

# Indicadores de carga física de trabajo en exposición intermitente crónica a gran altura

Indicators of physical work load in chronic intermittent exposure at high altitude

Daniel Jiménez<sup>1</sup> & Jorge Osorio<sup>2</sup>

**JIMÉNEZ, D. & OSORIO, J.** Indicadores de carga física de trabajo en exposición intermitente crónica a gran altura. *J. Health Med. Sci.*, 6(2):143-151, 2020.

**RESUMEN:** Se han establecido regulaciones para la exposición ocupacional a cargas físicas del trabajo, y a hipoxia intermitente crónica (HIC). También se ha indicado incorporar los riesgos asociados a HIC a un sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo. Dado que las cargas físicas de trabajo (CFT) en HIC pueden condicionar riesgos de trabajo pesado y fatiga física, se considera oportuno revisar el efecto de la CFT a gran altitud, entre 3000 y 5500 m de altura, sobre el riesgo de trabajo pesado, por lo cual se procede a recopilar estudios de campo de la capacidad aeróbica, mediciones de los signos que permiten evaluar el % de Carga Cardiovascular (%CCV) ocupado a gran altura. El %CCV se calcula mediante las frecuencias cardíacas (FC) de reposo, la máxima y la de trabajo. El monitoreo continuo de la FC y mediciones directas de la capacidad aeróbica máxima muestran que en HIC se modifican las tres FC de %CCV, también se muestra que cuando la FC de trabajo en altitud está por sobre 110 latidos/minuto hay mayor riesgo de fatiga y trabajo pesado. Adicionalmente se encontró que la capacidad aeróbica, VO<sub>2</sub>máx, medido a nivel del mar se reduce en trabajadores aclimatados a HIC con una reducción del 7% de la FC máxima. Este efecto, entendido como frenación fisiológica protectora, se puede perder durante una desaclimatación a nivel de mar por más de 10 días. En vista de una mayor probabilidad de trabajo pesado en HIC se proponen intervenciones para prevenir, controlar y mitigar riesgos de fatiga, cansancio y trabajo pesado que afecten la salud, conducta segura y productividad. En conclusión, en faenas a gran altitud, la CFT se puede evaluar mediante medición del %CCV basada en registros de la FC de reposo, máxima y de trabajo, en cada cota donde se ejecuta la actividad laboral, porque la hipoxia hipobárica modifica los tres componentes de esa ecuación.

**PALABRAS CLAVES:** carga física de trabajo, hipoxia intermitente crónica, trabajo pesado.

## INTRODUCCIÓN

Para la prevención en salud y seguridad laborales se han indicado límites para la exposición ocupacional a peligros ambientales físicos, químicos, biológicos, ergonómicos, mentales y organizacionales. Es así como la legislación chilena ha definido normas de exposición en el Reglamento sobre Condiciones Sanitarias y Ambientales Básicas en los Lugares de Trabajo, DS 594, (MINSAL, 2019), el cual se complementa con Guías Técnicas específicas para riesgos tales como Trastornos musculoesqueléticos, Radiaciones ionizantes, Riesgos Psicosociales, Exposición a condiciones hiperbáricas, Hipobaría intermitente crónica por gran altitud, etc. (MINSAL, 2020). A su vez, se han establecido normas técnicas de evaluación y buenas prácticas laborales para identificar puestos de trabajos “pe-

sado” según límites de exposición en consideración al riesgo de producir desgastes físico, intelectual o psíquico en la mayor parte de los trabajadores que ocupen esos puestos, y puedan condicionar envejecimiento temprano y/o compromiso de la expectativa de vida; todo esto se encuentra incluido en la Guía Técnica para la Evaluación del Trabajo Pesado, GTP. (MINTRAB, 2010).

En los puestos de trabajo ubicados en altura geográfica sobre el nivel del mar, nm, pueden coexistir exigencias físico-musculares y mentales demandantes de energía y oxígeno, en tareas y actividades laborales, hasta niveles de trabajo pesado, y simultáneamente exigencias fisiológicas impuestas por una menor disponibilidad ambiental

<sup>1</sup> Médico asesor de proyectos en ambientes extremos, Santiago, Chile.

<sup>2</sup> Instituto de Estudios de la Salud, Universidad Arturo Prat, Iquique; Chile.

de  $O_2$  a consecuencia de una presión barométrica (PB) reducida.

En cada puesto de trabajo, el requerimiento de oxígeno está asociado a exigencias ocupacionales biomecánicas y energéticas para ejercer fuerzas, movilizar el propio cuerpo, transportar y/o sostener materiales, equipos, movimientos repetitivos y mantención de la postura corporal; este conjunto de exigencias físico-musculares, conforman cargas físicas del puesto de trabajo (CFT); a ellas se suman otras cargas como mentales y organizacionales. (INSST, 1989; MINTRAB). La CFT representa el gasto de recursos físicos, biomecánicos y bioenergéticos disponibles, consumidos durante la ejecución de tareas ocupacionales, los que en términos absolutos se pueden cuantificar como potencia, medida en watts, o como gasto energético medido en kilocalorías/minuto, o como consumo de oxígeno ( $VO_2$ ) medido en litros de  $O_2$  por minuto. (Louhevaara & Kilbom, 2005). A su vez, la máxima disponibilidad de estos recursos físicos, biomecánicos y bioenergéticos en cada sujeto, conforman su capacidad de trabajo para responder a una CFT determinada. Cuando la CFT supera límites aceptables de la capacidad del trabajador se configura trabajo pesado. (MINTRAB). Las capacidades máximas del trabajador se pueden cuantificar en términos de capacidad aeróbica máxima, como  $VO_2$  max, medido en ml de  $O_2$ /min/kg de peso.

