

**TIEMPO MÁXIMO ACEPTABLE EN FUNCIÓN DEL PORCENTAJE DE CARGA
CUANDO EL TRABAJO SE REALIZA PREDOMINANTEMENTE CON
MIEMBROS INFERIORES EN UN GRUPO DE TRABAJADORES
COLOMBIANOS RESIDENTES EN LA CIUDAD DE CALI**

LUISA MARÍA ORTIZ ESCOBAR

1004284

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE SALUD
ESCUELA DE SALUD PÚBLICA
MAESTRÍA EN SALUD OCUPACIONAL
SANTIAGO DE CALI
2014**

**TIEMPO MÁXIMO ACEPTABLE EN FUNCIÓN DEL PORCENTAJE DE CARGA
CUANDO EL TRABAJO SE REALIZA PREDOMINANTEMENTE CON
MIEMBROS INFERIORES EN UN GRUPO DE TRABAJADORES
COLOMBIANOS RESIDENTES EN LA CIUDAD DE CALI**

LUISA MARÍA ORTIZ ESCOBAR

1004284

**PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE MAGISTER
EN SALUD OCUPACIONAL**

TUTOR:

JUAN CARLOS VELÁSQUEZ VALENCIA

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE SALUD
ESCUELA DE SALUD PÚBLICA
MAESTRÍA EN SALUD OCUPACIONAL
SANTIAGO DE CALI
2014**

Nota de aceptación

Firma del Presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Santiago de Cali, Julio de 2014.

CONTENIDO

	pág.
RESUMEN	12
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	14
2. ESTADO DEL ARTE	22
2.1 ESTUDIOS QUE VALIDAN EL USO DE LA FRECUENCIA CARDIACA COMO INDICADOR DEL CONSUMO DE OXÍGENO	27
2.2 ESTUDIOS DE TIEMPO MÁXIMO DE TRABAJO ACEPTABLE	30
2.2.1 Nacionales	31
3. MARCO TEÓRICO	33
3.1 ERGONOMÍA	33
3.1.1 Definición	33
3.1.2 Dominios de la ergonomía	35
3.1.2.1 Ergonomía Organizacional	35
3.1.2.2 Ergonomía Cognitiva	35
3.1.2.3 Ergonomía Física	36
3.2 ANTROPOMETRÍA	36
3.3 ENFOQUES DE LA ERGONOMÍA	37
3.3.1 Enfoque Biomecánico	37
3.3.2 Enfoque Psicofísico	37
3.3.3 Enfoque Fisiológico	38
3.4 FATIGA	38
3.4.1 Fatiga muscular localizada	39

3.4.2	Fatiga de cuerpo entero	39
3.5	CAPACIDAD DE TRABAJO FÍSICO	40
3.6	CAPACIDAD AERÓBICA	40
3.7	CARGA FÍSICA DE TRABAJO	41
3.7.1	Medición de la Carga Física de Trabajo	41
3.7.2	Consumo de oxígeno como indicador de trabajo físico	42
3.7.3	Frecuencia cardiaca como indicador de carga física	42
3.7.3.1	Frecuencia cardiaca de reserva	43
3.8	TIEMPO MÁXIMO DE TRABAJO ACEPTABLE (TMTA)	44
3.9	MODELO TEÓRICO	45
3.10	MARCO LEGAL	49
4.	OBJETIVOS	52
4.1	Objetivo general	52
4.2	Objetivos específicos	52
5.	METODOLOGÍA	53
5.1	TIPO DE ESTUDIO	53
5.2	ÁREA DE ESTUDIO	53
5.3	POBLACIÓN Y MUESTRA	53
5.3.1	Población de estudio	53
5.3.2	Tamaño de muestra	53
5.3.3	Muestreo	54
5.3.4	Criterios de Inclusión.	55
5.3.5	Criterios de Exclusión.	55
5.3.6	Criterios de Eliminación.	55
5.4	VARIABLES	56
5.5	RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	62
5.5.1	Instrumentos de recolección de la información y equipos de medición	62

5.5.1.1	Instrumento para verificar la aptitud del posible participante para las pruebas físicas	62
5.5.1.2	Formato de Chequeo Físico (Anexo 2)	63
5.5.1.3	Formato de recolección de datos antropométricos y fisiológicos	63
5.5.1.4	Formato de recolección de datos de Tiempo Máximo de Trabajo Aceptable para trabajo con Miembros Inferiores	65
6.	PROCEDIMIENTO	66
7.	CONSIDERACIONES ÉTICAS	69
8.	RESULTADOS	71
8.1	ANÁLISIS UNIVARIABLE	71
8.2	ANÁLISIS BIVARIADO	80
9.	DISCUSIÓN	99
10.	CONCLUSIONES	107
11.	LIMITACIONES DEL ESTUDIO	111
12.	RECOMENDACIONES	112
	BIBLIOGRAFÍA	113
	ANEXOS	121
	ANEXO 1: INSTRUMENTO PARA VERIFICAR LA APTITUD DEL POSIBLE PARTICIPANTE PARA LAS PRUEBAS FÍSICAS	121
	ANEXO 2: FORMATO CHEQUEO FÍSICO	125
	ANEXO 3: HOJA DE DATOS ANTROPOMÉTRICOS Y FISIOLÓGICOS	127
	ANEXO 4: FORMATO DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE TIEMPO	

MÁXIMO DE TRABAJO ACEPTABLE PARA TRABAJO CON MIEMBROS INFERIORES	129
ANEXO 5: CONSENTIMIENTO INFORMADO	130

LISTA DE TABLAS

pág.

