

## Evaluación de la carga fisiológica de trabajo con fines ergonómicos en actividades mineras que se desarrollan en altura geográfica

Evaluation of physiological workload for ergonomic purposes in mining activities performed in geographical altitude.

Elías Apud & Esteban Oñate

---

APUD, E. & OÑATE, E. J. Evaluación de la carga fisiológica de trabajo con fines ergonómicos en actividades mineras que se desarrollan en altura geográfica. *J. health med. sci.*, 6(2):131-141, 2020.

**RESUMEN:** Desde la perspectiva de la Ergonomía y la Fisiología del Trabajo, hay escaso conocimiento acerca del impacto que trabajos de alta demanda energética, efectuados en altura geográfica, tienen sobre el bienestar laboral de quienes los ejecutan. La evaluación de la respuesta fisiológica durante trabajos reales en altura no es simple. Las dos variables más utilizadas para cuantificar la intensidad de los esfuerzos son el consumo de oxígeno (VO<sub>2</sub>) y la frecuencia cardíaca (fC). La primera técnica es compleja, mientras que la segunda permite seguimientos de jornadas completas sin alterar el trabajo. Además, cuando se asocia a las actividades que la persona realiza, permite identificar cargas peak y proponer soluciones para evitarlas o reducirlas. En consecuencia, el objetivo del presente estudio es analizar y proponer una metodología simple, de bajo costo, para la evaluación de la carga fisiológica, combinando estudios de tiempo y medición de frecuencia cardíaca, en trabajadores que se desempeñan en altura geográfica. En cuanto a métodos, el estudio se efectuó en 23 trabajadores que tenían entre 26 y 60 años de edad. A cada uno de ellos se le hizo un seguimiento de jornada con registros continuos y sincronizados de tiempo y fC. Los principales resultados revelaron una correlación inversamente proporcional entre edad y frecuencia cardíaca peak. Al mismo tiempo, la metodología propuesta se demostró muy útil para identificar cargas de altas demandas fisiológicas, como apoyo para la búsqueda de soluciones ergonómicas. En síntesis, se concluye que la metodología propuesta, asociada a un enfoque de ergonomía participativa, permite abordar las tareas más críticas, identificar la intensidad de los esfuerzos y proponer soluciones en los casos de mayor sobrecarga.

**PALABRAS CLAVE:** altura geográfica, sobrecarga fisiológica, edad, frecuencia cardíaca.

---

### INTRODUCCIÓN

Desde la perspectiva de la Ergonomía y la Fisiología del Trabajo, hay escaso conocimiento acerca del impacto que trabajos de alta demanda energética, efectuados en altura geográfica, tienen sobre el bienestar laboral de quienes los ejecutan. Las dificultades para establecer límites de carga fisiológica, con el propósito de que los trabajadores no se fatiguen, se deben a que las jornadas habitualmente oscilan entre ocho y doce horas y que las actividades se efectúan en un número importante de sistemas de turnos diurnos y nocturnos, que hacen que los tiempos de trabajo sean muy variables. Complicaciones adicionales son las condiciones de aislamiento cuando residen en campamentos o las largas distancias que tie-

nen que recorrer desde y hacia su trabajo cuando se desplazan diariamente a sus domicilios. Además, hay que sumar la condición de altura geográfica, que es inmodificable, existiendo hoy en día algunas faenas mineras que se ejecutan por sobre los 5000 metros sobre el nivel del mar (msnm). También, en ocasiones, los trabajadores se desplazan durante su jornada entre distintas alturas. Por todos estos motivos, determinar el impacto del trabajo, requiere seguimientos en terreno de jornadas completas, en que se necesita analizar cada tarea. Es obvio que el uso de técnicas invasivas en este tipo de estudios es difícil, ya que es fundamental evaluar todas las actividades representativas, las que pueden ser muy variadas.

Teniendo estos antecedentes en consideración, para estudiar el impacto del trabajo físico dinámico, se necesita establecer la relación entre la aptitud física de un trabajador y las demandas que le impone el trabajo. En este sentido, desde la década del 60 en Chile, se han realizado estudios acerca de la respuesta al esfuerzo de nativos y también de sujetos residentes a nivel del mar durante el proceso de aclimatación a la altura (Donoso *et al.*, 1971; Santolaya *et al.*, 1973). En concreto, estos estudios destacan la reducción de la capacidad aeróbica ( $VO_{2\max}$ ) que se produce a medida que se asciende, lo que coincide con lo reportado en investigaciones actuales, Moraga *et al.* (2019). Por este motivo, trabajos, con altas demandas aeróbicas, tienen mayor riesgo de ser trabajo pesado y conducir a la fatiga cuando se efectúan en altura, que cuando se llevan a cabo a nivel de mar.

