

Medición del gasto energético mediante parámetros fisiológicos en trabajadores de la construcción

Measurement of energy expenditure using physiological parameters in construction workers

- Recibido: 2025/01/27 - Aprobado: 2025/02/21 - Publicado: 2025/02/28

Estefania Collaguazo Troya
Instituto Superior Tecnológico Compu Sur, con condición de Superior Universitario, Quito,
Ecuador
ecollaguazo@itecsur.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-3890-6046>

Doménica Stefania Medina Batalla
Instituto Superior Tecnológico Compu Sur, con condición de Superior Universitario, Quito,
Ecuador
mdomenica@itecsur.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0005-1805-5768>

Ana Karina Duque Jauregui
Instituto Superior Tecnológico Compu Sur, con condición de Superior Universitario, Quito,
Ecuador
duqueak@itecsur.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0004-4771-6724>

Jonathan Rubén Borja Choca
Instituto Superior Tecnológico Compu Sur, con condición de Superior Universitario, Quito,
Ecuador
jborja@itecsur.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0004-4885-0351>

Resumen

El personal de la construcción es uno de los grupos de trabajadores que menos se presta atención en cuanto a salud laboral en varios aspectos los mismos se exponen a varios riesgos laborales. Objetivo: Medir el gasto energético en trabajadores de la construcción mediante parámetros fisiológicos, en la constructora SEMAICA. Materiales y métodos: Estudio transversal descriptivo,

el tipo de muestreo fue no probabilístico intensional, la muestra fue de 20 trabajadores de la constructora SEMAICA tomando en cuenta las actividades que desempeñan cada trabajador en 8 horas laborales, se midió la frecuencia cardíaca mediante un pulsómetro de pecho y el uso de la aplicación smart phone Polar Beat, colocándole a 2 trabajadores por día, registrando así la frecuencia cardíaca basal, la frecuencia cardíaca media y máxima, está variando de acuerdo a la actividad realizada, mediante este indicador se mide el consumo de energía a través de la frecuencia cardíaca utilizando el criterio de Chamoux.

Resultados: Para los resultados de la comparación entre grupos de trabajo se obtuvo mediante el Chi cuadrado (Chi 2), este arrojó datos significativos correspondientes a: el coste absoluto relativo ($p=0,012186$) entre el grupo de microcircuitos y fierros, la frecuencia cardíaca media ($p=0,036715$) entre el grupo de microcircuitos y carpinteros y finalmente en el coste cardíaco absoluto ($p=0,047203$) al comparar entre el grupo de fierros y carpinteros. Conclusiones: En este estudio se evidenció que el 80% de la carga de trabajo era muy ligera, el 20% restante, cumplían actividades con carga de trabajo ligera; sin embargo, ningún trabajador excedía su carga física, es decir, que cada tarea se adapta al trabajador.

Palabras Clave: Gasto energético, frecuencia cardíaca, consumo de oxígeno, trabajadores, criterio de Chamoux.

Abstract

Construction personnel are one of the groups of workers that receive the least attention in terms of occupational health in several aspects, they are exposed to various occupational risks. Objective: To measure energy expenditure in construction workers through physiological parameters, at the SEMAICA construction company in the city of Quito. Materials and methods: Descriptive cross-sectional study, the sample was 20 workers from the SEMAICA construction company, taking into account the activities that each worker performs in 8 working hours, heart rate was measured using a chest heart rate monitor and the use of the Polar Beat smartphone application, placing 2 workers per day, thus recording the basal heart rate, average and maximum heart rate, is varying according to the activity performed, through this indicator, energy consumption is measured through heart

rate using the Chamoux criterion. Results: The Chi-square test (Chi 2) was used to compare the results between work groups. This yielded significant data corresponding to the relative absolute cost ($p = 0.012186$) between the microcircuitry and ironworkers groups, the mean heart rate ($p = 0.036715$) between the microcircuitry and carpentry groups, and finally the absolute cardiac cost ($p = 0.047203$) when comparing the ironworkers and carpenters groups. Conclusions: This study showed that 80% of the workload was very light, and the remaining 20% performed activities with a light workload. However, no worker exceeded their physical load; that is, each task is adapted to the worker.