En un ambiente de altura geográfica, la disponibilidad de oxígeno disminuye a medida que desciende la PB bajo los 760 mmHg de nm, dando lugar a hipobaría (hipo=baja, baria=presión); a su vez disminuye la presión ambiental de oxígeno,  $O_2$ , a menos de 159 mmHg, dando lugar a hipoxia hipobárica (hipo=baja, oxia=oxígeno), sabiendo que el 21% de los gases del aire es  $O_2$ . (NASA, 1962). Las autoridades de salud de Chile establecieron que el nivel de hipoxia hipobárica que condicionan mayores exigencias y riesgos a la salud y seguridad ocupacional de trabajadores es sobre los 3000 metros de altura. A esta altitud la PB se ha reducido en un 30% a 525 mmHg, y la presión ambiental de  $O_2$  a 110 mmHg. En términos equivalentes, esto significaría estar respirando 14,5% de  $O_2$ , (hipoxia hipobárica) en lugar de un 21%.

El Artículo 110-b del DS 594 (MINSAL, 2019) define normas para la exposición ocupacional a hipobaría en la modalidad intermitente crónica, por exposición discontinua de los trabajadores

a altitudes entre 3000 y 5500 metros sobre el nivel del mar, debido a motivos laborales en sistemas de turnos rotativos, con días de trabajo a gran altitud y días de descanso a baja altitud, los que pueden ser 4x3, 4 días en altitud y 3 de descanso a baja altitud, ó 7x7, 9x6, 10x10 días, etc. Tanto en el DS 594, como en la Guía Técnica sobre Exposición Ocupacional a Hipobaría Intermitente Crónica por Gran Altitud. GTH, (MINSAL, 2013) se indica que la "exposición a hipobaría intermitente crónica (HIC) por gran altitud puede producir algún tipo de enfermedades reversibles a corto y/o a largo plazo, principalmente neurológicas y cardiopulmonares que van desde el mal agudo de montaña en sus diferentes variedades (mal agudo de montaña, edema pulmonar de altura, edema cerebral de altura), policitemia, hipertensión pulmonar y/o trastornos del sueño, entre otras patologías". Adicionalmente establecen exámenes de salud y vigilancia de la salud de los expuestos, así como incorporar la hipobaría como un factor de riesgo en el sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo.

En términos de prevención de riesgos laborales y seguridad y salud ocupacional es pertinente reconocer que en HIC, además del riesgo de enfermedades de la altura, existirían el riesgo de trabajo pesado y fatiga por exigencias físico-musculares en condiciones de hipoxia hipobárica, también el riesgo de sobrepasar límites permisibles de contaminantes químicos expresados en mg/m<sup>3</sup> del artículo 63 del DS 594, y el riesgo de accidentes por compromiso de alerta y somnolencia secundario a disturbios del sueño en altura (Jiménez, 2015); a ellos se puede añadir el riesgo de hipotermia por frío y viento según criterios del Artículo 99 del DS 594.

La presente revisión se enfoca en la caracterización de las CFT en un ambiente de HIC, como condicionantes del riesgo de trabajo pesado y fatiga física. Para evaluar este riesgo es necesario conocer la CFT del puesto de trabajo y también la capacidad del trabajador para ejercer el trabajo físico. En HIC las capacidades del sujeto expuesto están modificadas según las respuestas fisiológicas frente a la menor disponibilidad ambiental de  $O_2$ . Estas respuestas pueden resultar en adecuaciones eficaces o insuficientes dependiendo de factores genéticos personales, la calidad de la aclimatación fisiológica, y elementos conductuales y tecnológicos utilizados (Richalet & Henry, 2017). Respecto a la aclimatación en HIC se considera que los signos

fisiológicos de adecuaciones a la hipoxia hipobárica se estabilizan después de los 18 meses de inte.

En la evaluación médica preocupacional para exposición laboral a HIC, definida en el DS 594 y la GTH, no se incluye la medición de la capacidad física de trabajo del postulante, de modo que se desconoce el grado de compatibilidad de la capacidad física del trabajador con las exigencias a gran altitud. Por éste motivo existe la probabilidad de que se vean afectados el rendimiento físico, el desempeño seguro y la productividad del trabajador. De aquí que es importante evaluar la capacidad física del trabajador para asegurarnos que está en condiciones de responder a la CFT.

Para evaluar en términos cuantitativos la CFT, especialmente asociados a trabajos físico-musculares se han propuesto tres métodos: a) Estimación del Consumo de energía, consumo calórico, del conjunto de movimientos efectuados en las actividades del trabajo, calculando el consumo total de calorías con ayuda de tablas estandarizadas. b) Análisis de la frecuencia cardíaca, FC, del trabajo según criterios que calculan el consumo energético y la reserva cardiovascular de acuerdo a su equivalencia con el consumo de oxígeno,  $VO_2$ , y c) Medición directa del consumo de  $O_2$  del operario durante el trabajo, mediante instrumentos que monitorean el aire espirado.