Con respecto a la respuesta fisiológica durante trabajos reales, las dos variables más utilizadas para cuantificar la intensidad de los esfuerzos son el consumo de oxígeno ( $VO_2$ ) y la frecuencia cardíaca (fC) (Astrand *et al.*, 2003). La medición de  $VO_2$  es un buen indicador de gasto energético, pero los equipos son de alto costo, y los más accesibles tienden a perder precisión en alturas extremas. Más aun, lo más complejo, es que los trabajadores deben respirar a través de máscaras respiratorias, in situ, mientras trabajan, por lo que es difícil que acepten participar. Desde un punto de vista práctico, la fC tiene ventajas ya que se puede hacer seguimientos durante días completos, lo que permite establecer la carga fisiológica promedio de la jornada. Estos antecedentes ayudan a identificar aquellas operaciones de mayor riesgo ergonómico, que denominaremos cargas "peak", para diferenciarlas de la frecuencia cardíaca máxima (fCmax), las cuales pueden conducir a los trabajadores a la fatiga. Lo importante es que su identificación, orienta posibles intervenciones ergonómicas para su corrección. En este sentido, toda evaluación del trabajo durante actividades reales debe ir asociada a estudios de tiempo orientados a identificar operaciones críticas y tiempos de exposición. Existen varios procedimientos para cronometrar el tiempo. En evaluaciones ergonómicas, uno de los más utilizados es el cronometraje continuo que funciona de modo ininterrumpido durante toda la medición (ILO, 1992).

En Chile existe una legislación que establece que si un trabajo es calificado como pesado, por la denominada Comisión Ergonómica Nacional

(CEN) las personas que lo realizan podrían pensarse uno o dos años antes por cada cinco años de trabajo. Si bien el trabajo en altura conjuga una serie de factores que ameritan calificar la mayoría de estos trabajos como pesados, el documento guía de la CEN señala que "*si la carga, en promedio no excede el 40% del  $VO_{2\max}$ , se presume que el sujeto puede cumplir su jornada laboral sin fatigarse*", SP (2010). Agrega "*por la gran variabilidad interindividual que se observa en cuanto a la limitación del consumo máximo de oxígeno en condiciones hipobáricas, en esta guía se prescinde en fijar límites artificiales de altura geográfica para evaluar los efectos de la hipobaría en la carga de trabajo*". Estos antecedentes sólo confirman la necesidad de desarrollar programas de investigación, sustentables en el tiempo, para poder precisar mejor el impacto de la exposición intermitente en la capacidad física y en los niveles de sobrecarga para jornadas de distinta duración y en diferentes turnos y días de exposición. Grocott *et al.*, (2019) destacan que los determinantes del  $VO_{2\max}$  y la fatiga son complejos y plantea la necesidad de no definir la intensidad del esfuerzo sólo en base al % $VO_2\max$ , sino que es de primordial importancia incorporar otros criterios. Excelentes estudios como los de Myers *et al.* (2008), han tratado de establecer un umbral de frecuencia cardíaca (UfC) basado en la relación con el umbral de lactato (UL) o con el umbral ventilatorio (UV). Por ejemplo, Myers *et al.*, sitúa el UfC en 96 latidos por minuto, en una muestra de 7 hombres y una mujer, lo que orienta pero es una muestra pequeña para considerarla un referente para trabajos prolongados. Lamentablemente la mayoría de los estudios se basan en muestras pequeñas de personas jóvenes, difíciles de extrapolar a un rango amplio de trabajadores de distintas edades.

En el intertanto, existe urgencia por evitar que las actividades laborales en altura expongan a los trabajadores a cargas excesivas ya que, aún con las reservas que se debe tener con los límites de referencia, no hay duda que los mayores riesgos se producen en cargas peak que se prolongan en el tiempo y sobre las cuales, desde una perspectiva ergonómica, se puede intervenir para evitar o disminuir la fatiga producto de una mala organización del trabajo. En términos simples, todo esfuerzo que se haga para reducir la exposición de los trabajadores a altos niveles de sobrecarga es urgente. No se puede esperar resultados de investigaciones a gran escala para establecer límites aceptables de carga fisiológica, bajo las múltiples variables orga-

nizacionales, que hacen más complejo aplicar criterios rígidos, si la intención es mejorar la calidad de vida laboral para quienes trabajan en condiciones de altura.

En consecuencia, el objetivo del presente estudio es analizar y proponer una metodología simple, de bajo costo, para la evaluación de la carga fisiológica, combinando estudios de tiempo y medición de frecuencia cardíaca, en trabajadores que se desempeñan en altura geográfica. En cuanto a objetivos específicos se espera establecer la utilidad para identificar cargas peak y demostrar con ejemplos concretos la forma en que el procedimiento propuesto permite orientar intervenciones ergonómicas.

## MATERIAL Y MÉTODO

Se evaluó un total de 23 trabajadores de sexo masculino, que se desempeñaban en distintos puestos de trabajo. Ellos realizaban sus actividades para la empresa mandante o para empresas contratistas que prestaban servicios. El muestreo fue por conveniencia ya que los trabajadores evaluados fueron designados por la empresa. Los estudios se llevaron a cabo en una mina cuyas alturas oscilaban entre 3700 y 4200 msnm. Los seguimientos se hicieron en forma continua durante una jornada completa por trabajador. Todos ellos tenían más de seis meses de antigüedad en la empresa y pase médico al día. A cada trabajador se le explicó el motivo de los estudios y previo a la evaluación en terreno se registró su edad, estatura y masa corporal con una balanza clínica (Detecto). Con estas dos últimas variables se calculó el IMC (índice de masa corporal), dividiendo la masa corporal, expresada en kg dividido por la estatura expresada en metros al cuadrado. También se registró su porcentaje de grasa corporal por impedanciometría, utilizando un equipo de terreno (OMRON HBF-306INT).