Tabla 1. Cálculo del tamaño de muestra	54
Tabla 2. Edad de la población estudiada	72
Tabla 3. Datos de talla y peso corporal	73
Tabla 4. Composición corporal	75
Tabla 5. Valores del VO2 máximo de acuerdo a los segmentos utilizados	78
Tabla 6. Coeficiente de correlación de concordancia VO2 MMI – VO2 Total	84
Tabla 7. Coeficiente de correlación de concordancia VO2 MMI – VO2 Total – Mujeres	84
Tabla 8. Coeficiente de correlación de concordancia VO2 MMI – VO2 Total en Hombres.	85
Tabla 9. Variación en TMTA y las variables fisiológicas estudiadas de acuerdo al porcentaje de la carga máxima, para hombres y mujeres.	96
Tabla 10. Límites de carga física de trabajo sugeridos para la población de estudio	98
Tabla 11. Límites de carga de trabajo sugeridos para jornadas laborales de 12, 8 y 4 horas	105

LISTA DE GRÁFICAS

	pág.
Gráfica 1. Gráfica 1. Sexo de los participantes	71
Gráfica 2. Relación entre el VO2 cuando el trabajo se realiza con MMII y el VO2 cuando el trabajo se realiza con cuerpo entero	81
Gráfica 3. Relación entre el VO2 cuando el trabajo se realiza con MMII y el VO2 cuando el trabajo se realiza con cuerpo entero, en mujeres	82
Gráfica 4. Relación entre el VO2 cuando el trabajo se realiza con MMII y el VO2 cuando el trabajo se realiza con cuerpo entero, en hombres.	82
Gráfica 5. Método de Bland y Altman VO2 MMII – VO2 Total	83
Gráfica 6. Método de Bland y Altman VO2 MMII – VO2 Total en Mujeres	84
Gráfica 7. Método de Bland y Altman VO2 MMII – VO2 Total en Hombres	85
Gráfica 8 FC según VO2 para trabajo de cuerpo entero.	86
Gráfica 9. FC según VO2 para trabajo de cuerpo entero en mujeres.	86
Gráfica 10. FC según VO2 para trabajo de cuerpo entero en hombres	87
Gráfica 11. FC según VO2 para trabajo de miembros inferiores	87
Gráfica 12. FC según VO2 para trabajo de miembros inferiores	

en mujeres	88
Gráfica 13. FC según VO2 para trabajo de miembros inferiores	
en hombres	88
Gráfica 14. CORRELACIÓN FCR VO2R	89
Gráfica 15. TMTA en función de la carga en watts para miembros Inferiores	90
Gráfica 16. TMTA en función de la carga en watts para miembros inferiores en mujeres.	90
Gráfica 17. TMTA en función de la carga en watts para miembros inferiores en hombres	91
Gráfica 18. TMTA en función del %VO2 máximo para miembros inferiores	91
Gráfica 19. TMTA en función del %VO2 para miembros inferiores en mujeres	92
Gráfica 20. TMTA en función del %VO2 máximo para miembros inferiores en hombres	92
Gráfica 21. TMTA en función del %VO2 relativo para miembros Inferiores	93
Gráfica 22. TMTA en función del %VO2 relativo para miembros inferiores Mujeres	94
Gráfica 23. TMTA en función del %VO2 Relativo para miembros inferiores en hombres	94
Gráfica 24. TMTA en función del %FC Relativa	95

Gráfica 25. TMTA en función del %FC Relativa en mujeres	95
Gráfica 26. TMTA en función del %FC Relativa en hombres	96

RESUMEN

La ejecución de labores físicas de alta exigencia, sin tiempos de recuperación adecuados, acelera la aparición de fatiga, la cual puede resultar en deterioro de la salud del trabajador, repercutiendo en su calidad de vida y la de su familia, ocasionando disminución de su desempeño laboral y a su vez, detrimento de la productividad empresarial.

Por lo anterior, es necesario establecer márgenes de seguridad que protejan a los trabajadores, y que garanticen que la carga física de trabajo sea dosificada de acuerdo con la duración de la jornada laboral, la capacidad física del trabajador y los segmentos corporales predominantemente utilizados durante el trabajo.

Este estudio tuvo como propósito establecer la relación entre tiempo de trabajo máximo aceptable (TMTA) y carga física de trabajo, cuando el trabajo se realiza predominantemente con miembros inferiores, en un grupo de colombianos no entrenados. La presente investigación describe además la relación entre el VO₂ máximo cuando el trabajo se ejecuta con cuerpo entero y cuando el trabajo se realiza predominantemente con miembros inferiores.

En el estudio participaron inicialmente 30 sujetos con características antropométricas típicas de la población colombiana (17 mujeres y 13 hombres) quienes realizaron 2 pruebas máximas para medir el VO₂ máximo a través del uso de dos equipos: cicloergómetro, y elíptica. Adicionalmente se determinó la carga a la que cada individuo alcanzó el VO₂ máximo y posteriormente se seleccionaron 15 de los participantes quienes fueron citados para realizar pruebas de resistencia de miembros inferiores en el cicloergómetro al 20, 30, 40 y 50% de la carga máxima, con el fin de determinar el tiempo máximo de trabajo aceptable con cada carga.

La media del VO2 máximo obtenido a partir del trabajo de miembros inferiores (cicloergómetro) fue el 87% de la media del obtenido a partir del trabajo de cuerpo entero (elíptica), la correlación hallada entre ambas variables fue del 87% y el coeficiente de correlación de concordancia resultó pobre (0,68). Se obtuvieron tres modelos de regresión (%VO2 max, %VO2R y %FCR) con los que se calculó la carga para jornadas laborales de 12, 8 y 4 horas, obteniendo valores de %VO2 max de 18,6, 33 y 46, 8% respectivamente.