Los puestos de trabajo en altura geográfica en HIC con alta carga física muscular se ejecutan generalmente al aire libre, en terrenos escarpados, con marcadas variaciones de temperatura y viento, por lo cual, evaluaciones indirectas del consumo de energía, como mediciones del costo relativo de la reserva cardiovascular en el trabajo mediante monitoreo continuo de la FC son más factibles de realizar. Al respecto se ha establecido que existe una relación lineal entre el  $VO_2$  y la FC (INSST, 1992; Trudeau & Bouchard, 2007; Astrand *et al.*, 2003).

La Enciclopedia de Salud y Seguridad de la Organización Internacional del Trabajo menciona que la valoración de una CFT aceptable en trabajos musculares pesados se puede estimar a partir de registros de frecuencia cardíaca, considerando como reserva cardiovascular el resultado de la FC máxima menos la FC de reposo. y como consumo energético durante el trabajo la FC media del trabajo menos la FC de reposo. (Smolander & Louhevaara, 2011). La relación en porcentaje entre el con-

sumo energético del trabajo respecto a la reserva cardiovascular se ha denominado Costo Cardíaco Relativo (INSST, 1997), o % de Carga Cardiovascular, %CCV (MINTRAB). La fórmula utilizada para calcular el %CCV es:  $(FC \text{ trabajo} - FC \text{ reposo}) \times 100 / (FC \text{ máx} - FC \text{ reposo})$ . Pero en trabajos efectuados a gran altitud es indispensable integrar el efecto de la hipoxia hipobárica, porque a igual magnitud de carga física y edad del sujeto, las capacidades físicas del trabajador están condicionadas por la calidad de la aclimatación y la tolerancia biológica a la HIC.

La medicina de montaña ha ido reconociendo que en la exposición aguda a la altura, disminuye el nivel de  $O_2$  sanguíneo, medido como Saturación de oxígeno ( $SaO_2$ )) como también disminuye la capacidad aeróbica máxima ( $VO_{2max}$ ). Sin embargo esta respuesta no es lineal en altitud, ya que en altitudes medianas (2000-3000 metros) se observan efectos favorables de la hipoxia intermitente sobre la capacidad aeróbica, lo que es utilizado para entrenamientos deportivos para rendir a nivel del mar (Levine & Stray-Gundersen, 1997). Pero en altitudes sobre 3000 metros, aun en aclimatados con buena  $SaO_2$  al ejercicio, no se logra alcanzar niveles de  $VO_{2máx}$  de nivel de mar; efecto que se ha atribuido a varios factores. Un factor es la redistribución circulatoria con menor suministro sanguíneo y de oxígeno al tejido muscular, menor gasto cardíaco sobre 4000 m, menor reclutamiento de placas motoras en respuesta a hipoxemia cerebral, y frenación de la frecuencia cardíaca máxima por desensibilización y reducción de receptores beta adrenérgicos (Calbet *et al.*, 2003; Secher *et al.*, 2008; Richalet *et al.*, 1992). Esta disminución del  $VO_{2máx}$ , se entiende como un factor de protección fisiológico, y no como daño ni lesión (Richalet *et al.*, 1992; Gamboa, 2003). Basados en estudios epidemiológicos en terreno, un consenso de expertos en medicina de montaña de la Union Internationale des Association d'Alpinisme, UIAA, señala reducción de la capacidad físico-muscular a gran altitud, de manera que la máxima carga física de trabajo a desarrollar disminuye 10% cada 1.000 metros de altitud, a partir de los 1500 metros. Esto significa que a los 3500 m de altitud la máxima CFT a soportar sería 80%, y a los 4500 m 70%, respecto a la observada a nivel de mar (UIAA, 2009).

Queda por conocer cómo la exposición intermitente crónica a hipoxia hipobárica afecta la CFT y la capacidad de trabajo evaluadas mediante los com-

ponentes de la fórmula de CCV. En síntesis el objetivo de este trabajo es describir los indicadores de Carga Física de Trabajo sobre 3000 metros de altitud, según los criterios de la CCV. Esta información permitirá avanzar en la calificación de trabajo pesado o trabajo extenuante a gran altitud, y desarrollar orientaciones en la prevención de improductividad, fatiga y/o accidentes.

## MATERIAL Y MÉTODO

Para el objetivo propuesto se procede a revisión de información publicada sobre evaluaciones de CFT en exposición intermitente crónica entre 3000 y 5000 metros de altitud y recopilación de estudios de campo que hayan medido carga física en trabajadores sobre 3000 metros y comparación con evaluaciones a nivel de mar. Con este fin, los autores proceden a búsquedas independientes en bases de datos de Pubmed y Scielo utilizando palabras clave como intermittent hypoxia, high altitude aerobic performance or  $VO_2$ max, heavy work, hipobaría intermitente crónica, carga cardiovascular, trabajo pesado. Mediante la búsqueda se encontraron 386 artículos, de los cuales 4 aportan información de alguno de los tres componentes de la carga cardiovascular en exposición aguda, sea FC de reposo, o FC de trabajo o FC máxima. Para avanzar en el tema se recurre a artículos publicados en medios no indexados, y a datos inéditos de mediciones en terreno de FC y  $VO_2$ max.