La frecuencia cardíaca se midió con telémetros POLAR®, registros que se hicieron simultáneamente con estudios de tiempo corrido utilizando los criterios propuestos por la ILO. Para estos efectos, el trabajo se divide en actividades principales, que son las directamente requeridas para hacer la tarea y secundarias, que son aquellas que aportan indirectamente al cumplimiento de la actividad principal. También se registran las esperas y

las pausas. Para efectuar el estudio de tiempo, el cronometro se pone en marcha al principio de la primera actividad, del primer ciclo que se registra, y no se detiene hasta concluir el estudio. Al terminar con una actividad, se registra el tiempo que marca el cronómetro, y se continúa midiendo la segunda actividad y así sucesivamente, sin detener el cronómetro. Finalmente, los tiempos de cada actividad se obtienen por restas sucesivas de los tiempos registrados. Este procedimiento asegura el registro de todo el tiempo en que el trabajador está sometido a observación.

Las evaluaciones en terreno se llevaron a cabo el tercer o cuarto de día exposición. La mayoría de los trabajadores tenían turnos 7x7 o 4x3 y las evaluaciones se hicieron solamente en jornada diurna. La muestra incluía trabajadores de la empresa mandante y personal contratista.

Para el análisis de la información se usó el programa Statistica.

## RESULTADOS

### Características de los trabajadores

La Tabla I resume las características de los trabajadores estudiados. Como se puede observar su edad oscila en un amplio rango, entre 26 y 60 años. Se puede ver también una tendencia al sobrepeso y obesidad a juzgar por su contenido corporal de masa grasa e IMC.

Tabla I. Edad, peso, estatura, grasa corporal e índice de masa corporal (IMC) de una muestra de 23 trabajadores mineros.

Variable	Promedio	Mínimo	Máximo	D.E.
Edad, años	42,6	26,0	60,0	10,60
Estatura, cm	171,8	163,8	184,3	5,43
Peso, kg	80,2	53,4	109,2	14,22
% Grasa	21,8	4,5	34,9	8,35
Masa Grasa, kg	18,5	2,6	38,1	9,27
IMC	27,3	17,5	38,7	5,17

### Resultados de las evaluaciones de tiempo y carga fisiológica en terreno.

En la Tabla II se resumen las variables más importantes registradas en terreno. Como se desta-

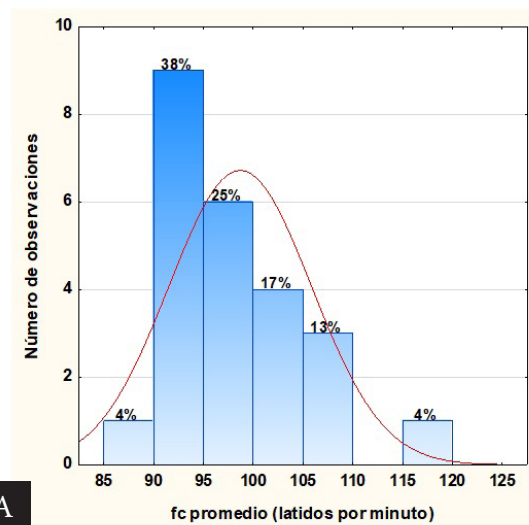
Tabla II. Variables medidas durante trabajos reales en operadores físicamente activos.

Variable	Promedio	Mínimo	Máximo	D.E.
Años en la empresa	10,2	0,5	36,0	11,31
Duración jornada evaluada, minutos	423,7	214,0	563,0	87,13
% Tiempos principales	63,3	28,4	89,0	15,66
% Tiempos secundarios	21,6	0,0	48,1	13,12
% Pausas	16,2	2,8	54,6	11,24
fc promedio, latidos por minuto	98,9	89,7	120,0	7,11
fc mínimo, latidos por minuto	74,3	63,0	91,0	6,48
fc peak, latidos por minuto	137,6	108,0	185,0	20,76

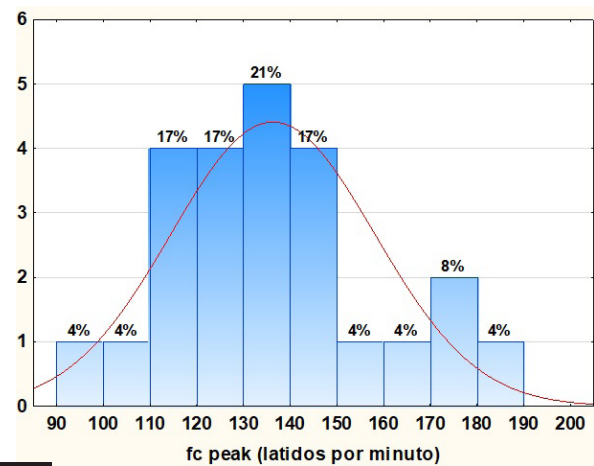
ca los trabajadores tenían un promedio de 10 años de trabajo en la empresa, con un rango entre 6 meses y 36 años. Llama también la atención que la fc promedio alcanza 98,9 latidos por minuto, encontrándose un valor peak de 185 latidos por minuto, lo que es muy alto para cualquier tipo de trabajo.

