



Revista de la Universidad Industrial de  
Santander. Salud

ISSN: 0121-0807

saluduis@uis.edu.co

Universidad Industrial de Santander  
Colombia

Velásquez V., Juan C.

Tiempo máximo aceptable de trabajo para tareas ejecutadas con miembros superiores e  
inferiores

Revista de la Universidad Industrial de Santander. Salud, vol. 47, núm. 3, septiembre-  
diciembre, 2015, pp. 313-323

Universidad Industrial de Santander  
Bucaramanga, Colombia

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=343842287007>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica


Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

# Tiempo máximo aceptable de trabajo para tareas ejecutadas con miembros superiores e inferiores

## Maximum acceptable work time for the upper and lower limbs tasks

Juan C. Velásquez V.<sup>1,2</sup>

**Forma de citar:** Velásquez JC. Tiempo máximo aceptable de trabajo para tareas ejecutadas con miembros superiores e inferiores. Rev Univ Ind Santander Salud. 2015; 47(3): 313-323. DOI: <http://dx.doi.org/10.18273/revsal.v47n3-2015007> 

### RESUMEN

**Introducción:** La carga física de trabajo es uno de los principales factores de riesgo a los que se enfrentan los trabajadores. En la actualidad los métodos propuestos para evaluar la carga física dinámica contemplan el trabajo con todo el cuerpo y no discriminan por segmentos corporales. **Objetivo:** Determinar el tiempo máximo aceptable de trabajo cuando el trabajo se ejecuta con todo el cuerpo, con los miembros superiores o los miembros inferiores. **Métodos:** Se realizó medición de consumo de oxígeno mediante ergoespirometría y monitorización de la frecuencia cardíaca en 30 trabajadores expuestos a diversas cargas ejecutadas con todo el cuerpo, miembros inferiores y miembros superiores. Se determinó el umbral anaeróbico por coeficiente respiratorio, el cual sirvió de base para la determinación del tiempo máximo aceptable de trabajo. **Resultados:** Los tiempos máximos aceptables de trabajo fueron similares para tareas con todo el cuerpo y con miembros inferiores, pero significativamente menores para tareas realizadas con miembros superiores. Se halló un modelo de correlación exponencial negativo entre el tiempo de trabajo, el consumo de oxígeno, y la frecuencia cardíaca,  $R > 0,9$  en todos los casos. Se plantearon 9 ecuaciones de regresión para determinar el tiempo máximo aceptable de trabajo. **Conclusiones:** El tiempo máximo aceptable de trabajo para miembros inferiores y para todo el cuerpo se comportan de manera similar. El tiempo máximo aceptables de trabajo con miembros superiores es significativamente inferior a los anteriores. La frecuencia cardíaca relativa parece ser el mejor indicador para medir el tiempo máximo aceptables de trabajo en campo.

**Palabras Clave:** consumo de oxígeno, frecuencia cardíaca, carga física de trabajo, tiempo de trabajo aceptable, salud laboral.

1. Universidad del Valle. Cali, Colombia

2. Universidad del Rosario. Bogotá, Colombia

**Correspondencia:** Juan Carlos Velásquez V. **Dirección:** Avenida 5N 25N-39 Cali. Correo electrónico: [jcocup@gmail.com](mailto:jcocup@gmail.com). Teléfono: +57 2 39 35552.

## ABSTRACT

**Introduction:** The physical workload is one of the major risk factors for the workers. At present the proposed methods to assess physical dynamic work load contemplate working with the whole body and not discriminate on body segments. **Objective.** Determine the maximum acceptable dynamic work time when the work is with the whole body, with the upper and lower limbs. **Methods.** Oxygen consumption was measurement by ergospirometry and heart rate was monitoring in 30 workers exposed to various loads executed with the whole body, legs and upper limbs. Anaerobic threshold was determined by respiratory quotient, this was used by calculate the acceptable dynamic work time. **Results.** Statistically significant differences between acceptable dynamic work time for upper limbs and lower limbs were found. Negative exponential correlation model was found between the time the work load and the oxygen consumption and heart rate,  $R > 0.9$  in all cases. Nine regression equations were proposed to determine the acceptable dynamic work time. **Conclusions.** The acceptable dynamic work time for lower limbs and whole body is similar. The acceptable dynamic work time with upper limbs is significantly lower than the previous. The relative heart rate seems to be the best indicator to measure acceptable dynamic work time.

**Keywords:** oxygen up take, heart rate, work load, acceptable work time, occupational health.

## INTRODUCCIÓN

La carga física de trabajo puede ser medida durante el desarrollo de la actividad laboral a través de diferentes métodos como el consumo de oxígeno ( $VO_2$ ) o la frecuencia cardíaca (FC)<sup>1</sup>.

La FC es un muy buen estimador  $VO_2$ , y por tal razón del gasto energético del trabajo<sup>2</sup>. Es una variable fisiológica muy fácil de monitorizar y por lo tanto es frecuentemente utilizada para determinar la energía gastada en diferentes ámbitos y no solo en el laboratorio, es por lo tanto un método de gran aplicabilidad para la medición de la actividad física en el trabajo. La FC puede estar influenciada por el clima, el intercambio térmico y el estrés mental entre otros aspectos<sup>3,4</sup>.