Se consideran como datos relevantes lo recogida por monitoreo continuo de FC a gran altitud, en reposo y durante el trabajo. También son de valor pruebas estandarizadas de esfuerzo en cicloergómetro, con protocolos de cargas de intensidad creciente y escalonada, y a ritmos de pedaleo prefijado, y equipos que medían  $VO_2$  con analizador de gases  $O_2$  y  $CO_2$ , neumotacógrafo y registro de señales integradas de FC y  $SaO_2$ . Se considera que en estas pruebas el sujeto obtiene su máximo rendimiento cuando declara incapacidad de mantener el ritmo de pedaleo y alcanza la FC máxima esperada para la edad (220-edad, fórmula de Karnoven validada por Camarda et al 2008). La medición basal es la que se pueda ejecutar a nivel de mar en sujeto virgen a la altitud, porque sucesivas mediciones a nivel de mar de los mismos trabajadores mostrarán el efecto de la aclimatación a la hipoxia sobre la FC. Tratándose de recopilación de datos

grupales, y con la finalidad de presentar resultados de manera didáctica, éstos se presentan solamente en promedios.

Para los propósitos de evaluar el riesgo de trabajo pesado, la ergonomía y medicina del trabajo han establecido que ocupar más del 30 y 40% de la Carga Cardiovascular y /o  $VO_2$ max significa llegar a niveles de trabajo pesado, con alto riesgo de fatiga y cansancio (Apud *et al.*, 2002; MINTRAB; Smolander & Louhevaara).

## RESULTADOS

En evaluaciones de CFT de trabajadores en HIC, entre 3000 y 4800 metros de altitud, y en exposición intermitente de turnos 7x7, se ha podido examinar los tres componentes de la fórmula que calcula la CCV, es decir la FC de reposo, la FC máxima y la FC de trabajo. Se ha constatado que a 3800 metros de altitud en trabajadores nativos de nivel de mar aclimatados a HIC, con más de 24 meses de exposición, la FC de reposo en altura es mayor que a nivel de mar. A 3800 m es en promedio 84-85 latidos/minuto, mientras a nivel de mar 71 lat/min (Tabla I). Al incorporar este dato a la fórmula de CCV resulta que impacta tanto sobre la reserva cardiovascular (FC max-FC reposo) como sobre la carga de trabajo (FC trabajo-FC reposo), pero dado que en términos relativos tiene mayor influencia sobre la reserva cardiovascular, el resultado es una disminución del %CCV ocupada en altitud respecto a nivel de mar. En trabajadores en HIC a 4400 metros de altitud, también se ha observado aumento de la FC de reposo, que es alrededor de 90 lat/min (Osorio, 2015). Respecto a la FC de trabajo, a igual intensidad de la carga física se ha observado un aumento entre 10 a 15 lat/min a gran altitud respec-

Tabla I. Niveles de frecuencia cardiaca de reposo a nivel del mar y en altura.

	Frecuencia Cardíaca Reposo Nivel de mar y Altitud	
Trabajadores aclimatados a HIC	Nivel de Mar	3850 metros
n=30. Edad 25,4 años. 30 meses exposición	71.6 x min	84.5 x min
n=24. Edad 31,5 años. 29 meses exposición	70.9 x min	85.4 x min

Exposición intermitente crónica en turnos 7x7 días.

to al nivel del mar (Lundby, 2014). Este aumento de la FC de trabajo, considerando estables las FC de reposo y la FC máxima en altitud y a nivel de mar, conduciría a un aumento de la CCV.

Luego, respecto a la FC máxima (el tercer componente de la CCV), se revisan mediciones directas del consumo de oxígeno en ejercicio máximo a nivel de mar en un seguimiento por 2,5 años de exposición a HIC. (Tabla II) Este seguimiento mostró que la FC máxima disminuye 8% al año de exposición crónica, 6% al año y medio, y 7% a los dos años y medio. Al analizar el efecto de una disminución de la FC máxima sobre la CCV, se aprecia que repercute en la reserva cardiovascular, que es el denominador de la fórmula, provocando un aumento de la CCV.

Tabla II. Evolución de la Carga máxima, el VO<sub>2</sub>máx y la FC máxima a nivel de mar pre ascenso y luego de HIC durante 2,5 años. Trabajadores sanos, n=22, edad 24,8 +/- 4,3 años\*

Nivel de Reducción	A nivel de mar			
	Pre-ascenso (%)	Aclimatado a HIC		
		1 Año (%)	1,5 Años (%)	2,5 Años (%)
Carga máxima ejercida, se reduce desde 205 W a 175 W	100	96	89	85
VO <sub>2</sub> máx baja desde 2,6 L/min a 2,0 L/min	100	85	84	80
FC máx disminuye desde 188 lat/min a 175 lat/min	100	92	94	93

\*El cálculo considera que la medición pre-ascenso a nivel de mar es 100%, y las tres mediciones estando en HIC se comparan respecto al pre-ascenso.

