

CUANTIFICACIÓN DE LA CARGA FÍSICA EN TAREA DE PICADO DE HORNO EN LA INDUSTRIA METALÚRGICA

QUANTIFICATION OF THE PHYSICAL WORKLOAD IN FURNACE GRINDING TASKS IN THE METALLURGICAL INDUSTRY

Cristhian Aníbal Mella-Riquelme*

Resumen: El objetivo de este estudio es cuantificar la carga física de trabajo, expresada en porcentaje de la carga cardiovascular y el gasto energético total, en kilocalorías, en la tarea de picado de horno, en trabajadores de industria metalúrgica. Se estudiaron cuatro sujetos varones, de entre 30 y 44 años de edad, operadores de horno que ejecutan la tarea de análisis. Los resultados mostraron que la tarea de picado de horno excede el 40% de la carga cardiovascular en una jornada laboral, y como promedio existe un consumo de 11 kcal/min durante la realización de la tarea. Se concluye que esta tarea es posible calificarla como pesada y se debe considerar el gasto energético como un indicador de esfuerzo. La comparación de los resultados indica que podría analizarse la composición corporal como criterio de selección para tareas que son de exigencia física considerable.

Palabras clave: Carga física, ergonomía, factores humanos, bioenergética, frecuencia cardíaca.

Abstract: The aim of this study is to quantify the physical workload, expressed as a percentage of the cardiovascular load and the total energy expenditure, in kilocalories, in the task of furnace grinding, in workers of metallurgical industry. Four male subjects, between 30 and 44 years of age, furnace operators performing the analysis task, were studied. The results showed that the task of kiln grinding exceeds 40% of the cardiovascular load in a working day, and on average there is a consumption of 11 kcal/min during the performance of the task. It is concluded that this task can be classified as heavy and energy expenditure should be considered as an indicator of effort, and the comparison of the results indicates that body composition could be analyzed as a selection criterion for tasks that are of considerable physical demand.

Keywords: Physical workload, ergonomic, human factors, bioenergetic, heart rate.

Recepción: 30.11.2021 / Revisión: 07.04.2022 / Aceptación: 29.04.2022

Introducción

La actividad laboral es un elemento esencial para el sostenimiento y desarrollo de cualquier sociedad. En términos globales, porque es la base de la economía productiva y, como tal, un factor básico para el crecimiento y funcionamiento económico. Bajo esta mirada de obligatoriedad social, es que individualmente pasa desapercibido el impacto fisiológico que

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

este tiene sobre el cuerpo el trabajo.

Por la urgencia, se consideró contratar personal adicional, recibir apoyo de voluntariado o la reincorporación de personal médico y de enfermería que ya se encontraba jubilado, e inclusive considerar a los estudiantes que realizaban su internado o residencias médicas para cubrir todos los escenarios. Aunque también vale la pena mencionar a las especialidades de terapeuta respiratorios, radiología, laboratorio clínico, paramédico, personal de limpieza, personal de alimentación, personal de transporte y manejo de muestras (Valdés et al., 2020).

Las respuestas físico - biológicas de una actividad física estructurada y planificada, como es el deporte, constantemente viene siendo estudiada y documentada desde varios años (Saris et al., 1989), y en menor grado la actividad física en general, sin estructura y planificación (Bouten et al., 1995). Parte de las respuestas estudiadas consideran el gasto energético total en relación a la tasa metabólica basal (TMB) de cada individuo, esto ha servido para realizar una planificación nutricional respecto al aporte energético que debe recibir un deportista según la disciplina que desarrolle y el nivel de entrenamiento que tenga (Saris et al., 1989). Este concepto ligado al deporte se puede perfectamente extrapolar a personas no deportistas e incluso sedentarias, ya que cabe en la lógica el aportar un sustento energético que permita solventar el gasto producido (Battezzati & Viganò, 2001), en otras palabras, cada persona debería ingerir la cantidad de calorías necesarias al día en base a las requeridas por las actividades realizadas en el mismo período, incluyendo la jornada laboral (Soule et al., 1978, Bandini et al., 2002).