Dado a que todas las actividades evaluadas requerían trabajo físico o combinaban esfuerzos en terreno con trabajo en oficinas, es necesario analizar la distribución de los valores promedio, pero lo más importante es identificar las cargas peak, porque es lo que verdaderamente permite detectar las tareas de mayor riesgo. Por tal motivo, en la Figura 1A se presentan gráficos de distribución de las cargas promedio y peak de los 23 trabajadores evaluados. Si se observan los valores promedio, sólo 4% tiene valores bajo 90 latidos por minuto. Por su parte, en la Figura 1B, que muestra el gráfico de distribución de las fc peak, la situación se torna bastante más crítica ya que hay un 37% de ocasiones que alcanzan peak de latidos cardíacos sobre 140, llegando en un caso extremo a 186 latidos por minuto, lo que se puede considerar de alto riesgo, incluso para personas jóvenes.

Otro aspecto que es necesario considerar, son los cambios que se producen con la edad. En la Figura 2A y 2B se presenta la correlación entre edad y frecuencia cardíaca promedio y peak. Como se puede ver, la asociación es significativa en ambos casos demostrando que los trabajadores de mayor edad alcanzan promedio y peak de frecuencia cardíaca más bajos que sus colegas jóvenes, lo que no necesariamente significa que trabajen con menos esfuerzo, factor que debe ser considerado en el análisis del trabajo.



A



B

Fig. 1. Distribución de la fc promedio y de la fc peak en las jornadas estudiadas. Fig. 1A. Distribución fc promedio. Fig. 1B. Distribución fc peak.

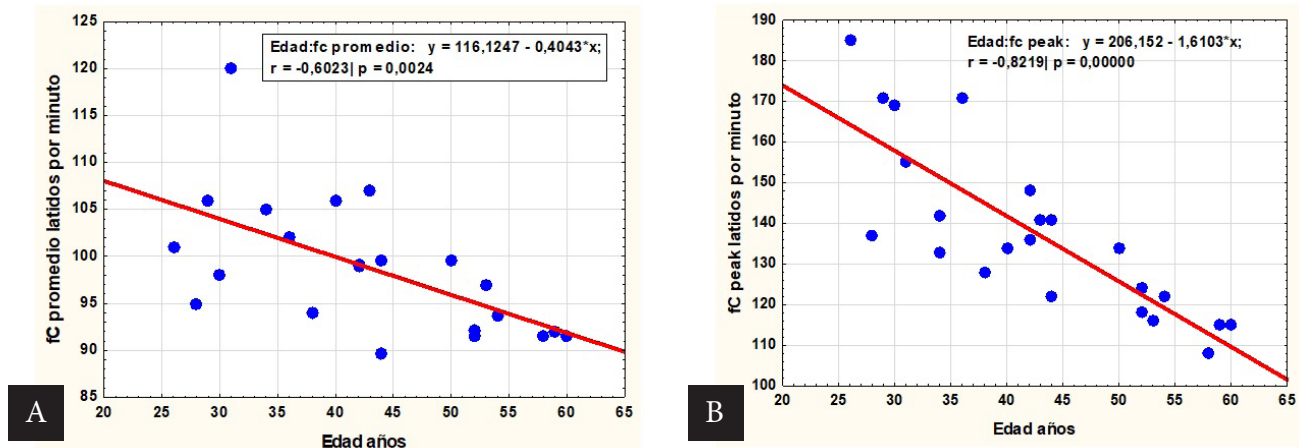


Fig. 2. Correlación entre edad y fC promedio y entre edad y fC peak. Fig. 2A. Correlación edad y fC promedio. Fig. 2B. Correlación edad y fC peak.

Si bien puede haber muchos factores que expliquen los hallazgos ilustrados en la Figura 2, la reducción de la frecuencia cardíaca máxima con el envejecimiento está bien documentada (Astrand *et al.*; Lopez & Fernández, 2006). En cambio, los límites de frecuencia cardíaca para trabajos sostenidos, para personas de distintas edades, no se han discutido para altura geográfica. Por este motivo, tomando como base la propuesta hecha por el Departamento de Ergonomía de la Universidad de Concepción para nivel del mar, Apud *et al.* (2002) y considerando el impacto de la altura en los niveles de respuesta al esfuerzo, se puede plantear límites tentativos para altura que necesitan ser verificados. Como referencia se empleó información de Oñate y Apud (no publicada) que evaluaron el incremento de la frecuencia cardíaca a nivel del mar y a 4000 msnm durante ejercicios submáximos en bicicleta ergométrica. Se verificó en ambos casos la linealidad de la frecuencia cardíaca con la carga expresada en watts, con un incremento paralelo de la fC a medida que aumentaba la carga. Se encontró que la diferencia de la fC en estas personas aclimatadas y con exposición intermitente era 16 latidos más alta para igual carga de trabajo a 4000 msnm. Lamentablemente, la muestra fue muy pequeña para sacar conclusiones definitivas, pero haciendo esta corrección en la Tabla III que muestra los valores propuestos para nivel del mar y jornadas de 8 horas, se obtiene un límite aproximado que puede servir como referencia, pero que necesita más investigación para su confirmación. Estos estudios deben poner énfasis, no sólo en distintas alturas, sino que también en las jornadas especiales que duran hasta 12 horas.

Por lo demás, todos estos niveles de referencia, incluidos los de nivel del mar, tienen errores que hay que asumir y considerarlos sólo como una guía ya que para mayor precisión necesariamente habría que someter a los trabajadores a pruebas de esfuerzo controladas, para establecer sus propios límites. Debe quedar claro que para igual edad e idéntico esfuerzo puede haber variaciones importantes en la fC que dependen de la aptitud física de la persona.