Keywords: Energy expenditure, heart rate, oxygen consumption, workers, Chamoux criterion.

Introducción

El individuo se abastece de recursos energéticos para poder realizar sus actividades físicas y fisiológicas, así se define que el gasto energético es el consumo de energía durante dichas actividades, este se puede medir mediante parámetros fisiológicos como son: el consumo de oxígeno y la frecuencia cardiaca, en donde se utiliza el primer parámetro de forma directa debido a la estrecha relación entre el oxígeno y las calorías, el segundo parámetro se utiliza de forma indirecta ya que, en cualquier actividad realizada existe un gasto de energía e irrigación sanguínea, como menciona la nota técnica de prevención de la medición del gasto energético (NTP 323).

El trabajo es una actividad en la cual el ser humano proyecta creatividad, satisfacción y fomentar la autoestima ayudando a las personas a relacionarse con su entorno. La actividad física forma parte de las actividades de la vida diaria incluyendo la actividad laboral, para el desarrollo de estas el cuerpo necesita moverse, transportar objetos y mantener varias posturas, de tal manera que el organismo fisiológicamente responde con procesos internos que lo conducen a la adaptación para poder desarrollar una actividad normal (Valle, 2015, p.6).

Para realizar una actividad laboral se requiere del trabajo de una serie de músculos aportando así la fuerza necesaria para realizarlo, según esto se puede definir dos clases: el trabajo muscular estático (contracción isométrica) y trabajo muscular dinámico (contracción isotónica). Según la Organización Internacional de Trabajo (OIT), manifiesta que las consecuencias de la sobrecarga

muscular dependen del grado de carga física, tamaño de la masa muscular y tipo de contracciones sean estáticas o dinámicas, de la intensidad y de las características individuales de cada trabajador; si la carga muscular es mayor como: posturas inadecuadas, levantamiento de pesos, aplicación de fuerzas o sobrecargas repentinas, se tendría como consecuencia una fatiga en donde disminuirá la capacidad de trabajo y la recuperación será más lenta, por el contrario si la carga de trabajo no supera la capacidad física el cuerpo se va adaptar a la carga y se va recuperar al final de la jornada laboral, la sobrecarga prolongada ocasionara daños físicos denominadas enfermedades laborales como por ejemplo: en las posturas forzadas la articulación lucha contra la gravedad provocando malas posiciones al existir una sobrecarga del trabajo estático las estructuras musculo esqueléticas soportan el peso, en este proceso depende de la amplitud de la postura y del tiempo que mantiene la misma, si bien el trabajo muscular dinámico presenta menor riesgo que el estático, cuando este es repetitivo e invariable genera riesgo debido a que mantiene una sola actividad dinámica a lo largo del tiempo utilizando las mismas estructuras músculo esqueléticas (Arenas, 2013, pp. 371-372).

Se considera que la suma de la tasa metabólica basal, la termogénesis endógena (TE) y la actividad física (AF) es igual al gasto energético total de un organismo, en primer lugar, este hace referencia a la energía que requiere un organismo para cubrir sus funciones vitales y en segundo lugar contempla las actividades que requieren un gasto de energía superior a las necesidades metabólicas (Redondo, 2015, p. 243). Existen dos formas de determinar el gasto energético basándonos en los parámetros fisiológicos estos son: medición directa: para esto se necesita conocer el consumo de oxígeno derivado de la actividad física en la cual se debe utilizar instrumentos como el OXYLOG II, los cuales son livianos y miden directamente el consumo de oxígeno y la ventilación pulmonar minuto a minuto y la medición indirecta: en esta es necesaria la medición de la frecuencia cardíaca mediante un pulsómetro, se toma como referencia los datos personales como: sexo, talla, edad, peso, patologías (hipertensión, diabetes, infarto al miocardio (Llaneza, 2009, pp. 2-9).