Adicionalmente, respecto al componente FC máxima de la CCV, es indispensable tener en cuenta la edad del trabajador, ya que la referencia habitual de este parámetro es 220-edad; entonces a una misma altitud, la CCV tomará distintos valores a los 30, 40 y 50 años, y en ausencia de medición directa de la FC máxima en altura, se tendría que reducir en un 7% a cada valor etario.

En síntesis, estamos viendo que en HIC sobre 3000 metros de altitud, son afectados los tres componentes de la evaluación de la CCV, por lo cual

a gran altura es indispensable efectuar monitoreo de FC a cada altitud y por puestos de trabajo en condiciones reales. El efecto de la altitud sobre la CCV, se muestra en la Tabla III. Se trata de una simulación del efecto sobre la CCV, con la misma FC de trabajo a nivel de mar y a 3800 m, pero integrando el efecto de la altura sobre la FC de reposo, con un aumento de 71 a 84 lat/min, y una disminución del 7% de la FC máxima. El resultado muestra que a medida que aumenta la FC de trabajo (siendo igual a nivel de mar y a 3800 m), cuando la FC de trabajo es 90 lat/min, la CCV en altitud sube un punto, de 18,2 a 19,2% en el tramo de edad de 40-49 años; es decir hay un aumento del 5% en un nivel de ambas cargas soportables, sin riesgo de trabajo pesado por ser menor de 30%. Pero con una FC de trabajo de 100-110 lat/min, la CCV sube 4 puntos pasando de 27,3 a 31,2%, (un aumento de 14%), de modo que aunque el trabajo es tolerable a nivel de mar, con la misma FC de trabajo a gran altura se pasa a un nivel de trabajo pesado, mayor a 30%. Entonces a mayor FC de trabajo mayor es el aumento de la CCV en altitud, respecto al de nivel de mar.

Tabla III. Carga cardiovascular según la misma frecuencia cardiaca de trabajo a nivel del mar y a 3.800 m de altitud, por grupos de edad\*

Frecuencia Cardíaca de Trabajo a NM y 3.800m (lat/min)	% de Carga Cardiovascular por Edad					
	30 - 39 años		40 - 49 años		50 y más años	
	NM	3800m	NM	3800m	NM	3800m
90 - 99	16.7	17.3	18.2	19.2	20	21.6
100 - 109	25	28	27.3	31.2	30	35.1
110 - 119	33.3	38.8	36.4	43.2	40	48.6
120 - 129	41.7	49.6	45.4	55.1	50	62.1

\*NM= Nivel del mar; considerando FC de reposo a NM=71 lat/min, y 84 lat/min a 3.800 m; y FC máxima disminuida en 7% a 3800 m

En otro estudio de los autores, con un monitoreo continuo de la FC durante una jornada de trabajo diurno de 12 hrs a 4200 metros de altitud en trabajadores aclimatados se observaron puestos de trabajo con diversas FC de trabajo, desde un promedio de 81,7 lat/min hasta 112,4 lat/min (Tabla IV). Si tomamos en cuenta la simulación descrita en de la Tabla III veríamos que hay tres puestos de trabajo con FC de trabajo de 110 lat/min y con probabilidad de estar en rango de trabajo pesado.

Tabla IV. Frecuencia cardiaca de trabajo promedio en 14 puestos de trabajo minero a 4200 m (n=103 trabajadores aclimatados a HIC, 7x7. Exposición promedio 38 meses).

Puesto de Trabajo a 4200 m	FC de trabajo, lat/min, promedio ± d.s
Apilador	112,4±8,8
Operador Chancador Primario	111,3±10
Alarife	110,6±11,8
Operador Stripping Machine	108,0±2,8
Operador Puente Grúa	105,2±26,3
Geomensor	102,2±10,1
Eléctrico Mantención Mina	101,7±14
Operador Molienda	100,0±10,9
Operador de Flotación	99,1±10,9
Operador de Mineroducto	95,0±1,4
Operador Planta Oxidos	95,0±7,7
Sala de Control Sulfuros	92,7±6,7
Paramédico	84,8±9,2

## DISCUSIÓN

Del análisis de los registros, se aprecia que en trabajadores en HIC por sobre los 3000 metros de altitud, se modifican la FC de reposo, la FC de trabajo y la FC máxima. A su vez, en la estimación teórica de una FC de trabajo de 110 lat/min en altura, la edad puede producir un cambio en la calificación de una carga de trabajo de tolerable, a trabajo pesado (Tabla III). Luego, para un mismo nivel de altitud y rango etáreo, un aumento en la FC de trabajo puede transformar una CFT en trabajo pesado.

El significado de la calificación de trabajo pesado a gran altitud adquiere otras connotaciones por su relación con caídas de la SaO<sub>2</sub> y la percepción de cansancio, la que se evalúa con la escala de Borg (Borg, 1982). Se sabe que existe correlación entre el nivel de SaO<sub>2</sub> y el VO<sub>2</sub>máx, de modo que al descender la SaO<sub>2</sub> a 88%, el VO<sub>2</sub>máx puede caer 17%, y con una SaO<sub>2</sub> de 85% el VO<sub>2</sub>máx se reduce en 20% (Ferretti *et al.*, 1997). Además se podría sumar otro efecto de la desaturación de oxígeno sobre la percepción de trabajo pesado, ya que en presencia de bajos niveles de SaO<sub>2</sub> se pueden afectar funciones cerebrales, como alerta y rendimientos cogniti-

vos, lo que aumentaría el riesgo de fatiga y cansancio (Ochi *et al.*, 2018).