Como se ha señalado antes, en ergonomía es fundamental analizar caso a caso, para la búsqueda de soluciones que contribuyan a una mejor adaptación del trabajo a las personas. Como sería muy amplio revisar cada uno de los 23 casos estudiados, se hará un análisis de dos trabajos específicos, para ejemplificar el tipo de información que puede aportar el formato de estudio propuesto.

Tabla III. Límites sugeridos de fC promedio para una jornada de trabajo a nivel del mar y a alturas que oscilan entre 3800 y 4200 metros para personas de distintas edades.

Rango de edad	fC nivel del mar	fC altura
20-24	115	99
25-29	112	96
30-34	110	94
35-39	108	92
40-44	106	90
45-49	104	88
50-54	102	86
55-59	100	84

Tabla IV. Distribución de tiempos, expresados en minutos y en porcentaje del total de la jornada.

Inicio	Actividad	Término	Duración	Porcentaje
7:01	Inicia actividades en oficina	7:10	9	1,60
7:10	Traslado en camioneta	8:05	55	9,77
8:05	Comienza muestreo	9:12	67	11,90
9:12	Traslada material para etiquetar muestras	9:25	13	2,31
9:25	Toma muestra en terreno	10:01	36	6,39
10:01	Pausa, coordina bajada en grupo	10:03	2	0,36
10:03	Ordena etiqueta	10:30	27	4,80
10:30	Marca puntos	10:37	7	1,24
10:37	Cierra bolsas con muestras	10:45	8	1,42
10:45	Etiqueta bolsas	11:00	15	2,66
11:00	Evacúa área por tronadura	11:08	8	1,42
11:08	Pausa hasta termino tronadura	11:43	35	6,22
11:43	Se traslada en camioneta a frente a buscar muestra	11:52	9	1,60
11:52	Toma muestra	12:32	40	7,10
12:32	Mueve camioneta para subir bolsas con muestra	12:35	3	0,53
12:35	Comienza a subir muestras a la camioneta	13:00	25	4,44
13:00	Se traslada en camioneta	14:02	62	11,01
14:02	Descarga camioneta y coloca muestras en bandejas	15:23	81	14,39
15:23	Pausa	15:30	7	1,24
15:30	Descarga camioneta con muestras	15:45	15	2,66
15:45	Pausa	15:46	1	0,18
15:46	Lleva carro para colocar bandeja	15:48	2	0,36
15:48	Pausa, reunión con jefe	16:05	17	3,02
16:05	Etiqueta bolsas y sobres para muestras	16:24	19	3,37
16:24	Término del estudio	--		
	<b>Tiempo de evaluación</b>	<b>9 horas y 23 min</b>	<b>563 min</b>	<b>100</b>

### Ejemplo de estudio de caso en una actividad de alta carga física

Se trata de un trabajador de 29 años de edad, que desarrollaba actividades al aire libre tomando muestras en una mina a tajo abierto, para análisis geológico. En la Tabla IV se puede ver los resultados del estudio de tiempos en la jornada evaluada.

La síntesis de tiempos, resumidos en la Tabla IV, reveló que el trabajador dedicaba un 60.9 %

a las actividades principales, lo que equivalía a 5,7 horas, Llamó la atención que el tiempo de pausas era 0,7 horas, lo que es muy breve para el tiempo superior a 9 horas que duró la evaluación. La frecuencia cardíaca promedio de la jornada, presentada en la Tabla V, alcanzó 106,2 latidos por minuto, por encima de los 96 latidos por minuto propuestos para su edad. Como se puede ver su fC hace un peak muy alto de 171 latidos por minuto. Esto último revela que el trabajador realizaba algunas actividades específicas que eran muy pesadas, lo que se ilustra más detalladamente en la Figura 3.

Tabla V. Promedio de la jornada, mínimo, máximo y desviación estándar (D.E.) de la frecuencia cardíaca, expresada en latidos por minuto.

Variable	Promedio	Mínimo	Peak	D.E.
fC	106,2	70,0	171,0	19,5

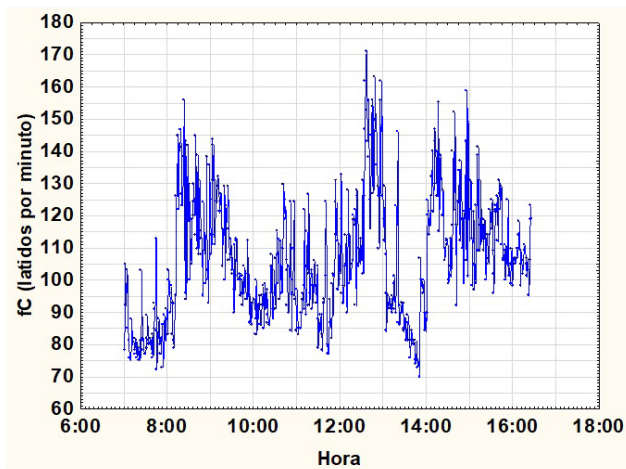


Fig. 3. Frecuencia cardíaca durante la jornada evaluada.

