaluar y cuantificar las relaciones entre las tensiones impuestas y el esfuerzo resultante, y así controlar el problema generalizado del sobreesfuerzo y la espalda (Fredericks, 2008).

Materiales y métodos

Este trabajo presenta una revisión de la literatura científica disponible sobre el MMC. La búsqueda de artículos fue desarrollada en la base de datos Science Direct. Se seleccionaron artículos escritos en inglés para el análisis de datos, atendiendo a criterios de pertinencia.

Posteriormente y con el fin de mantener en la muestra únicamente los artículos relacionados con el tema de estudio, se seleccionaron una cantidad de 272 artículos en la búsqueda, los cuales se fueron analizando desde su título y su resumen (abstract) para conocer el abordaje que cada uno entregaba al tema de estudio, analizando más profundamente los que presentaban metodologías de evaluación en terreno o laboratorio del MMC.

Resultados y discusión

La ecuación de levantamiento del Instituto Nacional de Seguridad y Salud Ocupacional (NIOSH) refleja la evolución y adaptabilidad que han tenido que experimentar los métodos de evaluación para MMC. Esta se presentó como una primera ecuación de levantamiento en 1981 y se convirtió en la más utilizada en la industria (NIOSH, 1997). Esta ecuación multiplicativa utilizaba una constante de carga de 40 kg y entradas de alcance horizontal (H), altura vertical al inicio de la elevación (V), desplazamiento vertical (D) y frecuencia de elevación (F) para descontar de esa carga. La ecuación se basaba en una integración de criterios biomecánicos, psicofísicos y fisiológicos. Diez años más tarde, se desarrolló una ecuación de levantamiento revisada por NIOSH para abordar algunas de las limitaciones en

la aplicabilidad de la original y para incorporar los hallazgos científicos posteriores (Putz-Anderson & Waters, 1991). Waters et al. (1993) publicaron los detalles de la ecuación revisada, que incluía nuevos multiplicadores para tener en cuenta el levantamiento asimétrico y el acoplamiento mano-objeto. Además, la constante de carga se redujo a 23 kg y se modificaron los multiplicadores H, V, D y F. Este valor era consistente con la carga más alta aceptable para el 75% de las mujeres, por Snook y Ciriello (1991) tanto para levantamiento como para descenso. NIOSH (1997) y Waters et al. (1993) describen los valores específicos utilizados para establecer un Peso Recomendado de Elevación (RWL) y estos se basaron en tres criterios 1) biomecánico; mantener las fuerzas de compresión L5/S1 por debajo de 3400 N, 2) psicofísico; las cargas son aceptables "para el 75% de las mujeres y aproximadamente el 99% de los hombres", y 3) fisiológico; limitar el gasto energético a valores que oscilan entre 2,2 y 4,7 kcal/min dependiendo de la duración y el V de los levantamientos. Esta ecuación revisada sigue utilizándose ampliamente para tomar decisiones ergonómicas sobre las cargas aceptables para las tareas de manipulación manual de materiales. La mayoría de los ergónomos utilizan la ecuación con la suposición de que está diseñando los criterios establecidos.

Es necesario entender que las tareas industriales son complejas y contemplan diversas variables simultáneamente. Marras et al. (2009) señalaron que el trabajo en la industria manufacturera implica cada vez más un trabajo en el que los empleados realizan una variedad de tareas y pueden rotar por diferentes puestos de trabajo a lo largo del día, concluyeron además que las tendencias en las industrias manufactureras y de servicios para la naturaleza del trabajo físico están evolucionando más hacia un entorno de baja fuerza y altamente repetitivo.

Drury et al. (1982) señalaron en un estudio sobre las tareas con MMC en la industria, que los trabajos con una variabilidad considerable (manipulación de una variedad de cajas u objetos, movimiento de cajas a distintas posiciones, como en la carga de pallets o la preparación de pedidos) son los más difíciles de automatizar y "siguen siendo el bastión final del levantamiento y la manipulación en lo que, de otro modo, serían fábricas bastante mecanizadas".