La relación entre la FC y el  $VO_2$  ha sido ampliamente estudiada en las últimas décadas, sin embargo, se siguen realizando estudios específicos para reafirmar y validar la aplicabilidad de la FC como estimador del  $VO_2$  en diferentes condiciones y situaciones laborales.<sup>5</sup> Se ha documentado la relación prácticamente rectilínea entre la FC y el  $VO_2$  durante el trabajo de miembros inferiores y el de miembros superiores<sup>1,5-10</sup>. La frecuencia cardíaca relativa (FCR) y el consumo de oxígeno relativo ( $\%VO_{2R}$ ) permiten un cálculo más ajustado como respuesta a la carga de trabajo<sup>11</sup>. Diferentes estudios han establecido relaciones entre la frecuencia cardíaca relativa y el consumo de oxígeno relativo  $\%VO_{2R}$ . La proporción de frecuencia cardíaca de reserva  $\%FCR$  es equivalente a la proporción de consumo de oxígeno de reserva  $\%VO_{2R}$  y no a la proporción del consumo máximo de oxígeno  $\%VO_{2max}$ <sup>12</sup>. La frecuencia cardíaca relativa (FCR) y el consumo de oxígeno relativo ( $RVO_2$ ) son buenos indicadores de la respuesta

a la intensidad del trabajo<sup>9</sup>. El índice de costo cardíaco relativo se define como:

$$ICCR = ((FC \text{ trabajo} - FC \text{ reposo}) / ((FC \text{ máxima} - FC \text{ reposo}) * 100\%))$$

La acumulación de ácido láctico en la sangre pone una carga adicional sobre el sistema cardiovascular y causa un repentino incremento de la frecuencia cardíaca (FC), por lo tanto la FC es mayor (alrededor de 10 latidos por encima del estado estacionario) fenómeno que se relaciona con la aparición de la fatiga, este criterio ha sido aplicado para establecer cargas de trabajo aceptable<sup>13</sup>.

La carga de trabajo aceptable se define como el equilibrio entre la carga de trabajo físico y la capacidad respiratoria y cardiovascular<sup>14</sup>. Este concepto se puede aplicar para determinar el tiempo máximo aceptable de trabajo (TMAT), que se puede considerar como la cantidad máxima de tiempo durante el cual un individuo puede sostener una determinada carga de trabajo sin fatiga. Para población europea se recomendó que el 28%, 30.5%, 33% y 45 % del  $VO_2$  máx., fueran los límites de carga de trabajo que se debían aplicar a trabajos realizados durante 12, 10, 8 y 4 horas de duración. En trabajadores taiwaneses se recomendó el 28,5%, 31%, 34% y 43,5%, del  $VO_2$  máx para los mismos periodos de trabajo<sup>9</sup>. El límite de gasto energético acumulado o límite de carga física de trabajo se propuso como un indicador que tiene en cuenta la capacidad del individuo, el comportamiento de la actividad laboral y el tiempo de exposición diferentes a cargas físicas durante la jornada de trabajo. El límite de gasto energético acumulado permite, además de evaluar el riesgo por carga física-metabólica, aportar elementos

para el diseño del sistema de trabajo y el régimen de pausas. Estos cálculos deben considerar las exigencias del puesto, el tiempo de exposición a la carga y las capacidades físicas humanas. Tiene la ventaja de poder incorporar el costo metabólico de múltiples tareas realizadas durante la actividad laboral diaria<sup>15</sup>.

Estudios realizados en población colombiana muestran la utilidad de los métodos propuestos en la caracterización y análisis de la carga física de trabajo, así como la evaluación del impacto de las medidas de ingeniería usadas para el control de los mismos<sup>16-18</sup>.

Los anteriores indicadores están diseñados para trabajo que se realiza con todo el cuerpo, lo cual puede subestimar la carga cuando se emplean predominantemente miembros superiores o miembros inferiores. Por lo tanto se hace necesario saber si los anteriores criterios son adecuados para la población colombiana y cuál debe ser TMAT cuando el trabajo se realiza predominantemente con miembros superiores y miembros inferiores.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Población

Treinta individuos sanos, jóvenes (17 mujeres y 13 hombres) participaron en el estudio. Se aplicó el test de Par-Q como instrumento de selección de los individuos que podían participar en el estudio. A todos los individuos se les explicó un protocolo estandarizado y firmaron un consentimiento informado.

### Instrumentos

Se usó ergoespirómetro K4B2 *system*, Cosmed italiano, para medir el consumo de oxígeno, la producción de CO<sub>2</sub>, la tasa metabólica basal, la frecuencia respiratoria, la frecuencia cardíaca y el cociente respiratorio. El K4 *system* ha sido validado para medición del consumo de oxígeno y la frecuencia cardíaca en ejercicio<sup>19</sup>. Antes de cada ensayo se realizó la calibración del equipo para el análisis de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>, con mezcla de gases. Los datos fueron obtenidos en tiempo real, transmitidos y recepcionados en un equipo de computación portátil.

Se usó un cicloergómetro Monark de manivela para miembros superiores, un ciclo ergómetro Monark de pedales para miembros inferiores y una máquina elíptica para trabajo con todo el cuerpo, los instrumentos fueron calibrados antes de realizar el estudio.

### Prueba para consumo de oxígeno y frecuencia cardíaca

Se midió consumo de oxígeno y frecuencia cardíaca de reposo en una sala sin ruido (menor de 60 decibeles) y con una temperatura media del aire de 22 grados Celsius, +/- 1 grado Celsius. Se tuvo en cuenta la hora del día, el tiempo transcurrido desde la última ingesta, la calidad del sueño y la actividad física realizada 24 horas antes de la prueba.

Se aplicó protocolo para medición de consumo máximo de oxígeno teniendo como criterios que cada individuo alcanzara por lo menos el 90% de la frecuencia cardíaca máxima teórica (220-edad), un coeficiente respiratorio superior a 1,1; presencia de meseta en el máximo nivel de la pendiente sin un crecimiento aparente de la misma. El protocolo aplicado en miembros inferiores consistió en cargas crecientes de 50W de dos minutos de duración<sup>20</sup>. Se inició con una carga de 50W con una cadencia de 60 rpm. Este mismo protocolo se aplicó para cargas con todo el cuerpo en elíptica. Para miembros superiores se inició con una carga de 25W con incremento creciente de 25W y dos minutos de duración en cada carga y una cadencia de 60 rpm.