Entre las conclusiones se menciona que el tipo de ejercicio para obtener el VO2 máximo cuando se desea establecer criterios de seguridad debe elegirse teniendo en cuenta los segmentos corporales predominantemente utilizados en la actividad laboral. Por otra parte, al comprar los resultados del TMTA obtenidos por los participantes del estudio actual con estudios previos de otras poblaciones, se observó que los resultados para una jornada de 8 horas son muy similares a los de los estudios anteriores, sin embargo, los sujetos de la investigación colombiana tienen mayor tolerancia a las jornadas cortas pero menor a las jornadas largas.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Existen trabajos físicos altamente exigentes en los cuales se acelera la aparición de fatiga y resulta necesario establecer márgenes de seguridad que protejan la salud de los trabajadores y que les permita un desempeño laboral óptimo durante toda la jornada de trabajo.

La fatiga afecta negativamente el desempeño de los trabajadores; conduce a la aparición de desórdenes musculares (1), incomodidad y dolor (por reducción en la potencia muscular) (2), aumentando la probabilidad de accidentes (3).

Para mantener y/o mejorar la productividad del trabajador, es necesario que este tenga una carga de trabajo óptima. Siendo importante saber que la fatiga aumenta exponencialmente en el tiempo, al contrario de la recuperación, y que las diferentes partes del cuerpo tienen diferentes tasas de recuperación (4).

Regular la forma en la que se realiza una labor hace posible que personas con menor capacidad de trabajo se desempeñen competentemente en tareas que pueden ser excesivamente demandantes. La consideración de factores como: 1. la intensidad del esfuerzo (trabajo de cuerpo entero, esfuerzo muscular localizado) y 2. La duración del mismo, resultan de suma importancia para este fin.

La intensidad del trabajo aceptable para una actividad varía de acuerdo a la duración de ésta. En este sentido, se han realizado múltiples investigaciones para determinar la carga que puede ser sostenida por un trabajador durante su día de trabajo (5) (6) (7) (8) (9). Para una jornada laboral de 8 horas la carga no debe exceder el 33% de la capacidad aeróbica del trabajador (Astrand y Rodahl, 1970).

En la actualidad, en diversas actividades económicas se observa la tendencia a adoptar turnos que superan las 8 horas diarias, para lo cual se hace necesario adaptar la carga a la extensión de la jornada, en aras de no aumentar la exigencia

al trabajador. Esta tarea se ve facilitada por la existencia de líneas guía para cargas de trabajo aceptables en los trabajos dinámicos.

Con el fin de evitar la aparición de la fatiga y sus consecuencias, se pueden realizar intervenciones sobre la organización del trabajo, dosificando la carga física y planificando los tiempos de descanso (10). Para esto, es necesario determinar la dosis de la carga y el momento adecuado de introducir los descansos, los cuales son más efectivos si son cortos y frecuentes.

La construcción de líneas guía sobre cargas aceptables para trabajos dinámicos, requiere la valoración del tipo de actividades realizadas, dado que la capacidad de trabajo está directamente asociada con el número o tamaño de los músculos disponibles para ejecutar las actividades (11).

Con referencia a lo anterior, estudios publicados (12) (13) comparan el VO₂ durante la realización de actividades con miembros inferiores (MMII) y las actividades realizadas con miembros superiores (MMSS), encontrando que las respuestas cardiorrespiratorias son diferentes según los segmentos corporales utilizados. El costo fisiológico es mayor para los MMSS que para los MMII cuando se trabaja con una carga submáxima definida, pero el VO₂ máximo ha resultado inferior en MMSS.

Entre las explicaciones dadas a este fenómeno se encuentra que: al realizar ejercicios con grupos musculares pequeños predominan factores locales, mientras que al utilizar los grupos musculares grandes, se tienden a esforzar los sistemas cardíaco y respiratorio.

Los ejercicios realizados con grupos musculares pequeños suelen ser finalizados por la aparición de fatiga muscular localizada, mientras que los grupos musculares grandes generalmente son limitados por factores circulatorios.

Partiendo del conocimiento de la diferencia existente en el comportamiento del VO₂ y las respuestas metabólicas ante el uso de diversos grupos musculares, la organización del trabajo debe planearse de acuerdo con los segmentos corporales predominantemente utilizados en la actividad laboral, con el fin de evitar la aparición de la fatiga; para lo cual se requiere futuros estudios que determinen criterios de seguridad específicos.

Por otra parte, existen algunos tests específicos en las industrias para evaluar la capacidad de trabajo de las personas; sin embargo, se hace la diferenciación entre el trabajo realizado con el cuerpo entero y el trabajo realizado con la parte superior del cuerpo (más específicamente, con los miembros superiores), sin hacer distinción entre el VO₂ cuando el trabajo se realiza predominantemente con los miembros inferiores.

Lo anterior, puede tener tres explicaciones:

- 1) La mano es la principal herramienta funcional del ser humano, por ende la mayoría de trabajos son realizados con los miembros superiores, siendo más evidente la necesidad de realizar evaluaciones específicas para los trabajos en los que predomina el uso de estos segmentos.

No obstante, los miembros inferiores suelen ser utilizados para el soporte y el transporte, y aunque no se utilicen tanto como los miembros superiores en la realización de trabajo, existen muchos tipos de trabajo que tienen una alta exigencia de los miembros inferiores, entre los que se encuentran: mensajeros y repartidores de domicilios que se desplazan en bicicleta y a pie, representantes de ventas o vendedores puerta a puerta, guardabosques, trabajadores de la silvicultura, deportistas, militares, bicitaxistas, entre otros.