Tomando como referencia un valor de 96 latidos por minuto, la información contenida en la Figura 3 revela que el trabajador supera este límite de referencia durante un 78% de la jornada. Desde el punto de vista ergonómico es inaceptable que una persona trabaje con cargas tan altas, sin buscar alternativas para revertir la situación. Por tal motivo, esta propuesta de formato, da la opción de analizar más en detalle los factores que incrementan la carga fisiológica y buscar soluciones para reducirla. Como se señaló antes, el seguimiento de la frecuencia cardíaca se hizo en paralelo con el estudio de tiempo (Tabla IV). En la Figura 3 se visualizan claramente los peak de carga que es necesario vincular a las actividades que efectuaba el trabajador.

Al asociar la frecuencia cardíaca con las actividades (Tabla IV) se puede ver que desde las 8:05 hasta las 9:12 saca muestras con pala. En este período hace el primer peak de frecuencia cardíaca llegando a 156 latidos por minuto, lo que demuestra lo pesado que es el trabajo con pala. Como se ve en la Figura 4, no sólo impone una alta carga en el sistema cardiovascular, sino que también implica un importante sobreesfuerzo para los brazos y para la columna vertebral ya que el trabajador debe flexionar la espalda con giros de la columna vertebral, lo que es una operación de riesgo especialmente para la columna lumbar.



Fig. 4. Recolección de muestras trabajando con pala.

Otro peak ocurre entre las 12:35 y las 13 horas período en que carga las muestras en una camioneta, alcanzando una frecuencia cardíaca muy alta de 171 latidos por minuto. El carguío de sacos, implica levantar desde el suelo, trasladar y dejar en un vehículo las bolsas de plástico que contenían las muestras, tal como se ilustra en la Figura 5. Nótese que para dejar las bolsas, que pesaban 20 kg, tenía que levantarlas por encima de la altura de los hombros.



Fig. 5. Carguío de bolsas plásticas en una camioneta para su transporte.

Finalmente, entre las 14:02 y las 15:23, descarga la camioneta y coloca las muestras en las bandejas, las que luego ubica a distintas alturas en un contenedor, alcanzando un peak de frecuencia cardíaca de 159 latidos. Como se observa en la Figura 6, en la parte de atrás del vehículo colocan las bandejas, las que luego insertan en un contenedor. Las flechas rojas indican los niveles superior e inferior en los cuales se ubican las bandejas, lo que es de alto riesgo, ya que en el caso del nivel inferior hay una sobrecarga importante para la columna vertebral, mientras que colocarlas en los niveles superiores también es de riesgo para la espalda y además compromete brazos y hombros.

De los antecedentes presentados en las Figuras 5, 6 y 7 se puede deducir que los tres peak de frecuencia cardíaca se deben controlar aplicando

medidas ergonómicas tales como incorporar ayuda mecánica, reducir el peso de la carga, seleccionar accesorios adecuados, mejorar la organización del sistema de trabajo para otorgar más pausas de recuperación y capacitar a los trabajadores para promover su propio autocuidado. Cabe destacar que, aunque no es el objetivo central de este estudio, la metodología propuesta es de utilidad para evitar la fatiga, pero también puede contribuir a identificar y proponer soluciones para tareas que por su diseño impactan el sistema músculo esquelético.



Fig. 6. Preparación de bandejas con muestras.

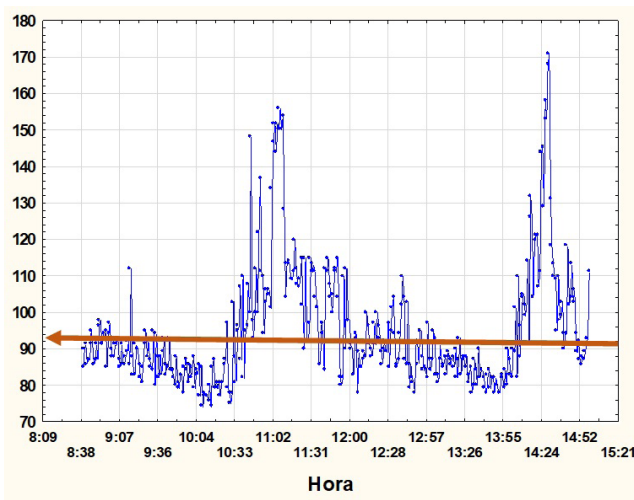


Fig. 7. Frecuencia cardíaca registrada minuto a minuto durante la jornada.

### Ejemplo de estudio de caso que combina actividades de oficina y en terreno

El ejemplo que se presenta a continuación es de un trabajador de 35 años que realizaba sus actividades en una sala de control con salidas esporádicas caminando para ejecutar algunas tareas en terreno. En la Tabla VI, se resumen los resultados del estudio de tiempos en la jornada evaluada.

Al desglosar los tiempos, se determinó que el trabajador dedicaba un 48,1 % a la actividad principal, mientras que el tiempo de pausas en el período observado fue de 48 minutos. La frecuencia cardíaca promedio, resumida en la Tabla VII alcanzó 95,1 latidos por minuto para la jornada, por sobre límite de 94 latidos propuesto para su edad (ver Tabla III).

Llama la atención que el realiza una parte importante de su trabajo sentado, pero hace un peak de 171 latidos cardíacos por minuto. Por eso es importante analizar cómo se distribuye la carga a lo largo de la jornada, lo que se presenta en la Figura 7. En ella se observan algunos peak, breves, por sobre 140 latidos. Estos sobreesfuerzos puntuales pueden ser riesgosos y por eso es necesario identificar los momentos en que ocurren y por qué suceden.