La realidad en terreno

Por lo tanto, es muy difícil aislar en terreno la tarea de MMC en un puesto de trabajo para ser evaluado por sí solo, que esto sea representativo y suficiente consideración para calificarlo como riesgoso, cuando el contexto de este involucra otros componentes que pueden afectar el desarrollo del trabajador en su labor. Factores identificados como fuentes potenciales de estrés físico pueden clasificarse en los cinco grupos siguientes: características físicas y psicológicas de la manipulación manual de materiales, características de los objetos, métodos de manipulación de materiales, aspectos espaciales del MMC y factores ambientales. Entre estos factores causales, las características del objeto que se levanta ejercen una gran influencia en el estrés biomecánico, fisiológico y psicofísico que acompaña al MMC (Chaffin, 1987; Sanders & McCormick, 1992; Mital et al., 1993; Waters et al., 1993; Ciriello, 2008). Por ejemplo, el tamaño del objeto afecta al peso máximo aceptable de la carga (MAWL), al gasto energético y a las tensiones de la columna vertebral (Ayoub & Mital, 1989) y al peso máximo aceptable (MAW) de levantamiento (Ciriello, 2003; Ciriello, 2007); la forma del objeto afecta

al MAWL y a la distancia Centro de Gravedad-L5/S1 (Garg & Saxena, 1980; Mital & Okolie, 1982; Smith & Jiang, 1984); la distribución y la estabilidad del objeto afectan a la MAWL (Ayoub & Mital, 1989); y las asas del objeto también afectan a la MAWL (Garg & Saxena, 1979) y a las preferencias del usuario (Jung & Jung, 2007). Por lo tanto, Ayoub (1971, 1982) afirmó que el peso y su distribución, la forma, la rigidez y la disponibilidad de asas y dispositivos de acoplamiento similares son las principales características que deben considerarse en el proceso de diseño de las tareas de elevación.

La evaluación detallada de las exigencias de MMC se ha realizado con enfoques biomecánicos, fisiológicos y psicofísicos. Las técnicas biomecánicas incluyen el uso de modelos estáticos bidimensionales en el plano sagital (Chaffin, 1969), modelos estáticos tridimensionales para actividades de elevación asimétrica y, más recientemente, modelos biomecánicos dinámicos (por ejemplo, McGill, 1992). Los enfoques fisiológicos pueden utilizarse para estimar los requisitos de gasto energético del MMC utilizando mediciones directas de la frecuencia cardíaca o el consumo de oxígeno, o métodos indirectos que predicen el gasto energético a partir de factores individuales y relacionados con el trabajo (Garg et al., 1978). Una aplicación del enfoque psicofísico ha sido determinar los pesos y fuerzas máximas aceptables para los sujetos de estudio (Snook & Ciriello, 1991).

¿Qué debemos considerar?

Los métodos de medición directa están diseñados para cuantificar los factores de una actividad o conjunto de actividades específicas de MMC, su uso se ha limitado generalmente a la investigación de laboratorio o a entornos ocupacionales que implican actividades simples de MMC. Sin embargo, las exigencias físicas en muchas ocupaciones (por ejemplo, trabajadores de mantenimiento, trabajadores de almacén, mecánicos, etc.) suelen ser mucho más complejas, ya que implican la manipulación de múltiples objetos que varían en tamaño, forma y peso con distintas frecuencias a lo largo del día y de un día para otro. Las observaciones de los trabajadores, especialmente en combinación con determinadas mediciones directas (por ejemplo, el pesaje de herramientas y materiales), permiten cuantificar, al menos parcialmente, los requisitos en materia de MMC. La ecuación de levantamiento del NIOSH combina los enfoques biomecánico, fisiológico y psicofísico en una única puntuación de exposición para evaluar las actividades de elevación sagitalmente simétricas (NIOSH, 1997), y posteriormente se revisó para incluir la elevación asimétrica, así como otros factores (Waters et al., 1993). También se han utilizado listas de chequeo para caracterizar los requisitos de salud mental en entornos laborales (por ejemplo, Kemmlert, 1995). Estos enfoques son fáciles de usar, baratos y a menudo fiables, pero pueden carecer de la precisión necesaria para priorizar los trabajos o las tareas laborales para la intervención. Además, la duración de la observación y el número de trabajadores observados necesarios para una estimación fiable de la exposición rara vez se especifican como parte del protocolo de observación. En un entorno como lo es el sector de la construcción, la medición del MMC se complica debido al constante cambio del entorno físico, la mano de obra y los requisitos del trabajo. Las tareas realizadas por los trabajadores de la construcción, los métodos y las herramientas utilizadas y las características físicas de la obra son fuentes potenciales de variabilidad de la exposición.