Por citar un ejemplo, una investigación realizada en Estocolmo, con mensajeros que se desplazan en bicicleta (14), encontró que en el 82% de la jornada (8 horas diarias) estos trabajadores están pedaleando y que un 9% de ese tiempo sobrepasan el 50% de su VO₂max. El estudio concluye diciendo que el gasto energético de los mensajeros durante un día típico de trabajo es hasta 4 veces mayor que el de un trabajador de oficina.

2) La tendencia a realizar estudios a partir de las estadísticas de morbilidad ha conllevado a que los miembros inferiores y su respuesta al trabajo sean poco inspiradores en el momento de realizar investigaciones. Internacionalmente la mayoría de los autores se ha concentrado en estudiar las alteraciones músculo-esqueléticas a nivel lumbar y en los miembros superiores. El enfoque de la mayoría de estudios de miembros inferiores no es preventivo, sino que parte de una enfermedad diagnosticada y muchos se quedan cortos al tratar de analizar relaciones de causalidad.

3) Los miembros inferiores representan grupos musculares grandes, por lo cual existe la creencia de que el valor del VO₂ cuando el trabajo es realizado por estos, es muy semejante al valor del VO₂ cuando el trabajo se realiza con el cuerpo entero. Consecuentemente a dicha creencia, se usan indistintamente equipos (bicicleta y banda sin fin, entre otros) para calcular la capacidad de trabajo de algunos trabajadores.

Al respecto, en la literatura científica se encuentran estudios que comparan las respuestas fisiológicas según la masa muscular comprometida en diferentes pruebas, observándose resultados contradictorios en cuanto la variación del consumo de oxígeno cuando el trabajo se realiza con miembros inferiores únicamente y cuando adicionalmente se utilizan miembros superiores o cuerpo entero. Para citar algunos ejemplos: Astrand y Saltin, (1961) (15) tras realizar un estudio en sujetos entrenados, concluyen que la capacidad aeróbica y la

frecuencia cardiaca máxima son iguales al correr o pedalear. Así mismo, Stenberg et al (1967) (16), reportaron que el trabajo simultáneo con miembros superiores e inferiores no permitió valores mayores de VO₂ que el trabajo máximo en el que se utilizaron únicamente los miembros inferiores. Por el contrario, Shephard et al. (1968) (17), al realizar tres pruebas físicas diferentes publicaron que el VO₂ máximo fue un poco mayor en las dos pruebas físicas en las que se utilizaba cuerpo entero que en la que se utilizaban únicamente los miembros inferiores. En este sentido, los resultados de Hagerman et al. (1988) (18), indicaron que el costo energético fue significativamente mayor para la ergometría de cuerpo entero que para la de miembros inferiores. A su vez, en 1996 Hoffman et al (19), señalan que los resultados de su investigación contribuyen con el planteamiento que al incrementar la masa muscular ejercitada sobre la utilizada en el ciclismo de piernas se eleva el VO₂, pero advierten que el efecto aunque significativo resultó ser muy pequeño.

Así pues, aunque existen investigaciones que comparan el VO₂ máximo cuando el trabajo se hace con cuerpo entero con el VO₂ máximo resultante cuando el trabajo se realiza predominantemente con miembros inferiores, éstas no son concluyentes.

Por otra parte, actualmente se cuenta con estudios que comparan el TMTA con la carga física de trabajo en términos del porcentaje de VO₂ máximo a través de pruebas en las que se utilizan principalmente los miembros inferiores. Sin embargo, estos han sido realizados con sujetos de poblaciones extranjeras, cuyas características físicas son diferentes a las de los latinos, y cuyas condiciones sociales, económicas y laborales, entre otras, difieren en gran medida de las nuestras.

En Colombia y otros países de Latinoamérica, persisten trabajos en los que se utilizan predominantemente los miembros inferiores, tanto en el sector formal

como en el informal, entre los que se destacan los carteros y repartidores a domicilio.

Dentro de este contexto, intervienen otros aspectos como la congestión vehicular que ha aumentado en los últimos años en nuestro país y en la ciudad de Cali en particular, en la que el crecimiento y la expansión de zonas residenciales y empresariales no se ha detenido. Las características de la infraestructura vial de algunos sectores, el tráfico vehicular, el precio de la gasolina, la insuficiente cobertura de los medios de transporte público en la ciudad y el alto costo de los mismos en contraste con los ingresos económicos de la población; la baja oferta de nuevos empleos, entre otras, han conllevado a que se aumente el uso de la bicicleta como medio de transporte y de trabajo. Sin embargo, su uso como herramienta laboral y las condiciones que rodean esta situación no han sido estudiadas a profundidad, debido entre otros motivos, a que hasta el momento no es evidente el aumento de morbilidad a causa de su uso, esto teniendo en cuenta que en nuestro medio, aún influido por el Modelo Médico, se enfatiza en la enfermedad más que en la salud.

Adicionalmente, muchos de los trabajadores no pertenecen al sector formal y algunos otros que si lo hacen, han elegido utilizar ese medio de transporte voluntariamente (por las razones antes expuestas) y no por imposición de las empresas para las que trabajan (que permiten que el trabajador utilice vehículos motorizados propios si lo desea), por lo que éstas en su mayoría no tienen incluida esta problemática dentro de los aspectos a considerar por la organización del trabajo, el panorama de riesgos, los sistemas de vigilancia, entre otros.