En otro sentido, si tomamos el criterio del consenso de expertos de la UIAA, que predice la caída de la capacidad de carga máxima de trabajo según altitud, se puede estimar que frente a una misma carga de trabajo submáxima, por ejemplo 50 watts, equivalente a 14 ml O<sub>2</sub>/kg/min, el compromiso aeróbico relativo, medido como porcentaje del VO<sub>2</sub>máx está marcadamente determinado por su VO<sub>2</sub>máx, es decir por la capacidad aeróbica propia del sujeto (Tabla V). Así es que mientras mayor sea el VO<sub>2</sub>máx del sujeto, menor es el riesgo de llegar a niveles de trabajo pesado y/o fatiga. Lo preocupante es que trabajadores con baja capacidad aeróbica máxima, por ejemplo 35 ml O<sub>2</sub>/kg/min, frente a cargas de trabajo livianas (50 watts) pueden llegar a niveles de trabajo pesado, porque en cualquier altitud utilizarían más del 30% de su capacidad. De igual modo, la misma tabla nos ayuda a comprender que a igual capacidad aeróbica y carga de trabajo, hay una mayor utilización de su VO<sub>2</sub>máx cada 1000 metros, cuando se permanece por sobre los 3000 metros de altitud. En el ejemplo, los sujetos con mejor potencia aeróbica (55 ml/kg/min) frente a la misma carga a 3000 metros de altura, usan el 29,9% de su VO<sub>2</sub>máx, y a 4000 m, llegan a ocupar el 33,9% de su VO<sub>2</sub>máx. Esta caída del VO<sub>2</sub> en ejercicio máximo se ha constatado en niveles cercanos a 30%, también en trabajadores aclimatados a HIC a 3800 m (Moraga *et al.*, 2019), lo que seriamente debe ser considerado al momento del planificar, diseñar y controlar los puestos con alta CFT a gran altura.

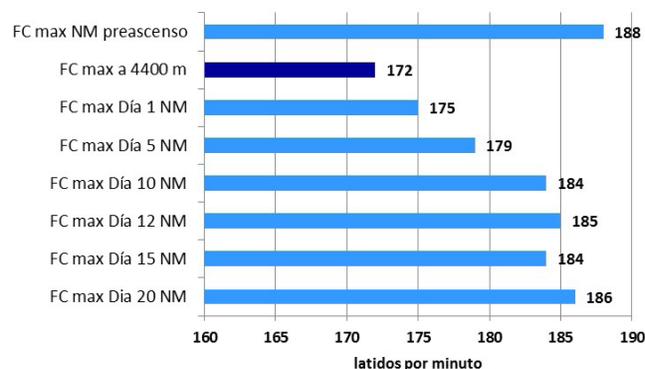


Fig. 1 Frecuencia Cardíaca Máxima a Nivel de Mar preascenso, y durante 20 días de vacaciones en trabajadores aclimatados a hipobaría intermitente crónica a 4400 m (n= 5). FC max=frecuencia cardíaca máxima. NM=nivel de mar.

Tabla V. Porcentaje del VO<sub>2</sub>máx utilizado durante una carga de 50 watts desde nivel de mar hasta 5000 metros de altitud, según la reducción de Carga Máxima del Consenso UIAA.

VO <sub>2</sub> max ml/kg/min del sujeto	Carga física		% de la VO <sub>2</sub> max utilizada frente a la misma carga física según la altura			
	Watts	ml/kg/minO <sub>2</sub>	Nivel Mar	3000	4000	5000
55	50	14	25.5	29.9	33.9	39.2
45	50	14	31.1	36.6	41.5	47.9
35	50	14	40.0	47.1	53.3	61.5

De los tres componentes necesarios para estimar la CCV, la FC máxima es el menos asequible a medición directa a gran altitud debido a su complejidad y riesgos. La reducción fisiológica de la FC máxima en aclimatados es un signo interpretado como frenación fisiológica (Richalet & Henri, 2017), pero durante permanencias a nivel de mar se sigue expresando. En una experiencia de seguimiento durante 20 días de vacaciones a nivel de mar, se observó que la aclimatación a HIC había reducido la FCmax a 167,2 lat/min a 4400 metros, mientras que por efecto de la desaclimatación a nivel de mar se observó una recuperación progresiva de la FC máxima (Figura 1) (Osorio).

A partir de la información recolectada, aparece la necesidad de identificar estrategias de intervención para eliminar, controlar o mitigar el mayor riesgo de trabajo pesado asociado a cargas físicas asumidas en actividades ocupacionales en HIC. En este sentido se pueden proponer medidas sobre las tareas pesadas, sobre las dotaciones de personal en actividad de alta carga, suplementación de oxígeno para mejorar la SaO<sub>2</sub>, mitigación en base a pausas o rotación por tareas livianas, y mejoramientos de la capacidad aeróbica del trabajador (Tabla VI).

Tabla VI. Estrategias de intervención para eliminar, controlar y mitigar los riesgos asociados a trabajo pesado en altura geográfica.