Usualmente se utiliza el monitoreo del ritmo cardíaco para medir la carga física de trabajo, calculando un porcentaje de su frecuencia cardíaca de reserva y como resultado se obtiene una clasificación de la intensidad del trabajo (Ministerio del Trabajo y Previsión Social, 2010). Este método se basa en la existencia de una relación entre la frecuencia cardíaca y el gasto energético dentro de un rango de actividades que se traducen en frecuencias cardíacas habituales, observadas en la vida cotidiana (Frankenfield et al., 2005). Se conoce que un aumento progresivo de la frecuencia cardíaca, hasta los 170 latidos por minutos, posee un comportamiento lineal en relación al aumento del consumo de oxígeno (Mondelo et al., 2000).

La valoración de la carga física en el ambiente laboral es utilizado para determinar la intensidad del trabajo realizado (Fernández, 2011), expresado en un porcentaje de la frecuencia cardíaca de reserva, concepto conocido como carga cardiovascular. Este valor es suficiente para realizar esta clasificación, pero también lo es la cuantificación de energía utilizada al realizar la actividad, expresada en Kcal/min.

Objetivo general

Cuantificar la carga física, expresada en porcentaje de la carga cardiovascular y el gasto energético total, en kilocalorías, en la tarea de picado de horno, en trabajadores de industria metalúrgica.

Objetivos específicos

- Establecer el perfil antropométrico y la edad de los trabajadores involucrados.
- Cuantificar el tiempo utilizado para el desarrollo de la tarea evaluada.
- Determinar la frecuencia cardíaca de reposo para cada trabajador.
- Monitorear el ritmo cardíaco de cada trabajador durante la ejecución de la tarea.
- Calcular la tasa metabólica basal para cada trabajador.
- Asignar el factor de actividad física para la tarea evaluada, según se describe en el compendio de actividad física (Ainsworth et al., 2011).
- Calcular el gasto energético total durante las tareas evaluadas para cada trabajador.
- Correlacionar el porcentaje de la carga física con el porcentaje del gasto energético.

Materiales y métodos

Se trata de un estudio descriptivo realizado en cuatro voluntarios sanos, operadores de horno, de sexo masculino, pertenecientes a la industria metalúrgica. Se pesó a los participantes vestidos y descalzos en una báscula digital con una precisión de 0,1 kg y se les talló en bipedestación, con los pies unidos por los talones formando un ángulo de 45° y la cabeza situada con el plano de Frankfurt en posición horizontal en un tallímetro con una precisión de 1 mm. Véase tabla 1.

Se utilizó una báscula digital marca ADE, modelo M20/313/812, Alemania, un tallímetro marca ADE, modelo M20/313/812, Alemania, y un pulsómetro, marca Polar, modelo RS300x, Finlandia.

Cálculo del gasto energético total (GET)

Una vez realizada la valoración antropométrica y la estimación de la actividad física practicada, se procedió a realizar el cálculo del GET a través de la multiplicación del TMB (Pinheiro-Volp et al., 2011) obtenido con la fórmula de Harris - Benedict, el factor de actividad física y el tiempo. El resultado se expresa en kcal. Por lo tanto:

$GET = (\text{TMB (Fórmula de Harris - Benedict)} / 24 \text{ horas}) \times \text{factor de actividad física (METs)} \times \text{tiempo (minutos)}$.

Fórmula de Harris - Benedict

Las ecuaciones empleadas fueron: $655,0955 + 9,5634 [\text{Peso (kg)}] + 1,8496 [\text{Talla (cm)}] - 4,6756 [\text{Edad (años)}]$ para mujeres, y $66,4730 + 13,7516 [\text{Peso (kg)}] + 5,0033 [\text{Talla (cm)}] - 6,7550 [\text{Edad (años)}]$ para varones (Harris & Benedict, 1918).

Registro de la actividad física

Para estimar el factor de actividad física se utilizó el compendio de actividad física (Ainsworth et al., 2011). En este se detallan las actividades físicas más comunes de la vida diaria, que incluyen tareas domésticas, deportivas, laborales, etc., expresadas en METs. La cuantificación de la duración de la actividad física es un factor determinante en el resultado

del cálculo de GET.