Durante la búsqueda bibliográfica no se encontraron investigaciones de este tipo en poblaciones latinas. Por este motivo, los criterios de seguridad con que se cuenta actualmente son diseñados para grupos poblacionales con características antropométricas diferentes a las nuestras y en las que las variables fisiológicas

(VO2 y FC) podrían presentar diferencias significativas que deban tenerse en cuenta para tal fin. Se considera importante tener datos de la población colombiana, explorar si los límites de carga propuestos actualmente para otras poblaciones son aplicables a nuestros trabajadores y despertar el interés de éstos, de los investigadores y de las empresas sobre este tema poco visible en nuestro entorno pero muy importante dentro de la relación producción - consumo, condiciones de vida y de trabajo y desarrollo humano.

Las investigaciones bajo el enfoque fisiológico de la ergonomía son poco comunes en nuestro país y en la región, por diferentes motivos entre los que cabe mencionar el escaso personal formado en fisiología del trabajo, los limitados recursos que destina el Estado para la investigación, la carencia de una cultura de investigación para la promoción y prevención y la falta de inversión de las empresas en este tema, el costo de las pruebas realizadas, los equipos requeridos son poco accesibles y asequibles en nuestro medio siendo primordialmente utilizados en el entorno clínico.

Por lo anterior, se considera necesario y pertinente la ejecución de investigaciones dentro del enfoque fisiológico de la ergonomía desde la academia, para dar a conocer las características de nuestros trabajadores y sus diferencias o similitudes con poblaciones extranjeras, que nos den pauta para establecer criterios propios que permitan realmente cuidar la salud y la vida del recurso humano y potenciar su productividad, llamando la atención de las empresas en la importancia de este tipo de estudios, que busquen que el diseño del trabajo sea hecho de acuerdo a las capacidades de los trabajadores que lo ejecutan.

El presente estudio, es uno de los primeros en nuestro país en explorar los límites de carga física de acuerdo a las jornadas laborales y la capacidad de trabajo físico de los trabajadores y pretende responder a la siguiente pregunta:

¿Cuál es la relación entre tiempo de trabajo máximo aceptable y carga física de trabajo, cuando el trabajo se realiza predominantemente con miembros inferiores, en un grupo de colombianos residentes en la ciudad de Cali?

2. ESTADO DEL ARTE

A continuación se mencionan algunas investigaciones que comparan el VO₂ al realizar trabajo dinámico con diferentes segmentos corporales y los hallazgos relacionados con el interés de la presente propuesta de investigación:

En 1957 Asmussen y Hemmingsen (20), realizaron un estudio en el que buscaban averiguar la posibilidad de obtener la misma frecuencia cardíaca máxima con el trabajo de miembros superiores como con el de miembros inferiores y comparar la relación FC - VO₂ en el trabajo de MMSS con el de MMII. Con este fin se realizaron pruebas en la banda sin fin para el trabajo de piernas y en un triciclo para el trabajo de brazos, a diferentes inclinaciones. La FC y el VO₂ fueron registrados constantemente. Uno de los hallazgos fue que la pendiente de la relación entre la FC y el VO₂ resultó ser más inclinada para el trabajo con miembros superiores, que para el de miembros inferiores. Dentro de las conclusiones resaltan que no es posible estimar la capacidad aeróbica total para las piernas a partir de experimentos con trabajo de brazos y viceversa. Y finalizan indicando que “en las personas normales la capacidad aeróbica es considerablemente menor en el trabajo de MMSS comparado con el de MMII.”

En 1961 Astrand y Saltin (21), investigaron la influencia de la variación en la masa muscular comprometida en una prueba a través de la ejecución de pruebas de trabajo máximas de diferentes tipos. Para lograr su objetivo eligieron los siguientes ejercicios: a) pedaleo en un cicloergómetro en posición sentado y b) en supino, c) pedaleo y manivela simultáneos en bicicleta, d) correr en una banda sin fin, e) esquiar, f) nadar, y g) manivela, los cuales fueron realizados por siete sujetos entrenados. Las variables observadas fueron el consumo de oxígeno, la frecuencia cardíaca, ventilación pulmonar, y el ácido láctico. Los resultados arrojaron que el VO₂ fue un poco más alto en la prueba de correr con inclinación que en la de pedaleo en bicicleta (a), manivela más pedaleo (c), y esquiar, en los

cuales fueron obtenidos valores similares. El trabajo máximo con los brazos (g) resultó en un VO₂ que fue alrededor del 70% del máximo al pedalear (a). Para finalizar, los autores concluyen que la capacidad aeróbica y la frecuencia cardíaca máxima son iguales al correr o pedalear, al menos en sujetos entrenados.

En 1967 Stenberg et al (22), divulgaron un estudio en el que pretendían aclarar la respuesta circulatoria al trabajo con diferentes grupos musculares en la posición sentado y en supino. En la investigación participaron 10 sujetos entrenados, quienes ejecutaron pruebas máximas y submáximas en cicloergómetros utilizando solo los brazos, solo las piernas o ambos simultáneamente. Se registraron las respuestas en términos del VO₂, la FC y el gasto cardíaco. Los hallazgos de este estudio indicaron que durante el ejercicio máximo con los brazos, el VO₂ máximo, y el gasto cardíaco (Q) fueron respectivamente el 66 y 80%, de los valores alcanzados en el trabajo máximo de piernas en sentado. Por otra parte, los autores señalan que el trabajo simultáneo con brazos y piernas no permitió valores mayores de VO₂ o Q que el trabajo máximo de piernas en sentado.