Estrategias	Descripción
Automatizar tareas	Incorporación de máquinas que reemplazan el trabajo manual.
Aumentar dotación	Incorporación de operadores para distribuir la carga física
Intercalar mitigación	Rotar por trabajos livianos, intercalar mas pausas
Suplementar con O <sub>2</sub>	Aporte suplementario de O <sub>2</sub> , sea de manera individual o grupal
Mejorar el VO <sub>2</sub> máx	Aumento del rendimiento físico del trabajador para la misma tarea

En conclusión la evaluación de CCV en puestos de trabajo a gran altura, requiere considerar los efectos de la hipoxia hipobárica sobre los tres componentes de su fórmula, FC de reposo, FC de Trabajo y FC máxima, Estos tres indicadores de FC, y el VO<sub>2</sub>máx permiten una buena evaluación de la CFT en puestos de trabajo a gran altitud.

En trabajadores aclimatados a HIC, frente a la misma CFT, el riesgo de trabajo pesado y fatiga es mayor en altitud que a nivel de mar, por lo cual controlar este riesgo adquiere particular connotación en el sistema de gestión de seguridad y salud para puestos de trabajo a gran altura

Cuando se requiera evaluar y controlar el riesgo de trabajo pesado en altitud, adquieren mayor importancia la edad y la capacidad aeróbica de los sujetos, incluso a una misma altitud y/o a igual carga de trabajo.

La reducción de la FC máxima en altitud genera un desafío a la medicina del trabajo a gran altitud en orden a efectuar mediciones directas a distintas cotas de altitud, dada su influencia en el cálculo de la carga cardiovascular, y su estrecha relación con la aclimatación a la hipoxia hipobárica. De igual manera, es adecuado incorporar la medición de la SatO<sub>2</sub> y la percepción de intensidad de carga, Índice de Borg, cuando se estudie el comportamiento de la CCV en altitud.

Así es como la medición de la CFT a gran altura es un buen recurso para la planificación de intervenciones que permitan prevenir, controlar o mitigar el riesgo de fatiga, cansancio y trabajo pesado, a objeto de proteger la salud y el desempeño productivo y seguro de trabajadores en exposición a HIC.

**ABSTRACT:** Regulations have been established for the occupational exposition to physical loads from work, and chronic intermittent hypoxia (HIC). Also, it has been indicated to include the associated HIC risks to a security and health management system at work. Since physical workload (CFT) in HIC can condition risks of hard work and physical fatigue, it is considered appropriate to review the CFT effect at high altitude, between 3000 and 5500m of altitude, over the risks of hard work, which is why is proceeding to compile field studies about the aerobic capacity, measures of signs that allows assessing the % of Cardiovascular load (%CCV) used at great altitudes. The % CCV is estimated by cardiac frequencies (FC) at rest, maximum, and from work. The FC continuous monitoring and direct measures of the maximum aerobic capacity displays that the three FC of %CCV are modified in HIC is also displayed that when the work FC in altitude is over 110 heartbeats/minute there is major fatigue and hard work risk. Moreover, it was determined that aerobic capacity,  $VO_2$ max, measured at sea level is reduced in acclimated workers to HIC with a 7% reduction of maximum FC. This effect, known as physiological protective restraint, can be lost during a de-acclimation at sea level for more than 10 days. At the sight of a greater probability of hard work in HIC, interventions are proposed to prevent, control, and reduce fatigue risks, tiredness, and hard work that affects health, safe-conduct, and productivity. In conclusion, in chores at high altitudes, CFT can be assessed by measuring the %CCV based on data from the FC in rest, maximum and from work, in each height where work activities are performed, because the hypobaric hypoxia modifies the three components of that equation.