Conversión de METs a Kcal/min

Para convertir 1 MET en Kcal/min se aplica la siguiente ecuación: $Kcal/min = MET \times 0,0175 \times PESO (kg)$.

Monitoreo del ritmo cardíaco

Inicialmente se les pidió a los participantes que en su puesto de trabajo tomen un descanso en una silla durante 10 minutos para registrar la FC de reposo, luego se llevó un registro del pulso cardíaco cada un minuto mientras dure la actividad, los cuales se simplificaron en un valor único correspondiente al promedio de los pulsos registrados, que equivaldrá a la frecuencia cardíaca de trabajo para cada sujeto.

Carga cardiovascular

La carga cardiovascular (CC) representa el porcentaje en el cual aparece comprometida la frecuencia cardíaca de reserva (FCR) por la diferencia entre la frecuencia cardíaca observada durante el trabajo (FC trabajo) y la frecuencia cardíaca observada durante el reposo (FC reposo). La FCR equivale a la diferencia entre la frecuencia cardíaca máxima (FC máxima) y la FC reposo. En términos aproximados, la FC máxima corresponde a la diferencia numérica entre los 220 latidos por minuto y la edad en años del sujeto. Esta relación se resume en la siguiente ecuación:

$$\% CC = \frac{FC \text{ Trabajo} - FC \text{ Reposo}}{FC \text{ Máxima} - FC \text{ Reposo}}$$

Resultados y discusión

Las características de la población de estudio junto a sus valores antropométricos se observan en la tabla 1.

Tabla 1. Valores antropométricos de cada trabajador evaluado.

Trabajador	Edad (años)	FC máx (lpp)	Peso (kg)	Talla (cm)	IMC	TMB (kcal)
1	30	190	81	183	22,1	1893
2	33	187	84	171	24,6	1854
3	47	173	75	176	21,3	1661
4	44	176	77	174	22,1	1699

El horno de tostación es una estructura cilíndrica de ocho pisos de alto, en donde cada piso tiene aproximadamente 30 metros cuadrados (véase figura 1). Por cada horno existen seis operadores de horno por turno, que se distribuyen las tareas en todos los pisos, además de un jefe de turno.

Figura 1. Esquema representativo de un piso del horno con sus tres niveles (puertas) de acceso.

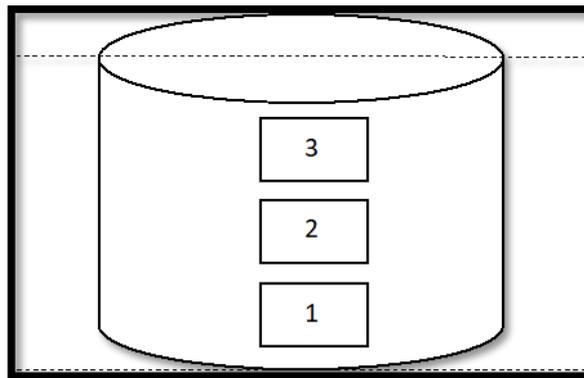


Figura 2. Foto real de una puerta en un nivel del horno.



La labor de picado de horno se realiza cada doce semanas, el horno se detiene para ser vaciado, parte del material queda adherido a las paredes y piso del horno por lo que los trabajadores deben realizar un esfuerzo físico utilizando herramientas que les permitirán extraer, de forma manual, el material adherido. Esta labor se extiende entre siete a diez días consecutivos, utilizando los tres turnos.

Esta labor en consulta con los trabajadores resulta ser la que conlleva mayor esfuerzo físico, con una valoración en la escala de Borg de 9 puntos.

El trabajo se divide en dos tareas, martillar lanza con un mazo de 12 libras (véase figura 3) y lancear el material con la herramienta fabricada para esta operación, cuyo peso es de 12 kg (véase figura 4).