### Medición de tiempo máximo aceptable de trabajo TMAT

1. Se tomó la carga a la cual se obtuvo el VO<sub>2</sub> máximo o pico según el protocolo para miembros superiores y para miembros inferiores.
2. Se realizó el cálculo del 50%, 40%, 30% y 20% de la carga máxima obtenida para la prueba con miembros inferiores y miembros superiores.
3. Se sometió a cada individuo durante cuatro días consecutivos para miembros superiores y cuatro días consecutivos para miembros inferiores a cargas continuas de trabajo, hasta alcanzar un nivel considerado de riesgo, que se estableció mediante FC y/o coeficiente respiratorio y/o por decisión de suspensión de la prueba por sensación de fatiga en el individuo evaluado. Se dio un intervalo de descanso de dos días para las pruebas ejecutadas entre miembros superiores e inferiores.
4. Se sometió a cada individuo a las siguientes cargas para miembros superiores
  - a. Día uno 50% de la carga máxima en Watts.
  - b. Día dos 40% de la carga máxima en Watts.
  - c. Día tres 30% de la carga máxima en Watts.
  - d. Día cuatro 20% de la carga máxima en Watts.
5. Se dieron dos días de descanso según protocolo
6. Se sometió a cada individuo a las siguientes cargas

- para miembros inferiores
- Día siete 50% de la carga máxima en Watts.
  - Día ocho 40% de la carga máxima en Watts.
  - Días nueve 30% de la carga máxima en Watts.
  - Día diez 20% de la carga máxima en Watts
- Se dio un reposo a cada individuo en posición sedente, en una silla cómoda, por espacio de 10 minutos al completar una hora continua de carga.
  - Se realizó monitoreo continuo cada quince segundos del consumo de oxígeno y de la frecuencia cardiaca de la prueba.
  - Se suspendió la prueba cuando se cumplieron por lo menos uno de los siguientes tres criterios:
    - La frecuencia cardiaca fue superior en 10 latidos

- por minutos a la frecuencia cardiaca alcanzada en cada carga y esta frecuencia se mantuvo durante un periodo igual o superior a cinco minutos.
- Se llegó al umbral anaeróbico estimado mediante el coeficiente respiratorio igual o mayor que uno.
  - El individuo suspendió voluntariamente la prueba por sensación de fatiga o cansancio.
- Se midió el consumo de oxígeno específico en ml/kg min, la frecuencia cardiaca y el tiempo en minutos en el cual fue suspendida la prueba.
  - El tiempo en el cual fue suspendida la prueba se tomó como valor umbral límite para el tiempo máximo aceptable de exposición a la carga.

Figura 1. Esquema grupo de experimentos.

Criterios de prueba máxima	Variables controladas	Respuestas / individuo	Modelos estadísticos
<div><ul style="list-style-type: none"><li>FC ≥ estado estacionario para la carga + 10 latidos / min</li><li>Coeficiente respiratorio &gt;1,1</li><li>Sensación de fatiga</li></ul></div>	<div><u>Categorías</u><ul style="list-style-type: none"><li>Género: fem, masc</li><li>Tipo de trabajo:<ul style="list-style-type: none"><li>Solo mmss</li><li>Solo mmii</li></ul></li></ul><u>Continuas</u><ul style="list-style-type: none"><li>Carga de trabajo 50%, 40%, 30% y 20% de la Carga máx individual</li></ul></div>	<div><u>Al parar cada prueba</u> VO<sub>2</sub> FC tiempo trabajado (TMAT)</div>	<div>Regresiones y correlaciones entre TMAT y<ul style="list-style-type: none"><li>%VO<sub>2</sub>max</li><li>VO<sub>2</sub>R%</li><li>ICCT</li></ul>para cada combinación de variables categóricas</div>

La información recolectada fue diligenciada y almacenada en una base de datos Excel. Para el análisis estadístico de los datos se usó el paquete estadístico SPSS versión 13.0. Inicialmente se hizo un análisis exploratorio de cada una de las variables incluidas en el estudio para observar posibles inconsistencias y datos faltantes. En el análisis univariado se utilizaron estadísticos descriptivos como promedio aritmético, mediana, percentiles y desviación estándar para variables numéricas.

Para el análisis bivariado se utilizaron pruebas de significación estadística paramétricas t de Student, prueba z, según cumplimiento de los criterios para su aplicación. Se usó la prueba de Shapiro-Wilk y se evaluó la homocedasticidad. Se estableció a priori un nivel de

significación estadística  $\alpha=0,05$ . Un valor p menor de 0.05 fue considerado como diferencia estadísticamente significativo.

## RESULTADOS

La edad media de la población fue de  $24 \pm 3,7$  años, en un rango entre 22 y 37 años, no se encontraron diferencias estadísticas entre las edades de los hombres y las mujeres. La talla de los sujetos de estudio estuvo entre 157 y 181cm, la media para las mujeres resultó ser  $165,3 \pm 4,5$  cm y para los hombres  $173,4 \pm 5,0$  cm. se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre ambos géneros ( $p=0,000$ ). El peso corporal medio de los participantes fue de  $65,8 \pm 7,7$  Kg. La diferencia entre sexos no resultó estadísticamente significativa ( $p= 0,1$ )

El consumo máximo de oxígeno estuvo comprendido entre 20.5 – 41.2 ml/kg-min con una media de 30.4 (+/- 5.5 ml/kg-min). El consumo pico de oxígeno de miembros superiores estuvo entre 13.6 – 27.9 ml/kg-min con una media 21.03 (+/- 4.2 ml/kg –min) y el consumo de pico de

oxígeno de miembros inferiores estuvo comprendido entre 218.9 – 36.3 ml/kg-min con una media de 26.3 (+/- 4.6 ml/kg-min). Se encontraron diferencias estadísticamente significativa entre el consumo de oxígeno de miembros superiores y miembros inferiores (p=0.000). **Tabla 1.**

**Tabla 1.** Valores del VO<sub>2</sub> máximo del trabajo con cuerpo entero, solo con miembros inferiores y solo con miembros superiores