En esta investigación se pretende conocer qué puesto de trabajo demanda mayor gasto energético durante la jornada laboral de 8 horas, tomando en cuenta la edad, sexo, actividad física

y hábitos de los trabajadores, de esta forma obtener una comparación entre actividades primarias y secundarias, se realizó el análisis mediante el criterio de Chamoux utilizando la medición individualizada de la frecuencia cardíaca siendo este el principal indicador indirecto del consumo máximo de oxígeno, por lo tanto, de la carga de trabajo físico para este trabajo se tomaron en cuenta los 3 tipos: la frecuencia cardíaca basal, máxima, y media, en esta última existen indicadores que evalúan la carga física del trabajo generando criterios de penosidad en cada puesto según el requerimiento cardíaco, se consideró, que en varias empresas no se toma en cuenta el consumo energético de sus trabajadores, puesto que si un trabajador presenta un coste cardiaco absoluto moderado en su jornada laboral de ocho horas quiere decir que la carga física con relación a los parámetros fisiológicos es pesada.

Materiales y Métodos

Estudio de tipo transversal descriptivo en donde la población que se tomó en cuenta fueron los trabajadores del sector de la construcción del Distrito metropolitano de Quito, con un tipo de muestreo probabilístico intensional, y una muestra de 20 trabajadores de la constructora SEMAICA entre 20 a 67 años divididos en cuatro grupos entre ellos microcircuitos, carpinteros albañiles y fierros, se consideró 5 trabajadores por cada grupo para el estudio.

Dentro de los materiales que se utilizó fueron dos bandas de pecho Polar H10 una suave banda textil con electrodos conectado a un Smartphone y la aplicación Polar Beat, en donde se va a registrar los 3 tipos de frecuencia que se necesitó para este estudio siendo estas basa, media y máxima adicional se registró las kilocalorías de consumo, la distancia y velocidad recorrido durante la jornada, también se tomo en cuenta el peso la talla de cada trabajador.

Este estudio inició con una entrevista directa con el ingeniero de seguridad y salud ocupacional, quien proporcionó datos sociodemográficos de los trabajadores, durante la visita se designó a los trabajadores que cumplieran con los criterios de selección, se acudió a los puestos de trabajo por actividades y se clasificaron en 4 siendo estos fierros, carpinteros, albañiles y microcircuitos, las mismas que se dividieron en actividades secundarias o subactividades, tras la designación de los 20 trabajadores, se procede a la recolección de datos para lo cual se realizó una entrevista directa, se monitoreo 2 trabajadores por día, dentro de las actividades que se evaluó fueron: doblaje de

vigas, acero figurado, estribo manual de acero figurado, levantamiento de diafragmas, instalación de mallas de losa, transporte de materia, preparación de material medida y corte de tubos, colocación de tubos en muros, fundición de diafragma, fundición de losa, resanar vigas, retiro de casetones, encofrados.

Se identificó la carga física de manera cuantitativa, en donde se puede valorar la frecuencia cardíaca durante todas las horas de la jornada laboral e incluso determinar las actividades en las que la demanda cardíaca es más intensa, se utilizó la frecuencia cardíaca en reposo o basal (FCR) y la frecuencia cardíaca media (FCM) de estos dos parámetros se obtiene dos indicadores que evalúan la carga física del trabajo como el índice de costo cardíaco absoluto (CCA) y el costo cardíaco relativo (CCR), en la determinación de la medición del gasto energético se utilizó el criterio Chamoux, este lo clasifica según su penosidad en periodos largos de jornada en: muy ligero, ligero, moderado, pesado y muy pesado, para esto se requiere conocer el costo cardíaco absoluto del puesto de trabajo este se obtiene a partir de la resta entre la frecuencia media y la frecuencia cardíaca en reposo, mientras que el costo cardíaco relativo para la persona (CCR) es igual al costo cardíaco absoluto dividido entre la resta de la FCMaxt (frecuencia cardíaca máxima teórica es igual a 220- edad del trabajador) y la (FCR).