Otro factor asociado que aporta en el esfuerzo físico realizado es el subir y bajar escaleras. El horno tiene ocho pisos (niveles) de altura, por lo que este pasa a ser un factor adicional que aporta al esfuerzo del trabajador. La cantidad de veces que utiliza las escaleras son cuatro, al inicio y término del turno y al salir y volver de la colación.

Figura 3. Picado de horno, tarea de martillear lanza.



Figura 4. Picado de horno, tarea de lancear material.



Las siguientes figuras muestran la monitorización de las frecuencias cardíacas (lpp) durante la jornada laboral, dividida en jornada de mañana y tarde.

Figura 5. Seguimiento de la frecuencia cardíaca (lpp) del total de los trabajadores durante la jornada de la mañana.

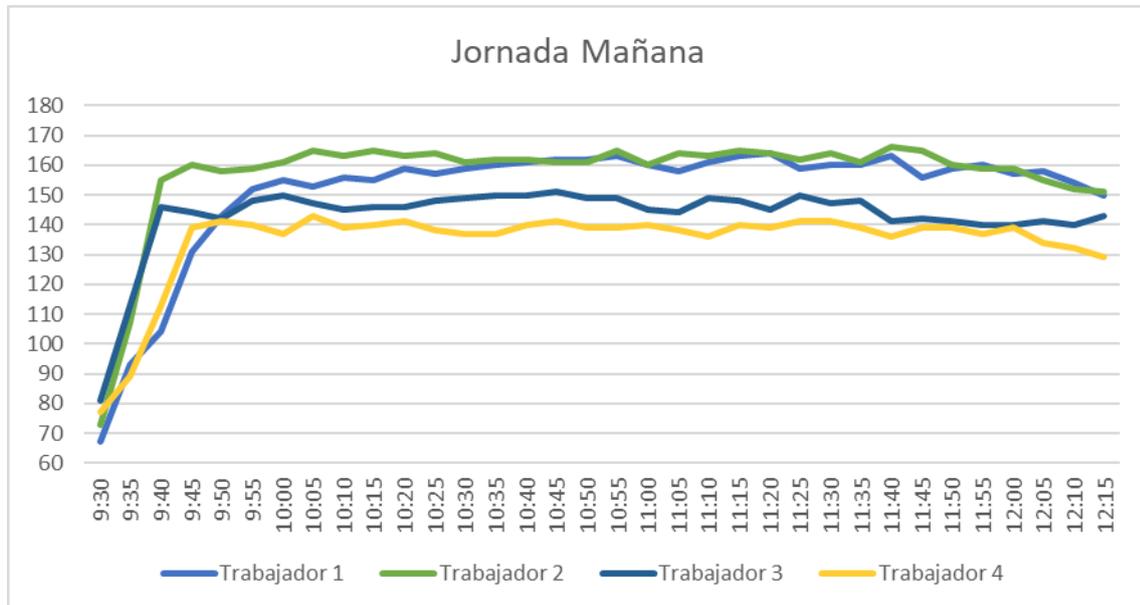
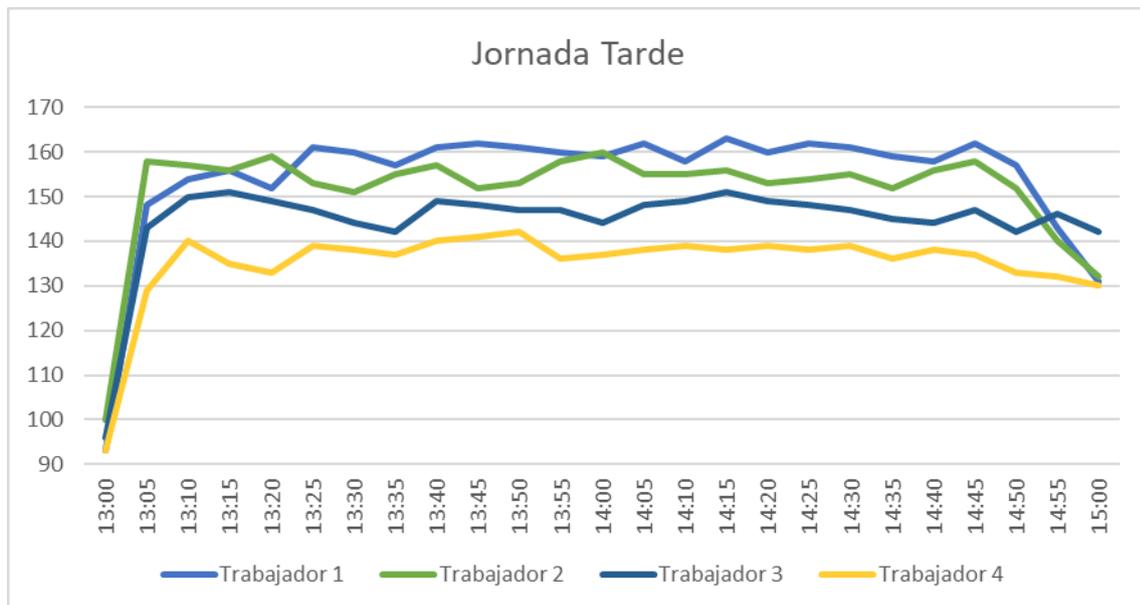