**KEY WORDS:** physical workload, intermittent chronic hypoxia, hard work.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Apud, E.; Gutiérrez, M.; Maureira, F.; Lagos, S.; Meyer, F. & Chiang, M. T. Guía para la Evaluación de Trabajos Pesados. Con especial referencia a sobrecarga física y ambiental. U de Concepción. Chile. 2002.
- Astrand, P. O.; Rodahl, K.; Dahl, H. & Stromme, S. Human Kinetics. Textbook of Work Physiology: Physiological Basis of Exercise. McGraw-Hill. USA. pag 508, 2003.
- Borg, G. A. Psychophysical bases of perceived exertion. *Med. Sci. Sports Exerc.* 14:377-381, 1982
- Calbet, L.; Boushel, R.; Rådegran, G.; Søndergaard, H.; Wagner, P. & Saltin, B. Why is  $VO_2$  max after altitude acclimatization still reduced despite normalization of arterial  $O_2$  content? *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.* 284(2):R304-16, 2003
- Camarda, S. R.; Tebexreni, A. S.; Páfaró, C. N.; Sasai, F. B.; Tambeiro, V. L.; Juliano, Y. & Barros, T. L. Comparison of maximal heart rate using the prediction equations proposed by Karvonen and Tanaka. *Arq Bras Cardiol.* 91(5):311-4, 2008.
- Ferretti, G.; Moia, C.; Thomet, J. M. & Kayser, B. The decrease of maximal oxygen consumption during hypoxia. *J. Physiol.*, 498(1):231-7, 1997,
- Gamboa, R. En El Reto Fisiológico de vivir en Los Andes. Editores: Carlos Monge. Fabiola León-Velarde. IFEA-UPCH, Lima, 2003.
- Instituto Nacional de Seguridad y del Trabajo (INSST). NTP 177: La carga física de trabajo: definición y evaluación. INSST, España. 1989. Disponible en: [https://www.insst.es/documents/94886/326801/ntp\\_177.pdf/83584437-a435-4f77-b708-b63aa80931d2](https://www.insst.es/documents/94886/326801/ntp_177.pdf/83584437-a435-4f77-b708-b63aa80931d2)
- Instituto Nacional de Seguridad y del Trabajo (INSST). NTP 295: Valoración de la carga física mediante la monitorización de la frecuencia cardiaca. INSST, España, 1992. Disponible en: [https://www.insst.es/documents/94886/327166/ntp\\_295.pdf/017dadae-4ce2-491d-97df-5852b365f39d](https://www.insst.es/documents/94886/327166/ntp_295.pdf/017dadae-4ce2-491d-97df-5852b365f39d)
- Instituto Nacional de Seguridad y del Trabajo (INSST). NTP 323. Determinación del metabolismo energético. INSST. España, 1997. Disponible en: [https://www.escuelaing.edu.co/uploads/laboratorios/198\\_ntp\\_323.pdf](https://www.escuelaing.edu.co/uploads/laboratorios/198_ntp_323.pdf)
- Jiménez, D. Trabajadores sobre 3000 metros de altura. Dónde la medicina de montaña y la salud ocupacional se encuentran. *Rev. Chil. Salud Pública*, 19(2):188-96, 2015.
- Levine, B. D. & Stray-Gundersen, J. Living high-training low: effect of moderate-altitude acclimatization with low-altitude training on performance. *J. Appl. Physiol.*, 83(1):102-12, 1997.
- Louhevaara, V. & Kilbom, A. Dynamic Work Assessment. En: Wilson J, Corlett N. Evaluation of Human Work. 3rd Edition: CRC Press, pag 440-449, 2005.
- Lundby, C. Exercise. High Altitude. Human adaptation to Hypoxia. Springer, USA, p.301-24, 2014.
- Ministerio de Salud (MINSAL). Guía Técnica sobre Exposición Ocupacional a Hipobaría Intermitente Crónica a Gran Altitud. 2013.
- Ministerio de Salud (MINSAL). Aprueba Reglamento sobre condiciones sanitarias y ambientales básicas en los lugares de trabajo. DS 594-28, 2019. Disponible en: <https://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=167766>
- Ministerio de Salud (MINSAL). Departamento de Salud Ocupacional. 2020. Disponible en: <https://dipol.minsal.cl/departamentos-2/salud-ocupacional/otros/>.
- Ministerio del Trabajo y Previsión Social de Chile (MINTRAB). Guía Técnica para Evaluación del Trabajo Pesado. Superintendencia de Pensiones, Universidad de Chile, Santiago. pág 335-400, 2010.
- National Aeronautics and Space Administration (NASA). U.S. Standard Atmosphere. Washington D.C. 1962. Disponible en: <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19630003300.pdf>
- Ochi, G.; Kanazawa, Y.; Hyodo, K.; Suwabe, K.; Shimizu, T.; Fukuie, T.; Byun, K. & Soya, H. Hypoxia-induced lowered executive function depends on arterial oxygen desaturation. *J. Physiol. Sci.*, 68(6):847-53, 2018
- Osorio, J. Ejercicio físico en el gimnasio más alto del mundo. III Jornadas de Red ALTMEDFIS Bogotá (Colombia) CYTED. Inst. Estudios de la Salud. U. Arturo Prat. 2015
- Richalet, J. P. & Herry, J. P. Medecine de montagne. Alpinisme et sports de montagne. Issy-les-Moulineaux. France. Elsevier Masson. pag 44-72, 2017.
- Richalet, J. P.; Kacimi, R. & Antezana, A. M. The Control of Cardiac Chronotropic Function in Hypobaric Hypoxia. *Int. J. Sports Med.*, 13(Suppl 1):S22-S24, 1992
- Smolander, J. & Louhevaara V. Muscular Work. In ILO

- Encyclopedia of Occupational Health and Safety. pag 29:30-1, 2011.
- Secher, N. H.; Seifert, T. & Van Lieshout, J. Cerebral blood flow and metabolism during exercise, implications for fatigue. *J. Appl. Physiol.*, 104(1):306–14, 2008.
- Trudeau, F. & Bouchard, D. Reproductibilité de la relation fréquence cardiaque—consommation d’oxygène. Études et Recherches, R-466. IRSST Institut de recherche en santé et en sécurité du travail. Quebec. Canada, 2007.
- Union Internationale des Association d’Alpinisme (UIAA). Work in Hypoxic Conditions. Consensus Statement of the UIAA Medical Commission, Berne, Switzerland, 2009.

Dirección para correspondencia:

Daniel Jiménez-Espinoza  
Médico asesor de proyectos en ambientes extremos  
Santiago  
CHILE

Email: [medicinadealtura@gmail.com](mailto:medicinadealtura@gmail.com)

Recibido: 10-12-19

Aceptado: 10-04-20