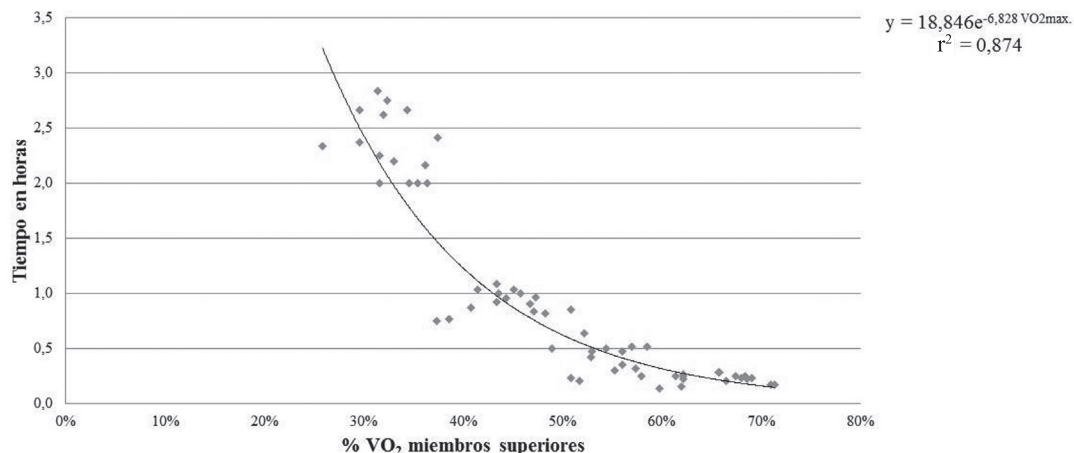
Estadígrafo	VO <sub>2</sub> Máximo								
	Todos			Hombres			Mujeres		
	CuerpEnt	MInf	MSup	CuerpEnt	MInf	MSup	CuerpEnt	MInf	MSup
Media	30,5	26,4	21,1	34,9	29,9	24,7	27,1	23,7	18,3
Desvest	5,6	4,6	4,1	4,5	4,1	2,7	3,6	2,9	2,5

p=000

### Relación entre tiempo máximo aceptable de trabajo, consumo de oxígeno e índice de costo cardiaco relativo, para tares desarrolladas con miembros superiores.

Se observó que los tiempos de trabajo aceptable varían de acuerdo a la carga suministrada, en la medida que se incrementa la carga de trabajo el tiempo máximo aceptable disminuye exponencialmente.

Las ecuaciones que explican este comportamiento muestran una alta correlación (r) entre las variables, adicionalmente se evidenció una diferencia significativa entre hombres y mujeres, ambos géneros presentaron un comportamiento similar en la forma de la curva de correlación. Adicionalmente se observó mayor grado de dispersión en las cargas más bajas de trabajo (20 – 30%) de la carga máxima. **Figuras 1 y 2.**



**Figura 2.** Tiempo máximo aceptable en horas en función del VO<sub>2</sub>R de miembros superiores.

Cuando se compara en tiempo de trabajo máximo aceptable de trabajo obtenido mediante la proporción de consumo de oxígeno de reserva %VO<sub>2</sub>R y el índice de costo cardiaco relativo con el tiempo obtenido mediante el porcentaje de consumo máximo de oxígeno, se evidencia que para las dos primeras variables (%VO<sub>2</sub>R e ICCR) el TMAT es más restrictivo, es decir que los tiempos máximos de trabajo aceptables fueron mayores cuando la carga se cuantificó con el %VO<sub>2</sub>max. Mientras que los tiempos máximos de trabajo aceptable fueron menores cuando se utiliza el ICCR y el %VO<sub>2</sub>R. **Tabla 2.**

Se evidenció un compromiso mayor en la proporción de consumo de oxígeno de reserva %VO<sub>2</sub>R y en la frecuencia cardiaca cuando el trabajo se realiza con miembros superiores comparado con el trabajo que se realiza con miembros inferiores y cuerpo entero.

Por otro lado se observó que la relación entre los tiempos máximos de trabajo aceptables y el índice de costo cardiaco relativo son similares a los obtenidos con proporción de consumo de oxígeno de reserva %VO<sub>2</sub>R.



**Tabla 2.** Relación entre tiempo máximo aceptable de trabajo consumo de oxígeno e índice de costo cardiaco relativo –ICCR. Trabajo con miembros superiores.

TMAT min	% VO <sub>2</sub> máx.				%VO <sub>2</sub> R				ICCR			
	50%	40%	30%	20%	50%	40%	30%	20%	50%	40%	30%	20%
TMAT global	38	74	147	290	20	34	57	97	19	32	55	96
TMAT Hombres	43	84	167	329	25	44	78	138	30	53	93	164
TMAT Mujeres	33	66	132	266	14,5	26	45,5	88,5	18	31	53	93

Los modelos obtenidos de la relación entre TMAT y % VO<sub>2</sub>max., %VO<sub>2</sub>R y el ICCR con miembros superiores fueron de tipo exponencial con una alta correlación negativa que se explican por las siguientes formulas.

#### Proporción del consumo máximo de oxígeno % VO<sub>2</sub>max

- (1).  $TMAT\ mmss = 1130.7e^{-0.068\%VO_{2max}}$   $r = 0.93$   
 (2).  $TMAT\ hombres\ mmss = 1282.8e^{-0.068\%VO_{2max}}$   $r = 0.97$   
 (3).  $TMAT\ mujeres\ mmss = 1080.7e^{-0.068\%VO_{2max}}$   $r = 0.91$

#### Proporción de consumo de oxígeno de reserva % VO<sub>2</sub>R

- (4).  $TMAT\ mmss = 280.8e^{-0.052\%VO_{2R}}$   $r = 0.90$   
 (5).  $TMAT\ hombres\ mmss = 431.72e^{-0.057\%VO_{2R}}$   $r = 0.95$   
 (6).  $TMAT\ mujeres\ mmss = 252e^{-0.057\%VO_{2R}}$   $r = 0.94$

#### Índice de costo cardiaco relativo

- (7).  $TMAT\ mmss = 278.4e^{-0.055ICCR}$   $r = 0.92$   
 (8).  $TMAT\ hombres\ mmss = 501.2e^{-0.056ICCR}$   $r = 0.96$   
 (9).  $TMAT\ mujeres\ mmss = 287.1e^{-0.055ICCR}$   $r = 0.93$

Se estimaron los límites para la carga física de trabajo en relación con el tiempo de exposición a la carga, el consumo de oxígeno y el índice de costo cardiaco relativo. **Tabla 3.**

**Tabla 3.** Límites de carga física de trabajo sugeridos para la población de estudio según tiempo de exposición en función de los miembros superiores.