Figura 6. Seguimiento de la frecuencia cardíaca (lpp) del total de los trabajadores durante la jornada de la tarde.



Considerando los parámetros de frecuencia cardíaca máxima y de reposo, junto con el promedio de la frecuencia cardíaca de trabajo, se pudo establecer el porcentaje de carga cardiovascular a la que los sujetos se sometieron. Véase tabla 2.

Tabla 2. Registros de frecuencias cardíacas promedio, en reposo y máximas para cada trabajador; carga cardiovascular total de los trabajadores durante la jornada laboral.

Trabajador	FC reposo	FC máx	Jornada	FC trabajo	CC
1	67	190	Mañana	154	71%
			Tarde	154	71%
			Promedio	154	71%
2	73	187	Mañana	159	75%
			Tarde	151	68%
			Promedio	155	72%
3	81	173	Mañana	145	70%
			Tarde	145	70%
			Promedio	145	70%
4	77	174	Mañana	136	61%
			Tarde	135	60%
			Promedio	136	61%
Promedio de porcentaje de carga cardiovascular del total de trabajadores durante la jornada laboral					69%

Utilizando el compendio de actividad física (Ainsworth et al., 2011) se calcula que para esta actividad el factor correspondiente es de 8,0 METs, considerando que la labor realizada tiene una duración de 4,75 horas, el gasto energético total para esta tarea es el siguiente:

Tabla 3. Cálculo del gasto energético total y por minuto de la actividad para cada trabajador y el promedio del total de trabajadores; porcentaje representativo respecto de la elevación de TMB en la tarea realizada.

Trabajador	Gasto energético total	Gasto energético por minuto de trabajo	% de la TMB
1	2997 kcal	11 kcal	158%
2	2935 kcal	12 kcal	158%
3	2630 kcal	11 kcal	158%
4	2690 kcal	11 kcal	158%
Promedio	2813 (±180) Kcal	11 (±0,6) Kcal	158% (±0,0)

Discusión

En las distintas actividades realizadas por el ser humano, el tiempo dedicado a ella tanto como el esfuerzo que esta demande, tienen una alta incidencia en la cantidad y calidad del trabajo que una persona puede realizar.

La tarea evaluada en este estudio presenta distintos requerimientos para definir las como exigente, caracterizándose por la demanda aeróbica y anaeróbica, y por exigencias neuromusculares. Al conocer que una persona altamente entrenada puede mantener el 50% de su capacidad aeróbica durante 8 horas al día, un individuo promedio puede mantener el 35% de su capacidad aeróbica y una persona no entrenada es capaz de mantener un 25% de su capacidad aeróbica durante 8 horas (Michael et al., 1961), se establece un parámetro respecto al nivel de preparación que debe tener una persona que quiera ejecutar una actividad física intensa. Se puede considerar como trabajo pesado todo aquel en el cual el promedio de la “FC trabajo menos la FC reposo” monitoreado durante la jornada laboral,

supera el 40% de la Frecuencia Cardíaca de Reserva, o sea carga cardiovascular (Ministerio del Trabajo y Previsión Social, 2010).