Resultados

Tabla1

Características de los grupos de trabajadores

Características	Intervención			
	MICROCIRCUITOS	FIERREROS	ALBAÑILES	CARPINTEROS
Edad				
20-35 años	4 (20)	0 (0)	4 (20)	1 (5)
36-51 años	1 (5)	3 (15)	0 (0)	3 (15)
52-67 años	0 (0)	2 (10)	1 (5)	1 (5)
IMC				

Normal	(18.6-	4 (20)	4 (20)	5 (25)	3 (15)
24.9)					
Preobesidad		1 (5)	1 (5)	0 (0)	2 (10)
(25-29.9)					
Frecuencia cardiaca basal					
65-75 lpm		3 (15)	1 (5)	2 (10)	0 (0)
76-91 lpm		2 (10)	4 (20)	3 (15)	5 (25)
Frecuencia					
cardiaca media					
60-91 lpm		5(25)	3(15)	3(15)	1(5)
92- 121lpm		0(0)	(2 20)	2(15)	4(20)
Frecuencia Cardiaca máxima					
110-145lpm		3 (15)	2(10)	2(10)	0
146- 181		2 (10)	3(15)	3(15)	5(25)
Coste cardiaco absoluto					
Muy ligero		5(25)	5(25)	2(10)	3(15)
Ligero		0(0)	0(0)	3(15)	2(10)
Coste cardiaco relativo					
Muy ligero		5(25)	5(25)	2(10)	3(15)
Ligero		0(0)	0(0)	3(15)	2(10)

En los resultados de esta investigación se pudo detallar lo siguiente; la mayoría de los trabajadores se encuentra entre 20 a 35 años de edad ocupando el 45% de la muestra de los cuales el 20% (4) son del grupo de microcircuitos, el otro 20% (4) del grupo de albañiles y el 5% en carpinteros (1) esto representa un total de 9 trabajadores, 7 trabajadores correspondientes al 35% de la población trabajadora se encuentran entre

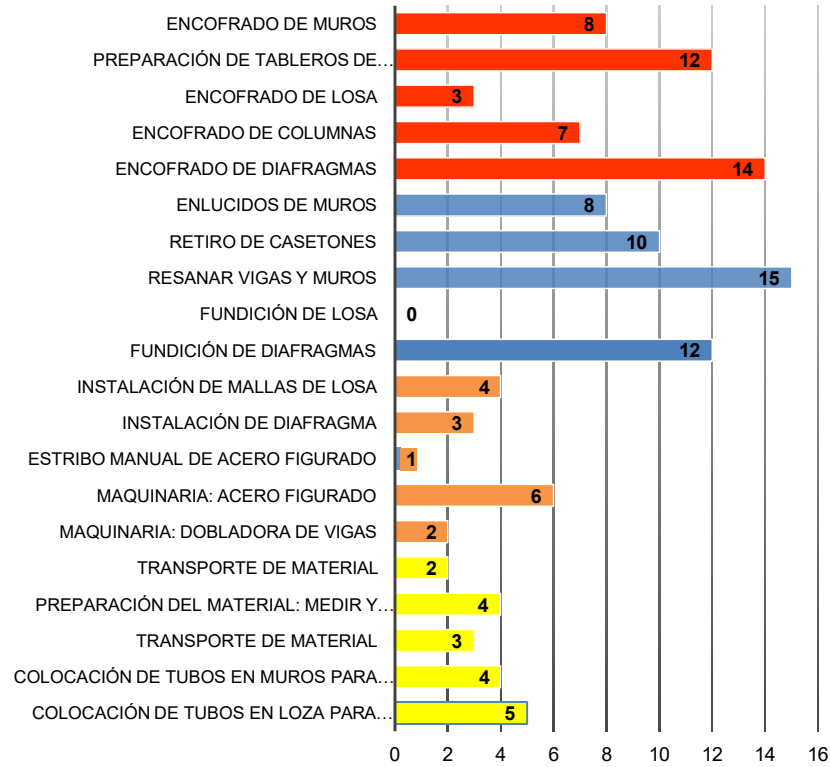
36 y 51 años, de ellos el 15% pertenecen al grupo de fierros, 15% grupo de carpinteros y el 5% al grupo de microcircuitos, 4 trabajadores correspondientes al 20% se encuentran entre 52 y 67 años, el 10% son fierros, el 5% carpinteros y 5% albañiles.