En 1968 Shephard et al (23), publicaron los resultados de la comparación realizada previamente por un grupo de trabajo, con respecto a los métodos de medición del consumo de oxígeno máximo. Tres tipos de ejercicio fueron comparados: en banda sin fin, prueba del escalón y bicicleta (ciclo-ergómetro), usando patrones de ejercicio continuos y discontinuos, y se llegaron a acuerdos sobre los métodos a utilizar tanto en laboratorio como en campo. Para esto realizaron mediciones repetidas a 24 sujetos (entre los 20 y los 40 años de edad) y una vez finalizadas notificaron que el VO₂ máximo fue mayor en la banda sin fin, menor (3.4%) en el test del escalón, y aún menor (6.6%) durante el uso de un ciclo ergómetro. Para concluir, recomendaron el uso del cicloergómetro y el test del

escalón como pruebas para estudios en campo, y las pruebas en la banda sin fin para estudios en el laboratorio.

El propósito del estudio de Reybrouck et al (24) en 1975, fue identificar las variables que pueden limitar el VO₂ máximo de sujetos con capacidades aeróbicas ampliamente diferentes durante el ejercicio en el cual la masa muscular es variada. Para esto fueron seleccionados tres hombres de diferentes edades y cuyo VO₂ máximo en la cicloergometría fue bastante diferente. Los autores consideraron que la muestra era de tamaño suficiente argumentando una variabilidad interindividual considerable. Se realizaron pruebas máximas y submáximas de ergometría de brazos, ergometría de piernas y ergometría combinada de brazos y piernas. Entre los resultados se menciona que el VO₂ máx en la ergometría de brazos fue en promedio el 68% del VO₂ máx en la ergometría de pierna y el 60% del VO₂ máx en la ergometría combinada. En cuanto al VO₂ máx en la ergometría de piernas en comparación con la ergometría combinada de brazos y piernas, fue 82% para el sujeto 1; 84% para el sujeto dos y 100% para el sujeto 3. Es decir, que los dos sujetos con un VO₂ menor a 45 ml/kg-min tuvieron un VO₂ máximopromedio 19% mayor en la ergometría combinada de brazos y piernas que en la ergometría de piernas. El tercer sujeto, con un VO₂ mayor a 50 ml/kg-min, no mostró cambio.

En 1983 Lewis et al (25), intentaron caracterizar las respuestas al ejercicio dinámico con cuatro grupos musculares diferentes en términos de la intensidad de trabajo absoluta y relativa. Contaron con 6 voluntarios quienes ejecutaron ejercicio dinámico submáximo y máximo de cuatro tipos diferentes: curl con un brazo, manivela con un brazo y pedaleo con una pierna y con dos piernas. Para los tres últimos tipos, las mediciones se hicieron en cargas relativas aproximadamente iguales a 25, 50, 75 y 100% del consumo de oxígeno máximo para cada grupo muscular correspondiente. Para el ejercicio de Curl con un brazo, las dos cargas más bajas no fueron empleadas. Se estableció una frecuencia máxima de 70 rpm

y una submáxima de 60 rpm para las pruebas de manivela y pedaleo. Entre los resultados encontrados mencionan que las respuestas cardiovasculares al ejercicio están determinadas en gran medida por la masa muscular activa y el consumo de oxígeno absoluto. El VO₂ fue más alto para cargas relativas $\geq 50\%$, con una mayor masa muscular activa, mientras que en el nivel de 25% las diferencias no fueron significantes. Los valores del VO₂ durante el ejercicio máximo de curl con un brazo, manivela con un brazo, y pedaleo con una pierna equivalieron respectivamente al 20, 50, y 75% de los obtenidos en el ejercicio máximo de pedaleo con dos piernas.

En 1988 Shephard et al (26), quisieron contribuir con su estudio a la discusión sobre la masa muscular como factor limitante del trabajo físico, en cuanto a las limitaciones centrales y periféricas. Estos autores plantearon que en teoría, debe haber un desplazamiento progresivo de una limitación central a una periférica del esfuerzo al ir reduciendo la masa muscular activa. Y añadieron que la “limitación circulatoria central debe ser susceptible a la presión de O₂ inspirado y por lo tanto a la saturación de O₂ en sangre, pero una limitación periférica del esfuerzo, bien sea por una obstrucción o perfusión local o a una potencia muscular tope, no debe ser afectada por cambios moderados en la concentración del O₂ inspirado” (27). Para probar lo anterior, realizaron 4 tipos de pruebas ergométricas (con 2 piernas, con una pierna, brazo + hombro y solo brazo) mientras respiraban aire ambiente y aire a una presión de O₂ del 12%.

Durante las pruebas llevaron registro del VO₂, la FC y la T/A en reposo y durante el ejercicio. Se obtuvieron medidas de percepción del esfuerzo y se realizaron mediciones del ácido láctico al minuto y medios después de la finalización del ejercicio. En esta investigación se halló que el VO₂ fue mayor al aumentar la masa muscular activa, sin embargo, no es uno de los resultados destacados pues no era el objeto de este estudio. Por otra parte, los hallazgos llevaron a los autores a concluir que debido a la dificultad al perfundir los músculos pequeños, el trabajo de brazos se ve limitado ampliamente por la potencia intrínseca de los músculos

activos, que la ergometría de una sola pierna más bien está limitada por factores circulatorios centrales y por factores musculares, y que la ergometría de dos piernas es casi enteramente dependiente del transporte central circulatorio de O₂.

En el estudio realizado por Hagerman et al. (1988) (28), se compararon las respuestas cardiorrespiratorias de adultos sanos al ejecutar dos ejercicios incrementales de potencias similares: un ejercicio de remo con resistencia variable y uno en el cicloergómetro con resistencia fija. En el estudio participaron 60 hombres y 47 mujeres con edades entre los 20 y 74 años. Los resultados indicaron que el costo energético fue significativamente mayor para la ergometría de remo que para la de ciclismo en todos los niveles comparativos. Una de las explicaciones dadas por los autores fue la mayor masa muscular involucrada en el ejercicio de remo.