Los resultados encontrados en este estudio demuestran que para la tarea de picado de horno existe un aumento de la carga cardiovascular mayor al 40%, es más los trabajadores durante la jornada laboral están expuestos a un trabajo en promedio correspondiente al 69% de la carga cardiovascular, siendo el más bajo un 60% durante una jornada (tarde) (véase tabla 2).

Al efectuar un trabajo sobre el 60% de la carga cardiovascular, desde el punto de vista metabólico una persona se encuentra en un trabajo en fase II, esta fase se encuentra entre el umbral aeróbico y el umbral anaeróbico. El metabolismo pasa de ser eminentemente aeróbico a integrar el metabolismo anaeróbico (mixto). La ruta metabólica predominante es la aeróbica, acompañada de la glucolítica anaeróbica progresivamente. El metabolismo de los glúcidos será el protagonista, y por ello el sustrato energético principal será el de los glúcidos (un 70%). Los productos de desecho de estas reacciones serán H₂O y CO₂, y el lactato (no como producto de desecho, sino como intermediario metabólico). Este lactato se podrá reciclar continuamente, contribuyendo a la obtención de energía y no superando la máxima concentración estable de los 4 mMoles/l. La concentración de lactato se sitúa entre los 2 y los 4 mMoles/l. A nivel neuromuscular, a las fibras lentas tipo I se irán sumando progresivamente las fibras IIa. Estas últimas fibras, también denominadas mixtas, tienen la particularidad de tener características de ambas fibras: la aeróbica y la anaeróbica. No tienen tantos mecanismos aeróbicos como las fibras tipo I, pero tienen más que sus hermanas las fibras tipo IIb (López-Chicharro, 2013).

Otro punto importante de analizar es el gasto energético expendido durante el desarrollo de esta actividad, se sabe que para mantener las funciones básicas del cuerpo son necesarias 1200 Kcal/día (metabolismo basal), distribuidas en 215Kcal/día para los latidos cardíacos, 360 Kcal/día para la función cerebral, 210 Kcal/día para la función renal y 360 Kcal/día utilizadas por los músculos en reposo, esto sumado al sexo, edad y perfil antropométrico, se estima un GE promedio que varía entre 2900 y 3000 Kcal para los varones y 2200 Kcal para las mujeres (15 y 50 años) (Helander, 2006).

Los participantes de este estudio presentaron una TMB promedio de 1777 (± 114) Kcal (véase tabla 3). Durante la realización de la tarea de picado en horno los trabajadores utilizaron en promedio un total de 2813 (± 180) Kcal, lo que equivale a un promedio de 11 ($\pm 0,6$) Kcal por minuto de trabajo, Apud et al., (2002) señalaron que un gasto de energía equivalente al 40% de la capacidad aeróbica promedio de trabajadores forestales, se aproxima a 6.0 Kcal/min.

Al conocer el gasto energético de una tarea, como lo indica el compendio de actividad física, se podría extrapolar utilizando el peso del trabajador si la actividad para él resultaría por sobre el 40% de su carga cardiovascular, para ello se deben estudiar más puestos de trabajo en la población chilena y establecer como criterio de calificación de trabajo pesado los valores iguales o superiores a 6.0 Kcal/min.

Conclusiones

La tarea de picado en horno, evaluada en este estudio, se puede considerar como pesada, puesto que el promedio de la carga cardiovascular de los trabajadores excede el 60%.

Debido a que el promedio de energía utilizada durante la jornada laboral excede las 2800 Kcal, se hace necesario revisar el aporte calórico entregado durante los días que se realice esta actividad a fin de no tener una ingesta negativa.

La composición corporal y específicamente el peso del trabajador podría utilizarse como criterio de selección para tareas que son físicamente demandantes, con un conocimiento previo del gasto energético específico para tal actividad. Estudios futuros podrían complementar analizando la composición corporal, objetivamente la masa muscular, y establecer una relación porcentual entre la TMB por minuto y el GET por minuto de una actividad.