Estas directrices se centran en la carga, la distancia perpendicular al centro de

gravedad, la duración, la frecuencia y la forma de la carga. Este método es muy conveniente a la hora de inspeccionar los lugares de trabajo y las tareas para detectar un exceso de levantamiento que pueda poner al trabajador en riesgo de sufrir TME y lesiones lumbares, de todas maneras, este tipo de inspección depende del observador y se basa en unas pocas muestras momentáneas por grupo de trabajo (Jakobsen, 2018).

La demostración psicofísica inicial de Stevens (Stevens, 1957) de que la magnitud de una respuesta humana es en función de la potencia del estímulo, condujo a numerosas aplicaciones del principio básico. Borg (1962), al vincular la percepción sensorial con la frecuencia cardíaca y, por tanto, con los costes metabólicos, inició una amplia aplicación de la escala de percepción del esfuerzo (RPE) en el deporte. En el campo de la ergonomía, el uso de técnicas psicofísicas modificadas fue encabezado por Snook y sus colaboradores (Snook & Ciriello 1991). Otros trabajadores también contribuyeron a esta área de aplicación (Ayoub et al., 1989; Mital, 1982). Esta aplicación se ha centrado principalmente en la determinación de la carga máxima aceptable o la frecuencia de levantamiento de las tareas de manipulación manual de materiales.

Dada la necesidad de monitorizar de forma proactiva el esfuerzo físico entre los trabajadores de las industrias, muchos estudios han recurrido a la informática de sensores para este fin, utilizando múltiples sensores corporales y no corporales (Umer, 2020). El uso de dispositivos de monitorización cardíaca, que cuentan con medición de variabilidad de la frecuencia cardíaca dio lugar a evaluaciones de esfuerzo físico con una mayor precisión, de todas formas, estas características no pueden compensar las mediciones fisiológicas adicionales o los factores ambientales térmicos, como la temperatura de la piel, la frecuencia respiratoria y el WBGT, que pueden dar lugar a una precisión mucho mayor, como demostraron Aryal et al. (2017), Umer et al. (2020) y Yi et al. (2016).

Un método habitual es medir la intensidad cardiovascular mediante monitores de frecuencia cardíaca, esta actividad durante el ejercicio físico es una interesante herramienta no invasiva para monitorizar la respuesta cardiovascular al ejercicio, sin embargo, este método no proporciona una estimación de la carga en partes específicas del cuerpo (Hernando et al., 2018). Además, el uso de la RPE es un método que no debe ser sustituido por completo como referencia y siempre debe estar presente en este tipo de evaluaciones, ya que se considera un estándar de oro para la monitorización del esfuerzo físico (Ahmad et al., 2020).

Conclusiones

La evaluación de MMC en un puesto de trabajo, debe ser considerada de manera integral, si bien existe cada vez metodología más específica, es difícil aun representar un puesto de trabajo solo por una tarea específica, así también como lo es representar un área con un solo trabajador.

La evidencia destaca la importancia de distintos factores intrínsecos y extrínsecos de la actividad, como participantes del resultado de una evaluación, que no siempre son considerados en evaluaciones aisladas.

Los actuales avances tecnológicos en la industria en la mecanización de sus procesos productivos no han sido capaces de eliminar por completo el MMC debido a su complejidad, dado esto es que tampoco desde el punto de vista de la evaluación, se debe tomar livianamente.

Todavía existe un vacío de conocimiento para investigar la monitorización/modelación del esfuerzo físico utilizando únicamente características de la FC, por lo que se debe promover esta línea de investigación, debido a que los dispositivos utilizados para esto, como por ejemplo un sensor óptico, tienen amplia disponibilidad y facilidad de uso, pueden servir como un método no invasivo que podría utilizarse en las industrias físicamente exigentes para supervisar proactivamente el esfuerzo y garantizar la salud y la seguridad de los trabajadores.