En 1996 Hoffman et al (29), compararon las demandas aeróbicas para el ejercicio de ciclismo y el ejercicio que distribuye la misma generación de potencia externa entre el cuerpo superior y el cuerpo inferior. Esta distribución del trabajo (entre el cuerpo superior e inferior) aumentó la demanda aeróbica sobre la requerida para ejecutar la misma generación de potencia externa solo con el trabajo de piernas. Los autores señalan que los resultados de su investigación contribuyen con el planteamiento que al incrementar la masa muscular ejercitada sobre la utilizada en el ciclismo de piernas se eleva el VO₂ para ejecutar una generación de potencia externa, pero advierten que el efecto resultó ser muy pequeño. Es decir, que las demandas aeróbicas para el ejercicio de combinado de brazos y piernas son mínimos, pero significativamente, mayores que para el ejercicio de piernas a la misma generación de potencia externa

En la investigación de Aminoff et al (30), se examinaron las respuestas subjetivas y cardiorrespiratorias (aparición de fatiga) en hombres mayores (nueve hombres con edades entre los 54 y los 59 años) a ejercicios submáximos de miembros superiores e inferiores. Los sujetos ejecutaron 30 minutos de ejercicio de pedaleo

(miembros inferiores) y manivela (miembros superiores) en un ergómetro a cargas de trabajo relativas de 50 y 75% de consumo de oxígeno máximo para el grupo muscular correspondiente, y 60 minutos a cargas de trabajo relativas de 30% de VO₂ máx para el grupo muscular correspondiente. En el nivel de 75% de intensidad, cuatro sujetos interrumpieron la prueba de manivela y un sujeto interrumpió la prueba de pedaleo. Debido a las diferencias en los valores pico durante las pruebas de manivela y pedaleo, la carga de trabajo y el VO₂ fueron mayores durante el pedaleo. No hubo diferencia en la FC entre los dos modos de trabajo, pero la FC se aumentó en mayor medida durante la prueba de manivela en comparación a la prueba de pedaleo, en los niveles de 30% y 50% ($P < 0.05$). Los resultados indican un esfuerzo fisiológico mayor en el tiempo durante el ejercicio de miembros superiores que durante el de miembros inferiores a las mismas intensidades relativas para cada grupo muscular. Por lo tanto, la carga física aceptable, expresada como el VO₂ máx para el grupo muscular correspondiente, debe ser menor durante el ejercicio de miembros superiores que durante el de miembros inferiores.

2.1 ESTUDIOS QUE VALIDAN EL USO DE LA FRECUENCIA CARDIACA COMO INDICADOR DEL CONSUMO DE OXÍGENO

La relación entre la frecuencia cardiaca y el VO₂ ha sido ampliamente estudiada en las últimas décadas, tanto en el laboratorio como en el campo, sin embargo, se siguen realizando estudios específicos para reafirmar y validar la aplicabilidad de la FC como estimador del VO₂ en diferentes condiciones y situaciones laborales, lo cual constituye una herramienta de gran utilidad a la hora de estudiar gasto energético de los trabajadores y hacer mejoras en la organización de trabajo para protegerlos previniendo la aparición de la fatiga y sus consecuencias. Así pues, abajo se exponen algunos estudios que se han realizado al respecto.

En el estudio de Asmussen y Hemmingsen (1957), mencionado previamente (31), indican entre los resultados encontrados la relación prácticamente rectilínea entre la FC y el VO₂ durante el trabajo de MMII y el de MMSS.

En 1982 Ilmarinen y Louhevaara (32), realizaron un estudio con el propósito de evaluar la validez de la FC como estimador del VO₂ en la entrega manual de correo. Contaron con la participación de 9 carteros a quienes les realizaron tres pruebas de ejercicio máximo progresivo (en un cicloergómetro y en una banda sin fin, con y sin un maletín de 10kg) para las cuales se establecieron ecuaciones de regresión de mínimos cuadrados de la FC sobre el VO₂. La FC y el VO₂ fueron medidos después a través de 5 modalidades simuladas de entrega de correo: en tierra a pie, en bicicleta, y empujando un carrito, y en las gradas a pie y empujando un carrito. Los valores de FC fueron respectivamente insertados en las tres ecuaciones de regresión establecidas para FC/VO₂.

Los valores del VO₂ estimado tendieron a ser sistemáticamente mayores que los valores medidos. La mejor regresión resultó ser la establecida para la banda sin fin con el maletín de correo, las regresiones arrojaron estimaciones imprecisas del VO₂ para las demás pruebas. Lo anterior llevó a los autores a concluir que la FC es un estimador aceptable del VO₂ solo cuando el trabajo ejecutado en la prueba se parece mucho al trabajo muscular realizado en el trabajo.

En el año 2000 Bot y Hollander (33) examinaron la relación entre la FC y el VO₂ durante ejercicios en estado dinámico y estático “no estacionario” con grupos musculares grandes, grupos musculares pequeños, y con una combinación de diferentes grupos musculares a través de cuatro experimentos. Los resultados arrojados por el estudio indican una relación lineal entre la FC y el VO₂ durante el ejercicio “no estacionario” tanto de piernas como de brazos. Los autores señalan que aunque los valores de ejercicios que no alcanzaron el estado estacionario fueron menos fuertes que bajo condiciones de estado estacionario, es posible

concluir que la estimación del VO₂ a través de la medición de la FC no se limita al ejercicio de estado estacionario. Es decir, que el VO₂ puede estimarse a partir de líneas de regresión individuales de FC-VO₂ durante actividades variantes “no estacionaras”.