Referencias

- Ainsworth, B. E., Haskell, W. L., Herrmann, S. D., Meckes, N., Bassett, D. R., Tudor-Locke, C., Greer, J. L., Vezina, J., Whitt-Glover, & Leon, A. S. (2011). Compendium of physical activities: A second update of codes and MET values. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 43(8), 1575-1581. <https://doi.org/10.1249/mss.ob013e31821ecee12>
- Apud, E., Meyer, F., & Maureira, F. (2002). *Ergonomía en el combate de incendios forestales*. Editorial Valverde.
- Bandini, L. G., Must, A., Spadano, J. L., & Dietz, W. H. (2002). Relationship of body composition, parental overweight, pubertal stage, and race-ethnicity to energy expenditure among premenarcheal girls. *American Journal of Clinical Nutrition*, 76, 1040-1047. <https://doi.org/10.1093/ajcn/76.5.1040>
- Battezzati, A., & Viganò, R. (2001). Indirect calorimetry and nutritional problems in clinical practice. *Acta of Diabetology*, 38, 1-5. <https://doi.org/10.1007/s005920170022>
- Bouten, C. V., Westerterp, K. R., Verduin, M., & Janssen, J. D. (1995). Assessment of energy expenditure for physical activity using a triaxial accelerometer. *Medicine and science in sports and exercise*, 26(12), 1516-1523.
- Fernández, M. (2011). *La carga física de trabajo*. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. <https://www.insst.es/documents/94886/524420/La+carga+f%C3%ADsica+de+trabajo/9ff0cb49-db5f-46d6-b131-88f132819f34>
- Frankenfield, D., Roth-Yousey, L., Compher, C., & Evidence Analysis Working Group. (2005). Comparison of predictive equations for resting metabolic rate in healthy nonobese and obese adults: a systematic review. *Journal American Diet Association*, 105(5), 775-789. <https://doi.org/10.1016/j.jada.2005.02.005>
- Harris, J. A., & Benedict, F. G. (1918). *A biometric study of the basal metabolism in man*. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 4(12), 370-373. <https://doi.org/10.1073%2Fpnas.4.12.370>
- Helander, M. (2006). *A guide to human factors and ergonomics*. Taylor & Francis Group.
- López-Chicharro, J. (2013). *Fisiología del entrenamiento aeróbico. Una visión integrada*. Panamericana.
- Michael Jr, E. D., Hutton, K. E., & Horvath, S. M. (1961). Cardiorespiratory responses during prolonged exercise. *Journal of Applied Physiology*, 4, 997-1000. <https://doi.org/10.1152/jappl.1961.16.6.997>
- Ministerio del Trabajo y Previsión Social. (2010). *Guía para la evaluación de trabajo pesado*. Santiago. https://www.spensiones.cl/portal/institucional/594/articulos-12791_guia_tecnica_evaluacion.pdf
- Mondelo, P. R., Gregori, E., & Barrau, P. (2000). *Ergonomía 1. Fundamentos*. Alfaomega edición UPC.
- Pinheiro-Volp, A. C., Esteves de Oliveira, F. C., Duarte-Moreira, A. R., Esteves, E. A., & Bressan, J. (2011). Energy expenditure: Components and evaluation methods. *Nutrition Hospital*, 26(3), 430-440. <https://doi.org/10.1590/s0212-16112011000300002>
- Saris, W. H., van Erp-Baart, M. A., Brouns, F., Westerterp, K. R., & ten Hoor, F. (1989). Study on food intake and energy expenditure during extreme sustained exercise: The tour France. *Journal of sports medicine*, 10, 26-31. <https://doi.org/10.1055/s-2007-1024951>
- Soule, R. G., Pandolf, K. B., & Goldman, R. F. (1978). Energy expenditure of heavy load carriage. *Ergonomics*, 21(5), 373-381. <https://doi.org/10.1080/00140137808931734>