Tiempo de trabajo (horas)	% VO <sub>2</sub> máx	%VO <sub>2</sub> R	ICCR
4	23	-	-
2	33	15	15
1	43	30	30
0.5	52	44	40
0.3	60	50	50

El índice de costo cardiaco relativo es mejor estimador del TMAT, pues es equivalente a la proporción de consumo de oxígeno de reserva %VO<sub>2</sub>R y ambos (FC y %VO<sub>2</sub>R) deben ser usados para el cálculo del tiempo máximo aceptable de trabajo por su alto nivel de correlación alcanzando ( $r=0.999$ ) con este (TMAT).

#### Relación entre tiempo máximo aceptable de trabajo, consumo de oxígeno e índice de costo cardiaco relativo, para tares desarrolladas con miembros inferiores.

La relación entre TMAT y carga de trabajo físico se obtuvo por análisis de regresión. Se observó una disminución de tipo exponencial en el tiempo máximo aceptable de trabajo a medida que aumenta la carga de trabajo.

En todos los casos al cruzar la variable tiempo máximo aceptable de trabajo con el porcentaje de consumo máximo de oxígeno VO<sub>2</sub>max, la proporción de consumo de oxígeno de reserva %VO<sub>2</sub>R y el índice de costo cardiaco relativo (ICCR) se obtuvo un modelo exponencial con una tendencia negativa, con un coeficiente de determinación elevado, ligeramente mayor que el obtenido a partir del % VO<sub>2</sub> máximo, con una diferencia estadísticamente significativa ( $p=0.000$ ). Se observó al igual que con los miembros superiores, una disminución en el tiempo máximo aceptable de trabajo a medida que el % VO<sub>2</sub> máximo, %VO<sub>2</sub>R y el ICCR se va incrementando.

Al separar los resultados de acuerdo al sexo, se observa un comportamiento muy similar al de los datos mixtos, con poca variación en los coeficientes de determinación.

Se pudo establecer como ocurrió con el comportamiento observado con los miembros superiores que la relación entre los tiempos máximos aceptables de trabajo y el índice de costo cardiaco relativo son similares a los obtenidos con la proporción de consumo de oxígeno de reserva %VO<sub>2</sub>R, cuando el trabajo se realiza con miembros inferiores. **Tabla 4.**

**Tabla 4.** Relación entre Tiempo máximo aceptable de trabajo consumo de oxígeno e índice de costo cardiaco relativo –ICCR. Trabajo con miembros inferiores.

TMAT en minutos	% VO <sub>2</sub> max.				%VO <sub>2</sub> R				ICCR			
	50%	40%	30%	20%	50%	40%	30%	20%	50%	40%	30%	20%
TMAT global	170	330	660	1300	100	190	330	600	100	1850	330	600
TMAT Hombres	180	350	670	1270	120	220	385	680	150	250	430	730
TMAT Mujeres	140	300	670	1470	70	140	180	545	90	170	320	615

Se obtuvieron los modelos de predicción del tiempo máximo aceptable de trabajo para miembros inferiores que se explican por las siguientes formulas en función de:

**TMAT y proporción del consumo máximo de oxígeno % VO<sub>2</sub>max .**

- (10).  $TMAT\ mmii = 5082.8e^{-6.81\%VO_{2max}}$   $r = 0.93$   
 (11).  $TMAT\ hombres\ mmii = 4615.5e^{-6.445\%VO_{2max}}$   $r = 0.98$   
 (12).  $TMAT\ mujeres\ mmii = 7058.1e^{-7.839\%VO_{2max}}$   $r = 0.94$

**TMAT y proporción de consumo de oxígeno de reserva %VO<sub>2</sub>R.**

- (13).  $TMAT\ mmii = 1980.8e^{-5.921\%VO_{2R}}$   $r = 0.93$   
 (14).  $TMAT\ hombres\ mmii = 2154.3e^{-5.743\%VO_{2R}}$   $r = 0.99$   
 (15).  $TMAT\ mujeres\ mmii = 2085e^{-6.712\%VO_{2R}}$   $r = 0.96$

**TMAT e índice de costo cardiaco relativo ICCR.**

- (16).  $TMAT\ mmii = 1980.8e^{-5.921ICCR}$   $r = 0.93$   
 (17).  $TMAT\ hombres\ mmii = 2116.2e^{-5.34ICCR}$   $r = 0.98$   
 (18).  $TMAT\ mujeres\ mmii = 2253.1e^{-6.484ICCR}$   $r = 0.95$

Los anteriores hallazgos permitieron calcular para la población objeto de estudio los tiempos máximos aceptables de trabajo en horas. Tabla 5

**Tabla 5.** Límites de carga física de trabajo sugeridos para la población de estudio trabajo realizado con miembros inferiores según tiempo de exposición.

Tiempo de trabajo (horas)	% VO2 máx.	%VO2R	ICCR
12	19	9	10
8	33	23	24
4	46.8	38	40

## DISCUSIÓN

El VO<sub>2</sub> pico de miembros superiores estuvo comprendido entre 13.6 ml/kg/min y 27.9 ml/kg/min, con una media de 21.03 (+/- 4.2) ml/kg/min, se encontraron diferencias significativas entre hombres y mujeres (p=0.000); el VO<sub>2</sub> pico obtenido para miembros inferiores estuvo comprendido entre 18.9 ml/kg/min y 36.3 ml/kg/min, con una media de 26.3 (+/- 4.6) ml/kg/min. Se presentaron diferencias significativas entre hombres y mujeres (p=0.000); el VO<sub>2</sub> máximo estuvo comprendido entre 20.5 ml/kg/min y 41.2 ml/kg/min, con una media de 30.4 (+/- 5.5) ml/kg/min. Se hallaron diferencias entre hombres y mujeres (p=0.000). Resultados similares fueron reportados por Astrand<sup>1</sup>, Hagerman<sup>21</sup> Hoffman<sup>22</sup>.