En la Figura 7 se observa un peak de carga entre las 10:45 y las 11:10 cuando sale a terreno y se desplaza subiendo y bajando escaleras y realizando algunas actividades manuales. En ese lapso se registra un peak de 156 latidos por minuto. Posteriormente, el trabajo más pesado lo realiza a la 14:30 horas en que alcanza el peak más alto de 171 latidos, mientras realizaba desbloqueo de equipos, tarea que duró solo 7 minutos. Esta combinación de un trabajo sedentario, realizado sentado la mayor parte de la jornada, con salidas esporádicas a terreno puede ser de alto riesgo, ya que si una persona de 35 años hace un peak de 171 latidos por minuto, necesariamente implica tomar medidas ergonómicas para reducir la carga. La información recabada con el sistema propuesto permite, al igual que en el caso anterior, buscar soluciones tecnológicas, pero el incremento de la frecuencia cardíaca caminando a velocidad normal puede tener como causal una baja aptitud física que podría deberse al sedentarismo de la mayor parte de su actividad. Podría especularse que en trabajadores obesos la sobrecarga aumenta por el desplazamiento de su propia masa corporal, lo que no es el caso en el trabajador evaluado cuya estatura era 176 cm, pesaba 69,4 kg, su masa grasa era de 10,1% y el IMC 22,4, lo que permite calificar a esta persona como delgada. En casos como este, las pausas activas, que siempre ayudan porque permiten un cambio de actividad, no son suficientes y las personas con trabajos sedentarios en altura, con respuestas como las descritas, deberían ser estimuladas a participar en programas de acondicionamiento físico motivantes, dosificados por especialistas y basados en evaluaciones objetivas de aptitud física.



Tabla VI. Distribución de tiempos por actividad, expresados en minutos y en porcentaje del total de la jornada.

Inicio	Actividad	Término	Duración	Porcentaje
8:40	Se inicia estudio	8:41	1	0,3
8:41	Trabaja en oficina	10:35	114	30,8
10:35	Se prepara para ir a terreno	10:42	7	1,9
10:42	Sale a terreno	10:45	3	0,8
10:45	Sube escaleras, camina, chequea máquinas	10:57	12	3,2
10:57	Habla por radio, sube a jaula para revisar motor	11:06	9	2,4
11:06	Atornilla, aprieta pernos	11:10	4	1,1
11:10	Se desplaza	12:00	50	13,5
12:00	Almuerza	12:40	40	10,8
12:40	Regresa a oficina	12:42	2	0,5
12:42	Trabaja en oficina	14:08	86	23,2
14:08	Se prepara para salir	14:10	2	0,5
14:10	Camina por planta	14:12	2	0,5
14:12	Ingresa a sala y bloquea equipo	14:13	1	0,3
14:13	Se desplaza	14:14	1	0,3
14:14	Coordina trabajo en área	14:18	4	1,1
14:18	Sube escalera, prepara herramientas	14:20	2	0,5
14:20	Comienza a trabajar, saca material	14:30	10	2,7
14:30	Termina de sacar material	14:32	2	0,5
14:32	Camina a desbloquear equipo	14:34	2	0,5
14:34	Regresa a oficina	14:50	16	4,3
14:50	Término del estudio	--		
15:48	Pausa, reunión con jefe	16:05	17	3,02
16:05	Etiqueta bolsas y sobres para muestras	16:24	19	3,37
16:24	Término del estudio	--		
<b>Tiempo de evaluación</b>		<b>6 horas y 10 min</b>	<b>370 min</b>	<b>100</b>

Tabla VII. Promedio de la jornada, mínimo, máximo y desviación estándar (D.E.) de la frecuencia cardiaca, expresada en latidos por minuto.

Variable	n	Promedio	Mínimo	Peak	D.E.
fC	381	95,1	74	95	16,6

## CONCLUSIONES

Este estudio planteó como objetivo principal proponer una metodología simple, no invasiva y de bajo costo, para la evaluación in situ de la respuesta

fisiológica al trabajo en altura. En términos simples la propuesta fue utilizar estudios de tiempo asociados a la frecuencia cardíaca y hacer seguimientos de jornadas completas, para detectar la intensidad promedio de los esfuerzos de la jornada, pero más importante que eso, identificar las cargas peak y los motivos por las cuales se producen. Desde este punto de vista, los 23 trabajadores aceptaron muy bien las técnicas y colaboraron aportando información durante los seguimientos. La identificación de las cargas peak y las actividades asociadas a ellas, permitieron discutir con trabajadores y jefaturas en forma participativa soluciones ergonómicas a los

problemas detectados. En otras palabras, la metodología empleada permitió alcanzar los objetivos propuestos.

Un hallazgo importante fue la correlación significativa que reveló que a mayor edad más baja fue la fC peak de estos trabajadores. Esto no quiere decir que el trabajo haya sido menos demandante ya que la frecuencia cardíaca máxima disminuye con la edad (Mourot, 2018). Una manera de compensar estas diferencias sería expresando la frecuencia cardíaca como porcentaje de carga cardiovascular (Apud *et al.*). A nivel del mar se emplea rutinariamente la fórmula de Tanaka *et al.*, (2001) u otras equivalentes, pero esos criterios tienen que ser validados y corregidos para distintas alturas. En consecuencia, en el intertanto parece más aconsejable expresar la frecuencia cardíaca en latidos por minuto. De lo contrario, a la falta de conocimientos sobre límites para trabajo sostenido, se sumaría el error en la estimación de la frecuencia cardíaca máxima.