El 80% de trabajadores presenta un índice de masa corporal normal entre 18.6 y 24.9 el 40% se encuentra en el grupo de microcircuitos y fierros, el 25% de albañiles y el 15% en carpinteros; posterior 4 de los 20 trabajadores obtuvo un índice de masa corporal entre 25 a 29.9 presentando preobesidad, representando un total del 20%.

El 30% de la población trabajadora (6 trabajadores), presentaron una frecuencia cardiaca basal entre 65 a 75 latidos por minuto, el 60% de la población trabajadora (12 trabajadores), presentaron una frecuencia cardiaca media entre 60 a 91 latidos por minuto, de los cuales el 25% grupo de microcircuitos (5), el 15% grupo de fierros (3) y 15% grupo de albañiles (3) y el 5% el grupo de carpinteros (1), el 40% de la población trabajadora (8 trabajadores), presentaron una frecuencia cardiaca media entre 92 a 121 latidos por minuto, de los cuales 20% en el grupo de carpinteros (4), 10% en el grupo de fierros (2), 10% grupo de albañiles (2), mientras que ninguno del grupo de microcircuitos se encontró dentro de este rango, el 65% de trabajadores presentó la frecuencia cardiaca máxima teórica entre 146 a 181 latidos por minuto, el 35% representa los trabajadores con una frecuencia cardiaca máxima entre 110 a 145.

Figura 1

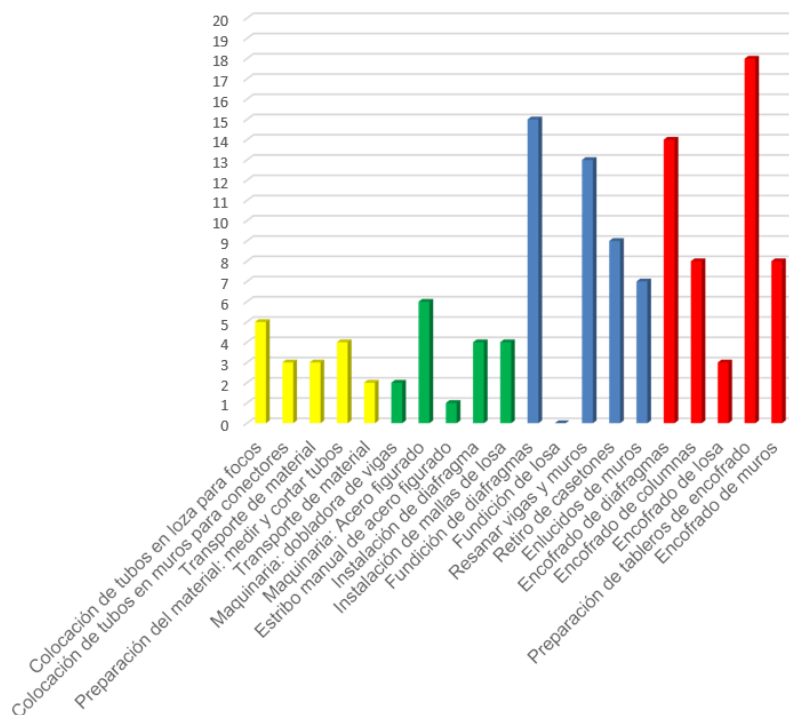
Coste cardiaco Absoluto por actividad



Nota: Análisis de resultados en base al criterio de Chamoux, coste cardíaco absoluto

Figura 2

Coste cardíaco Relativo por actividad



Nota: Análisis de resultados en base al criterio de Chamoux, coste cardiaco relativo.