Referencias

- Ahmad, Z., Jamaludin, M. N., & Jamaludin, U. K. (2020). *Physical fatigue prediction based on heart rate variability (HRV) features in time and frequency domains using artificial neural networks model during exercise*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-15-3270-2_34
- Aryal, A., Ghahramani, A., & Becerik-Gerber, B. (2017). Monitoring fatigue in construction workers using physiological measurements. *Automation in Construction*, 82, 154-165. <https://doi.org/10.1016/J.AUTCON.2017.03.003>
- Ayoub, M. A., & Mital, A. (1989). *Manual materials handling*. Taylor & Francis.
- Ayoub, M. A., & LoPresti, P. (1971). The determination of an optimum size cylindrical handle by use of electromyography. *Ergonomics*, 14(4), 509-518. <https://doi.org/10.1080/00140137108931271>
- Borg, G. A. V. (1962). *Physical performance and perceived exertion*. Gleeurp.
- Burdorf, A., & Sorock, G. (1997). Positive and negative evidence on risk factors for back disorders. *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health*, 23(4), 243-256. <http://www.jstor.org/stable/40966644>
- Ciriello, V. M. (2003). The effects of box size, frequency and extended horizontal reach on maximum acceptable weights of lifting. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 32(2), 115-120. [https://doi.org/10.1016/S0169-8141\(03\)00045-3](https://doi.org/10.1016/S0169-8141(03)00045-3)
- Ciriello, V. M. (2007). The effects of container size, frequency and extended horizontal reach on maximum acceptable weights of lifting for female industrial workers. *Applied Ergonomics*, 38(1), 1-5. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2006.02.001>
- Ciriello, V. M., Dempsey, P. G., Maikala, R. V., & O'Brien, N. O. (2008). Secular changes in psychophysically determined maximum acceptable weights and forces over 20 years for industrial male workers. *Ergonomics*, 51(5), 593-601. <https://doi.org/10.1080/00140130701733590>
- Chaffin, D. B. (1969). A computerized biomechanical model: development of and use in studying gross body actions. *Journal of Biomechanics*, 2(4), 429-441. [https://doi.org/10.1016/0021-9290\(69\)90018-9](https://doi.org/10.1016/0021-9290(69)90018-9)
- Chaffin, D. B. (1987). Manual materials handling and the biomechanical basis for prevention of low back pain in industry. *American Industrial Hygiene Association Journal* 48(12), 989-996. <https://doi.org/10.1080/15298668791385967>
- Dempsey, P. G., & Hashemi, L. (1999). Analysis of worker's compensation claims associated with manual materials handling. *Ergonomics*, 42(1), 183-195. <https://doi.org/10.1080/001401399185883>
- Dempsey, P. G. (2003). A survey of lifting and lowering tasks. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 31(1), 11-16. [https://doi.org/10.1016/S0169-8141\(02\)00104-X](https://doi.org/10.1016/S0169-8141(02)00104-X)
- Drury, C. G., Law, C. H., & Pawenski, C. S. (1982). A survey of industrial box handling. *Human Factors*, 24(5), 553-565. <https://doi.org/10.1177/001872088202400505>
- Garg, A., & Saxena, U. (1979). Effects of lifting frequency and technique on physical fatigue with special reference to psychophysical methodology and metabolic rate. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 40(10), 894-903. <https://doi.org/10.1080/15298667991430460>
- Garg, A., Chaffin, D. B., & Herrin, G. D. (1978). Prediction of metabolic rates for manual material handling jobs. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 39(8), 661-674. <https://doi.org/10.1080/0002889778507831>