En síntesis, la metodología propuesta, asociada a un enfoque de ergonomía participativa, permite abordar las tareas más críticas, identificar la intensidad de los esfuerzos y proponer soluciones en los casos de mayor sobrecarga. Esto sin duda que no sólo beneficia a la persona en esa actividad puntual sino que también puede contribuir a la disminución del esfuerzo cardiovascular promedio de la jornada.

**APUD, E. & OÑATE, E. J.** Evaluation of physiological workload for ergonomic purposes in mining activities performed in geographical altitude. *J. health med. sci.*, 6(2):131-141, 2020.

**ABSTRACT:** From the perspective of Ergonomics and Work Physiology, there is little knowledge about the impact of high energy demand, performed in geographic altitude, over the well-being of their workers. The assessment of the physiological answer during real works in altitude is not a simple task. The two more used variables to quantify the intensity of the efforts are the oxygen intake (VO<sub>2</sub>) and cardiac frequency (fC). The first technic is complex, while the second allows a follow-up of the complete workdays without disturbing the work. Furthermore, when activities are associated with the person that performs it, it allows us to identify charges peak and propose answers to avoid and reduce them. As result, the aim of the present study is to analyze and propose a simple methodology, of low cost, to assess the physiological load, combining time studies and measurement of cardiac frequency, in workers performing in geographic altitudes. As for methods, the study was performed in 23 workers from 26 to 60 years old. A workday follow-up was performed to each of the workers with continuous and time-synchronized registers and fC. The main results displayed an inversely proportional link

between age and peak cardiac frequency. At the same time, the proposed methodology proved to be useful to identify loads of high physiological demands, like support for the seek of ergonomic solutions. In summary, we concluded that the proposed methodology, associated with a collaborative ergonomic approach, allowing us to address the most critical tasks, identify the intensity of the efforts, and propose solutions in the cases of greater overload.

**KEY WORDS:** geographical altitude, physiological workload, age, cardiac frequency.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Apud, E.; Gutiérrez, M.; Maureira, F.; Lagos, S.; Meyer, F. & Chiang, M. T. Guía para la evaluación de trabajos pesados. Ed.: Trama, Concepción, pag. 1-268, 2002.
- Astrand, P.; Rodahl, K.; Dahl, K. & Strømme, S. Textbook of Work Physiology: Physiological Bases of Exercise. 4th Edition, Human Kinetics, USA, 2003.
- Donoso, H.; Apud, E.; Sañudo, M. & Santolaya, R. Capacidad aeróbica como índice de capacidad física en muestras de poblaciones (urbanas y nativas de la altura) y en atletas de selección. *Rev. Méd. Chile.* 99:719-31, 1971.
- Superintendencia de Pensiones (SP). Guía Técnica para la evaluación de trabajos pesados. Ministerio del Trabajo y Previsión Social. Gobierno de Chile. 2010. Disponible en: [https://www.spensiones.cl/portal/institucional/594/articles-12791\\_guia\\_tecnica\\_evaluacion.pdf](https://www.spensiones.cl/portal/institucional/594/articles-12791_guia_tecnica_evaluacion.pdf)
- Grocott, M.; Hope, D.; Levett, D. & Ward, S. Exercise physiology: exercise performance at altitude. *Current opinion in Physiology.* 10:210-8, 2019
- International Labour Organization (ILO). Introduction to Work Study. Fourth Edition. International Labour Office, Ginebra, 1992
- Lopez, J. & Fernández, A. Fisiología del ejercicio. Editorial Médica Panamericana. 3ª edición, Madrid, 2006
- Moraga, F. A.; Osorio, J.; Jiménez, D.; Calderón-Jofré, R. & Moraga, D. Aerobic Capacity, Lactate Concentration, and Work Assessment During Maximum Exercise at Sea Level and High Altitude in Miners Exposed to Chronic Intermittent Hypobaric Hypoxia (3,800 m). *Front. Physiol.* 10:1149, 2019.
- Mourot, L. Limitation of Maximal Heart Rate in Hypoxia: Mechanisms and Clinical Importance. *Front. Physiol.* 9:972, 2018.
- Myers, S. D.; Biccard, B. M.; Chan, C.; Imray, C. H.; Wright, A. D. & Pattinson, K. T. Delayed Acclimatization of the Ventilatory Threshold in Healthy Trekkers. *Wilderness Environ. Med.*, 19:124-8, 2008
- Santolaya, R.; Donoso, H.; Apud, E. & Sañudo M. C. Electrocardiograma y capacidad física en nativos de altura como índice de adaptación al ambiente. *Rev. Méd. Chile.* 101:433-8, 1973.
- Tanaka, H.; Monahan, K. D. & Seals, D. R. Age-predicted maximal heart rate revisited. *J. Am. Coll. Cardiol.*, 37(1):153-6, 2001.

Dirección de correspondencia:  
Esteban Oñate  
Departamento de Ergonomía  
Facultad de Ciencias Biológicas  
Universidad de Concepción  
Concepción  
CHILE

Email: [estebanonate@udec.cl](mailto:estebanonate@udec.cl)

Recibido: 10-12-19  
Aceptado: 20-04-20