En la figura 1 se realizó el análisis de los datos obtenidos en la investigación para el criterio de Chamoux sobre el CCA obtenido en los trabajadores así se encontró que las actividades realizadas por el grupo de microcircuitos (amarillo) tenían una carga física muy ligera, el pico más alto fue igual a 5 que correspondía al trabajador de colocación de tubos en loza para focos; en el grupo de herreros (naranja) se encontró que la carga física es igual a muy ligera para todo el grupo, sin embargo, se obtuvo un máximo de 6 en la tarea de acero figurado en maquinaria, en tercer lugar el grupo de albañiles (azul), en donde 3 trabajadores obtuvieron una carga física ligera, en donde el trabajador de la tarea de resanar vigas y muros obtuvo el mayor coste cardiaco absoluto igual a 15 y dos trabajadores con carga física muy ligera; finalmente se encontró en el grupo de carpinteros (rojo), dos trabajadores con coste cardiaco absoluto ligero y tres muy ligero, en donde el pico más alto fue del trabajador de encofrado de diafragmas igual a 14.

Con referencia al coste cardiaco relativo como se observa en la figura 2, la adaptación al puesto de trabajado entre microcircuitos y fierros era muy ligera en donde el pico más alto entre estas tareas fue la de realización de acero figurado en maquinaria correspondiente a 4.76 de coste cardiaco relativo, en el tercer grupo correspondiente a los albañiles 3 trabajadores obtuvieron un criterio de penosidad correspondiente a ligero el pico más alto correspondía a la tarea de fundición de diafragmas con un total de 15,38 de coste cardiaco relativo y finalmente en el grupo de carpinteros se obtuvo un equivalente de 2 trabajadores con carga física ligera, el coste relativo más alto fue del trabajador que realizaba preparación de tableros para encofrado con un total de 17,65 mientras que 3 carpinteros obtuvieron un índice de penosidad muy ligero en donde el trabajador de encofrado de columnas obtuvo un total de 8,43 de CCR.

Tabla 2

Comparación entre grupos de trabajo

Microcircuitos y Fierros

	Media	p-value
+	24	0,834532
++	78	0,754023
+++	82	0,347208
++++	146	0,464703
+++++	3,4	0,676104
++++++	3,75	0,012186

Microcircuitos y carpinteros

+	24	0,601508
++	80	0,210076
+++	87	0,036715
++++	151	0,094694

+++++	6,2	0,075801
++++++	7,1	0,143673
<i>Fierreros y carpinteros</i>		
+	24,26	0,296271
++	82	0,601508
+++	89	0,060104
++++	156	0,464703
+++++	6	0,047203
++++++	5,6	0,143673

Nota: + IMC; ++ FCB; +++ FCMd; ++++FCMx; +++++ CCA; ++++++CCR; **$p < 0,05$**

Para estimar el grupo de trabajo que presenta mayor gasto energético utilizando la frecuencia cardiaca como indicador se realizó una comparación entre los grupos de trabajadores utilizando el sistema estadístico Chi cuadrado (Chi 2), en primer lugar, se realizó una base de datos que arrojó un promedio y análisis entre los valores de edad, índice de masa corporal, frecuencia cardiaca basal, media y máxima, el coste cardiaco absoluto y relativo, en segundo lugar, se comparó los grupos de trabajo, en donde el Chi2 arrojó los siguientes resultados: una correlación significativa en el coste absoluto relativo ($p=0,012186$), entre el grupo 1 (microcircuitos) y el grupo 2 (fierreros), en la frecuencia cardiaca media ($p=0,036715$) entre el grupo 1 y el grupo 2 (carpinteros) y finalmente en el coste cardiaco absoluto ($p= 0,047203$) entre el grupo 2 y 4.

Conclusiones

Dado que la frecuencia cardiaca es el indicador del consumo de energía en los trabajadores, mediante el uso del pulsómetro se pudo encontrar que mientras mayor sea la demanda de esfuerzo en una actividad realizada por el trabajador mayor será la demanda cardiaca; sin embargo, en este grupo evaluado no existió costos cardiacos absolutos y relativos de tipo pesado o muy pesado, los

resultados mostraron que los trabajadores no excedían los costos cardiacos y por lo tanto no aumenta el consumo de energía durante la ejecución de la tarea .