Se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre hombres y mujeres en las siguientes variables % VO<sub>2</sub>max, el %VO<sub>2</sub>R, el ICCR y el TAMT. Resultados similares fueron documentados por Wu et al<sup>9</sup>.

Los tiempos máximos aceptables de trabajo obtenidos en el cicloergometro para miembros inferiores y con carga para todo el cuerpo tienen un comportamiento similar. El tiempo máximo aceptable de trabajo fue mucho menor cuando el trabajo se realiza con miembros superiores. Los hallazgos que correlacionan el VO<sub>2</sub>max%, el %VO<sub>2</sub>R y el ICCR con el TAMT, tuvieron un comportamiento similar a los documentados en los modelos de predicción de Wu et al<sup>9</sup> y Rodgers et al<sup>14</sup>, como se puede apreciar en la tabla 6.

No se pudieron comparar los resultados obtenidos con miembros superiores con otros estudios, puesto que no se encontró en la revisión realizada en la presente investigación estudios que documentaran tal relación.



**Tabla 6.** Límites de carga de trabajo sugeridos para jornadas laborales de 12, 8 y 4 horas con todo el cuerpo – miembros inferiores.

Tiempo de trabajo en horas	Población colombiana edad media 24 años			Población taiwanesa edad media 26 años.			Población europea, edad media 26 años.
	% VO <sub>2</sub> máx.	%VO <sub>2</sub> R	ICCR	% VO <sub>2</sub> máx.	%VO <sub>2</sub> R	ICCR	% VO <sub>2</sub> máx.
12	18,6	9,3	10,4	28,5	18	16	28
8	33	22,7	24,6	34	24,5	24,5	33
4	46,8	37,8	40,4	43,5	35,5	39	45

Al comparar los datos de límites de carga y TMAAT encontrados a partir del presente estudio con los de los dos estudios anteriores se observa que para una jornada de 12 horas los límites de carga expresados en términos de VO<sub>2</sub> máx., %VO<sub>2</sub>R e ICCR fueron menores que los arrojados por el estudio de los taiwaneses y en población europea<sup>9,13</sup>. Esta diferencia se reduce para las 8 horas de trabajo, en la que se obtiene un % VO<sub>2</sub> máx. igual al reportado en el estudio de los europeos y muy similar al de los taiwaneses. Del mismo modo, los datos de la ICCR y el %VO<sub>2</sub>R son muy cercanos a los del estudio de Wu y Wang. Ahora bien, para jornadas laborales más cortas, en este caso de 4 horas, los participantes del estudio actual mostraron resultados cercanos pero superiores a los de los sujetos de los otros estudios. Lo anterior puede sugerir que los participantes del estudio colombiano tienen menor tolerancia a jornadas extensas, pero mayor a las jornadas más cortas cuando las actividades se realizan con los miembros inferiores o con todo el cuerpo. Por lo que sería necesario administrar más tiempos de recuperación o buscar otras alternativas para prevenir la presencia de fatiga durante jornadas laborales extensas.

Los resultados mostraron que el TMAAT se correlacionó significativamente con las variables (%VO<sub>2</sub>máx, ICCR, %VO<sub>2</sub>R) en un modelo de correlación exponencial. Cada uno de los resultados mostró alto grado de correlación en cada una de las variables, con un coeficiente de correlación por encima del 73%, especialmente el %VO<sub>2</sub>R y el ICCR donde fue superior al 90%.

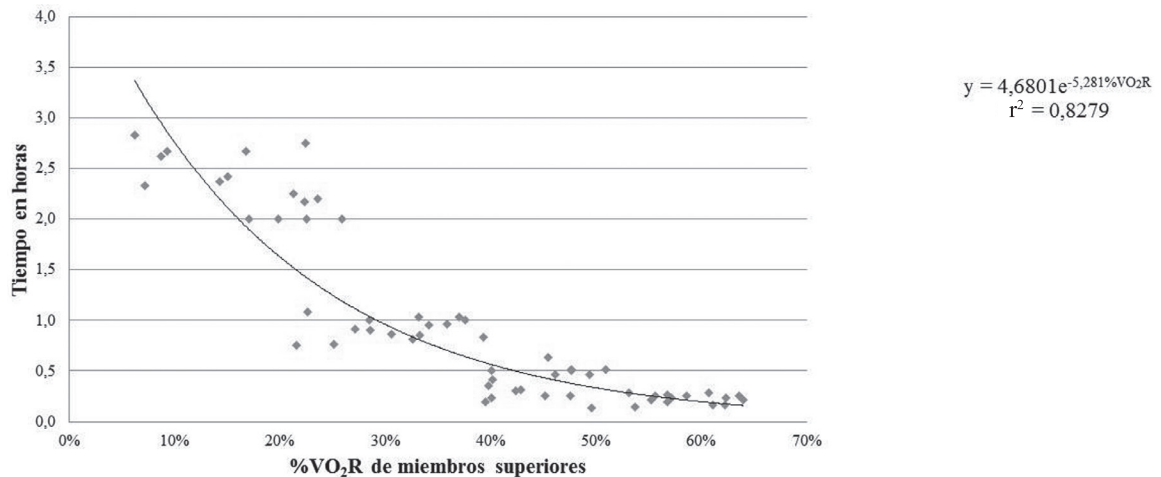
Los hallazgos determinaron que el tiempo máximo aceptable de trabajo tendió a disminuir de manera exponencial en todas las variables estudiadas, incluyendo el género. Se observó mayor grado de dispersión en las cargas menores, donde el consumo de oxígeno y frecuencia cardiaca variaron rápidamente, mientras que en las cargas mayores, la variación del consumo de oxígeno y frecuencia cardiaca fue menor.