- Hashemi, L., Wedster, B. S., Clancy, E. A., & Volinn, W. (1997). Length of disability and cost of worker's compensation low back pain claims. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 39(10), 937-945. <https://doi.org/10.1097/00043764-199710000-00005>
- Hernando, D., Garatachea, N., Almeida, R., Casajus, J. A., & Bailon R. (2018). Validation of heart rate monitor Polar RS800 for heart rate variability analysis during exercise. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 32(3), 716-725. <https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000001662>
- Jakobsen, M. D., Sundstrup, E., Brandt, M., Persson, R., & Andersen, L. L. (2018). Estimation of physical workload of the low-back based on exposure variation analysis during a full working day among male blue-collar workers. Cross-sectional workplace study. *Applied Ergonomics*, 70, 127-133. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2018.02.019>
- Jung, H. S., & Jung, H. -S. (2007). Design of liquid container handles in accordance with user preferences. *Ergonomics*, 51(3), 247-260. <https://doi.org/10.1080/00140130701636157>
- Kemmlert, K. (1995). A method assigned for the identification of ergonomic hazards-PLIBEL. *Applied Ergonomics*, 26(3), 199-211. [https://doi.org/10.1016/0003-6870\(95\)00022-5](https://doi.org/10.1016/0003-6870(95)00022-5)
- Marras, W. S., Cutlip, R. G., Burt, S. E., & Waters, T. R. (2009). National occupational research agenda (NORA) future directions in occupational musculoskeletal disorder health research. *Applied Ergonomics*, 40(1), 15-22. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2008.01.018>
- McGill, S. (1992). A myoelectrically based dynamic three-dimensional model to predict loads on the lumbar spine tissues during lateral bending. *Journal of Biomechanics*, 25(4), 395-414. [https://doi.org/10.1016/0021-9290\(92\)90259-4](https://doi.org/10.1016/0021-9290(92)90259-4)
- Mital, A., Asfour, S., & Ayoub, M. M. (1982). Recommended work rates and container configuration for manual lifting and lowering activities, En *Proceedings of the 8th Congress of the International Ergonomics Association* (pp. 650-651).
- Mital, A., Nicholson, A. S., & Ayoub, M. M. (1993). *A guide to manual material handling*. Taylor & Francis.
- Mital, A., & Okolie, S. (1982). Influence of container shape, partitions, frequency, distance, and height level on the maximum acceptable amount of liquid carried by males. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 43(11), 813-819. <https://doi.org/10.1080/15298668291410620>
- Murphy, P. L., & Courtney, T. K. (2000). Low back pain disability: Relative costs by antecedent and industry group. *American Journal of Industrial Medicine*, 37(5), 558-571. [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1097-0274\(200005\)37:5%3C558::aid-ajim12%3E3.0.co;2-7](https://doi.org/10.1002/(sici)1097-0274(200005)37:5%3C558::aid-ajim12%3E3.0.co;2-7)
- National Institute for Occupational Safety and Health. (1997). *Musculoskeletal disorders and workplace factors: A critical review of epidemiological evidence for work-related musculoskeletal disorders of the neck, upper extremity, and low back*. <https://www.cdc.gov/niosh/docs/97-141/default.html>
- Paquet, V., Punnet, L., & Buchholz, B. (1999). An evaluation of manual materials handling in highway construction work. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 24(4), 431-444. <https://doi.org/10.1016/S0169-8141%2899%2900009-8>
- Putz-Anderson, V., & Waters, T. R. (1991). Revisions in NIOSH guide to manual lifting. En *national conference entitled "A national strategy for occupational musculoskeletal injury prevention—Implementation issues and research needs"*. University of Michigan.
- Sanders, M. S., & McCormick, E. J. (1992). *Human factors in engineering and design*. McGraw-Hill.

- Snook, S. H., & Ciriello, V. M. (1991). The design of manual handling tasks: Revised tables or maximum acceptable weights and forces. *Ergonomics*, 34(9), 1197-1213. <https://doi.org/10.1080/00140139108964855>
- Smith, J., & Jiang, B. (1984). A manual materials handling study of bag lifting. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 45(8), 505-508. <https://doi.org/10.1080/15298668491400188>
- Stevens, S. S. (1957). On the psychophysical law. *Psychological Review*, 64(3), 153-181. <https://doi.org/10.1037/h0046162>
- Umer, W. (2020). Sensors based physical exertion monitoring for construction tasks: Comparison between traditional physiological and heart rate variability-based metrics. En *Joint CIB WO99 & TG59 conference 2020*.
- Waters, T. R., Putz-Anderson, V., Garg, A., & Fine, L. J. (1993). Revised NIOSH equation for the design and evaluation of manual lifting tasks. *Ergonomics*, 36(7), 749-776. <https://doi.org/10.1080/00140139308967940>
- Yi, W., Chan, A. P. C., Wang, X., & Wang, J. (2016). Wang Development of an early-warning system for site work in hot and humid environments: A case study. *Automation in Construction*, 62, 101-113. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.11.003>