Al comparar los resultados entre las actividades primarias y secundarias, mediante la evaluación del criterio de Chamoux, el resultado del coste cardiaco absoluto y relativo fue muy ligero para la mayoría de actividades primarias y secundarias; mientras que, fue ligero en algunas actividades secundarias como: retiro de casetones, resanar vigas y muros, fundición de diafragmas en el grupo de albañiles, además en el grupo de carpinteros en las actividades de preparación de tableros, encofrado de diafragmas y encofrados de muros.

Referencias

1. Águila, A. (2012). *Procedimiento de Evaluación de Riesgos Ergonómicos y Psicosociales*. Universidad de Almería, 55-58.
2. Arenas, L. &. (2013). *Factores de riesgo de trastornos musculo esqueléticos crónicos laborales*. Medicina interna de México Vol: 29; N°4, 371-372.
3. Aryal, A. (2017). *Monitoring fatigue in construction workers using physiological measurements*.
2. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926580517302157?via%3Dihub>
4. Chavarría, R. (2012). *La carga Física de Trabajo*. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene, 3.
5. Chavarría, R. (2012). NTP 177: *La carga física de trabajo: definición y evaluación*. Obtenido de https://www.insst.es/documents/94886/326801/ntp_177.pdf/83584437-a435-4f77-b708-b63aa80931d2
6. Chavarría, R. (2014). NTP 177: *La carga física del trabajo*. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el trabajo., 1-4.
7. Garavito, J. (2008). *Gasto Energético Protocolo*. Escuela Colombiana de Ingeniería, 25.
Obtenido de https://www.escuelaing.edu.co/uploads/laboratorios/5357_gasto.pdf
8. Llaneza, J. (2009). *Carga de trabajo: carga mental y carga física*. Ergonomía y Psicosociología Aplicada, 1-9.
9. Melo, J. (2009). *Ergonomía Práctica*. Buenos Aires: MAPFRE, 193.

10. Nogareda, S. (2014). *Determinación del metabolismo energético mediante tablas*. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Notas Técnicas de Prevención, 2-6.
11. Quinn, M. (2020). *A Field Evaluation of Construction Workers' Activity, Hydration Status, and Heat Strain in the Extreme Summer Heat of Saudi Arabia*. Oxford, 2-3. doi: 10.1093/annweh/wxaa029
12. Rodríguez, R. (2015). *Variables cardiovasculares en trabajadores de la construcción en Santander* (Colombia). Perfil comparativo años 2011 y 2012. ELSEVIER, 3. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1889183715000173?via%3Dihub>
13. Solé, M. (2014). *Valoración de la carga física mediante la monitorización de la frecuencia cardíaca*. NTP: 295. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, 1-6.
14. Tonnon, S. et.al.(2019). *Physical workload and obesity have a synergistic effect on work ability among construction workers*. International Archives of Occupational and Environmental Health. Springer. pp.4-5
15. Valle, M. (2015). Guía práctica de salud laboral para la valoración de actitud en trabajadores con riesgo de exposición en carga física. Escuela Nacional de Medicina del Trabajo, 6.
16. Villar, M. (2003). *La carga física de trabajo*. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el trabajo, 3-5.
17. Wolfgang, L. &. (2015). *ERGONOMÍA*. Madrid: Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales, 3-31.

Copyright (2025) © Estefanía Collaguazo Troya, Doménica Stefania Medina Batalla,
Ana Karina Duque Jauregui, Jonathan Rubén Borja Choca

Este texto está protegido bajo una licencia internacional Creative Commons 4.0.



Usted tiene libertad de Compartir—copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato

— y Adaptar el documento — remezclar, transformar y crear a partir del material—para cualquier propósito, incluso para fines comerciales, siempre que cumpla las condiciones de Atribución. Usted debe dar crédito a la obra original de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciante o lo recibe por el uso que hace de la obra.

[Resumen de licencia](#) – [Texto completo de la licencia](#)