Se observaron diferencias en los resultados en el tiempo máximo aceptable de trabajo cuando este se ejecuta con miembros superiores que pueden ser explicadas por el mayor compromiso que existe en la proporción de consumo de oxígeno de reserva %VO<sub>2</sub>R con un incremento equivalente en el índice de costo cardiaco relativo cuando se trabajó con miembros superiores en comparación con el trabajo que se realiza con todo el cuerpo miembros inferiores, hallazgos similares habían sido previamente documentados<sup>1</sup>.

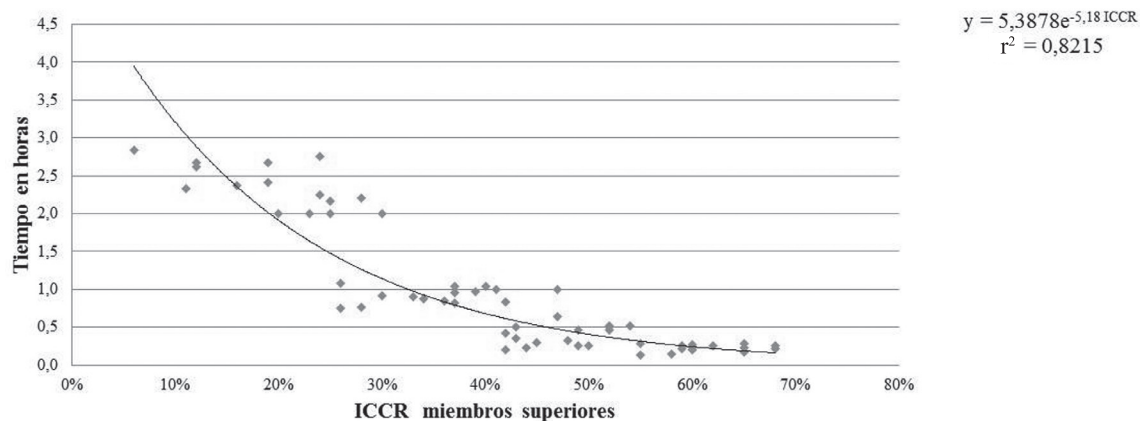
Al parecer no se han documentado estudios que muestren la relación entre el % VO<sub>2</sub>max, el %VO<sub>2</sub>R, el ICCR y el TMAAT en miembros superiores. Este estudio muestra que el tiempo máximo aceptable de trabajo para trabajo realizado con miembros superiores es menor que el TMAAT obtenido para cargas con todo el cuerpo o miembros inferiores, como se aprecia en la siguiente tabla y graficas de correlación del TMAAT con el % VO<sub>2</sub>max, el %VO<sub>2</sub>R, el ICCR. Tabla 7 Figuras 2, 3 y 4.

**Tabla 7.** Relación entre tiempo máximo aceptable y % del VO<sub>2</sub> máximo, %VO<sub>2</sub>R e ICCR con miembros superiores y miembros inferiores

	% VO <sub>2</sub> max.			%VO <sub>2</sub> R			ICCR		
	50	40	30	50	40	30	50	40	30
TMAAT Miembros superiores en horas	0,5	1	2	0,2	0,4	0,7	0,25	0,5	1
TMAAT Miembros inferiores en horas	3	6	8	2	4	6	2	4	6



**Figura 3.** Tiempo máximo aceptable en horas en función del índice de costo cardíaco relativo. Trabajo con miembros superiores.



**Figura 4.** Tiempo máximo aceptable en horas en función del índice de costo cardíaco relativo. Trabajo con miembros superiores

## CONCLUSIONES

Las características comunes de los nueve modelos pueden resumirse como:

1. En la medida que se aumenta la carga física de trabajo se observa una disminución continua en el TMAT.
2. Con un aumento en la carga de trabajo físico, el TMAT disminuyó rápidamente de una manera exponencial, aspecto que debe considerarse en el diseño del trabajo.
3. TMAT se acercó a cero a medida que la carga de trabajo físico se hizo muy pesada, %VO<sub>2</sub>, %VO<sub>2</sub>R e ICCR igual o superior a 75%.
4. El TMAT con cargas de trabajo físico para miembros inferiores y para todo el cuerpo se comportan de manera similar.
5. El TMAT con miembros superiores es significativamente inferior a cargas similares de trabajo para miembros inferiores y para todo el

cuerpo, aspecto que debe ser tenido en cuenta en trabajo donde se usan con mucha frecuencia o predominantemente los miembros superiores.

6. La frecuencia cardíaca relativa (ICCR) parece ser un muy buen estimador del TMAT. Este indicador permite de manera sencilla y práctica monitorizar el trabajo y definir tiempos máximos aceptables de trabajo para trabajos realizados con todo el cuerpo, miembros inferiores y miembros superiores.

El índice de costo cardíaco relativo parece ser el mejor indicador para evaluar la relación entre la capacidad de trabajo físico, la carga de trabajo y el tiempo máximo aceptable de trabajo con miembros superiores e inferiores debido a su bajo costo, sencillez para la medición y sensibilidad, puesto que además de evaluar la respuesta metabólica al trabajo tiene la capacidad de responder a las variaciones ambientales como la temperatura, el ruido o incluso el estrés mental. Así las cosas se concluye que la frecuencia cardíaca y la relación entre el índice de costo cardíaco relativo y el tiempo

máximo aceptable de trabajo son una herramienta sencilla y económica para la vigilancia de la respuesta fisiológica en el trabajo físico especialmente el trabajo dinámico.

## RECOMENDACIONES

La relación obtenida entre TMAT y carga de trabajo físico se puede utilizar para vigilar la duración del trabajo muscular dinámico realizado con miembros superiores o miembros inferiores. Esta es una técnica complicada si se usa el consumo de oxígeno como indicador y se quiere extrapolar el estudio a labores específicas en las empresas, puesto que entre más variada la tarea mayores mediciones de consumo de oxígeno deben realizarse, lo cual lo hace además de complejo costoso. Este estudio evidenció que el ICCR se puede tomar como indicador de la carga ya que tiene una muy buena correlación con el  $\%VO_2R$  y es una técnica mucho más económica sencilla de realizar y ofrece datos sensibles sobre la magnitud del esfuerzo cardiovascular.

Para el diseño del sistema de trabajo descanso con miembros superiores, cuando el trabajador alcanza el 30% del  $\%VO_2R$  o del ICCR lo recomendable sería prescribir una pausa de descanso antes de alcanzar cada hora de trabajo. Por otro lado si estos indicadores alcanzan el 50% el tiempo de trabajo se debe limitar a unos pocos minutos (20 min) tiempo a partir del cual obligatoriamente debería prescribirse una pausa de descanso. Por el contrario si el  $\%VO_2R$  o el ICCR es el 15% y el  $\%VO_2$  máx. es del 33% se podrían trabajar sin interrupción aproximadamente 2 horas. Los anteriores datos muestran que por muy baja que sea la carga siempre se debe prescribir una pausa antes de las dos horas de trabajo si este se ejecuta predominantemente con miembros superiores.

Se requiere seguir profundizando en el comportamiento del consumo de oxígeno y la frecuencia cardiaca en miembros superiores en trabajos específicos donde solo se usen las manos o los dedos, puesto que esta investigación no logró medir la respuesta específica de estos segmentos corporales.

## AGRADECIMIENTOS

El autor agradece al doctor Silvio Juan Viña Brito a la doctora Aida G Rodríguez Hernández, y a la empresa Ergos Health S.A.S por su valiosa contribución a este estudio.

## REFERENCIAS

1. Astrand PO, Saltin, B. Maximal oxygen uptake and heart rate in various types of muscular activity. *J Appl Physiol.* 1961; 16(6): 977-981.
2. Becker TJ, Morrill JM, Stamper EE. Applications of Work Physiology Science to Capacity Test Prediction of Full-Time Work Eight Hour Work Day. *The Rehab Profess.* 2008; 15(4): 45-56.
3. Malchaire J, Kampmann B, Havenith G, Mehnert P, Gebhardt HJ. Criteria for estimating acceptable exposure times in hot working environments: a review. *Int Arch Occup Environ Health.* 2000; 73(4): 215-220.
4. Garatachea Vallejo N, García Lopez D, De Paz Fernandez JA. Diferentes modelos de regresión para describir la relación entre  $VO_2$ -FC para estimar el  $VO_2$  a diferente intensidad de esfuerzo. *CCD.* 2005; 3(1): 131-135.
5. Kaudewitz Hart R. Work standard assessment using heart rate monitoring. *Iie Solutions.* 1998; 30(9): 36-43.
6. Lehmann G. Fisiología Practica del Trabajo. Madrid: Editorial Aguilar, 1960.
7. Swain DP, Leutholtz BC. Heart rate reserve is equivalent to  $\%VO_2$  Reserve, not to  $\%VO_2$  max. *Med Sci Sports Exerc.* 1997; 29(3): 410-414.
8. Smolander J, Aminoff T, Korhonen I, Tervo M, Shen N, Korhonen O, et al. Heart rate and blood pressure responses to isometric exercise in young and older men. *Eur J Appl Physiol.* 1998; 77(5): 439-444.
9. Wu HC, Wang MJ. Relationship between maximum acceptable work time and physical workload. *Ergonomics.* 2002; 45(4): 280-289.
10. Asmussen E, Hemmingsen I. Determination of maximum working capacity at different ages in work with the legs or with the arms. *Scand J Clin Lab Invest.* 1958; 10(1): 67-71.
11. Saha PN, Datta SR, Banerjee PK, Narayane GG. An acceptable workload for Indian worker. *Ergonomics.* 1979; 22(9): 1059-1071.
12. Graves JE, Pollock ML, Carroll JF. Exercise, age, and skeletal muscle function. *South Med J.* 1994; 87(5): 17-22.
13. Rodgers SH, Kenworth DA, Eggleton EM. Ergonomic design for people at work, vol. 2. Van Nostrand Reinhold, Eastman Kodak Co. 1986.
14. Aminoff T, Smolander J, Korhonen O, Louhevaara V. Prediction of acceptable physical work loads based on Responses to prolonged arm and leg exercise. *Ergonomics.* 1998; 41(1): 109-120.

15. Viña Brito S, Gregori Torada E. Ergonomía. La Habana: C y E, 1987.
16. Velásquez JC, Cornejo R, Ospina N. Carga física en trabajadores de un cultivo florícola de Suesca, Cundinamarca. Moment Cienc. 2011; 8(1): 64-72.
17. Velásquez JC, Guzman N. Efecto de una intervención tecnológica sobre la carga física durante el proceso de coquización en una empresa de Colombia. Moment Cienc. 2013; 10(2): 117-123.
18. Ariza LH, Idrovo AJ. Carga física y tiempo máximo aceptable de trabajo en trabajadores de un supermercado en Cali, Colombia. Rev Salud Pública. 2005; 7(2): 145 -156.
19. Hausswirth C, Bigard AX, Le Chevalier JM. The cosmed K4 telemetry system as an accurate device for oxygen uptake measurements during exercise. Int J Sports Med. 1997; 18(6): 449-453.
20. Maidorn K, Mellerowics H. Untersuchungen zur bestimmung des maximalen Sauerstoff pulses bei ergometrisches Leistung. Sportarzt Sportmediz. 1962; 16: 355-359.
21. Hagerman FC, Lawrence RA, Mansfield MC. A comparison of energy expenditure during rowing and cycling ergometry. Med Sci Sports Exerc. 1988; 20(5): 479-488.
22. Hoffman MD, Kassay KM, Zeni AI, Clifford PS. Does the amount of exercising muscle alter the aerobic demand of dynamic exercise?. Eur J Appl Occup Physiol. 1996; 74(6): 541-547.