Uno de los objetivos de la investigación publicada por Kirk y Sullman (34) en el 2001, fue determinar la aplicabilidad de los indicadores de la frecuencia cardiaca en la medición de la carga de trabajo fisiológica de los trabajadores de la industria maderera, encargados de amarrar los árboles a una cuerda que permite su transporte y aterrizaje. En el estudio participaron cuatro trabajadores de quienes se registró continuamente la frecuencia cardiaca a lo largo de un día de trabajo y posteriormente los datos fueron aplicados a indicadores de FC. Adicionalmente, se estimó el VO₂ máximo de los sujetos a través de un test submáximo de cicloergometría. Esta investigación demostró que los índices de FC pueden utilizarse como medios eficaces para determinar el esfuerzo fisiológico de los sujetos que trabajan en operaciones comerciales de cosecha en Nueva Zelanda.

En el 2007 Bouchard and Trudeau (35) evaluaron la fiabilidad de la relación VO₂/FC usada para estimar el gasto energético durante el día de trabajo. Para ello midieron la relación VO₂/FC en 57 trabajadores antes y después de su jornada laboral en un laboratorio. La FC fue registrada continuamente a través de un pulsímetro. Entre los resultados arrojados por el estudio mencionan que el VO₂ fue similar antes y después del trabajo a frecuencias cardiacas de 100 y 125 lpm. Sin embargo, la relación VO₂/FC se hizo menos precisa después de la jornada laboral cuando el VO₂ y la percepción de fatiga incrementaron respectivamente sobre 150 y 125 lpm. Los autores concluyen diciendo que la relación VO₂/FC tiene buena fiabilidad a FC usualmente encontradas en los sitios de trabajo.

2.2 ESTUDIOS DE TIEMPO MÁXIMO DE TRABAJO ACEPTABLE

En cuanto a la duración o tiempo máximo de trabajo aceptable existen diversos estudios, entre los que cabe resaltar el realizado en el 2002 por Wu Wang (36), que tuvo como objetivo establecer la relación entre el tiempo máximo de trabajo aceptable (TMTA) y la carga física de trabajo. Para esto, contaron con la participación de 12 taiwaneses con edades entre los 20 y 30 años, quienes realizaron una prueba de capacidad máxima en la que se estableció su VO₂ máximo, VO₂ relativo, FC relativa y máxima capacidad de trabajo para posteriormente ejecutar 6 pruebas (en días separados) con intensidades del 20 al 70% de la capacidad máxima de cada individuo y así obtener la duración o tiempo de trabajo máximo aceptable.

Los resultados mostraron que el TMTA tiene correlación negativa con %VO_{2max} (proporción del consumo máximo de oxígeno) – FCR (frecuencia cardiaca relativa) – RVO₂ .(Consumo de oxígeno relativo) Adicionalmente se obtuvieron tres modelos exponenciales de la predicción del TMTA para describir las relaciones con respecto a las variables fisiológicas. De acuerdo con lo anterior, el límite sugerido de la carga de trabajo en términos de FCR para una jornada laboral de 8 horas es 24,5% FCR, el cual es comparado en el estudio con el encontrado por Shimaoka et al. (1998) 30% FCR, argumentando que la diferencia podría explicarse por el hecho de que la ocupación de la población estudiada por Shimaoka no requería tanto esfuerzo muscular como los sujetos del estudio taiwanés. Para finalizar, los autores concluyen que los modelos son aplicables a las actividades que involucren más los miembros inferiores, teniendo en cuenta que las pruebas fueron ejecutadas en bicicleta.

2.2.1 Nacionales

Ahora bien, en la última década en Colombia se vienen desarrollando investigaciones desde un enfoque fisiológico de la ergonomía con el fin de analizar las condiciones físicas del trabajo, la relación con la capacidad física del trabajador, los tiempos máximos de trabajo y la organización del trabajo, que pueden contribuir al cuidado de la salud y seguridad del trabajador y a la potenciación de su productividad.

En el 2005 Ariza e Idrovo (37), realizaron una investigación con el objetivo de determinar la relación entre la carga física, expresada como frecuencia cardiaca relativa (FCR), y el Tiempo Máximo de Trabajo Aceptable (TMTA). Tanto la frecuencia cardiaca de reposo como la de trabajo fueron medidas en 30 trabajadores de un supermercado. Entre los hallazgos del estudio los autores resaltan la existencia de correlaciones significativas entre el TMTA y la FCR. Mencionan también que el 43% de los trabajadores no cumplieron con el TMTA. Para finalizar concluyen que la FCR es de potencial utilidad en la práctica de la salud ocupacional empresarial y que es importante que las empresas disminuyan los horarios extendidos e implanten programas de acondicionamiento físico.

En el estudio realizado por Velásquez y Montes (38) en 2009, se expone la correlación de la capacidad física de los trabajadores auxiliares de bodega de un supermercado con la carga física de trabajo. Para esto llevaron a cabo mediciones de la carga y capacidad de trabajo físico con base en la frecuencia cardiaca. La potencia aeróbica máxima fue estimada y el límite de gasto energético calculado. La carga de trabajo resultó ser alta y la correlación entre la carga y capacidad de trabajo físico, sugirió que no todos los trabajadores se encontraban en condiciones adecuadas para el trabajo. Se presentaba fatiga antes de las 8 horas de trabajo, aumentando el riesgo de lesiones del aparato locomotor.

El propósito de Sabogal y Velásquez en el estudio desarrollado en 2010 (39), fue determinar si los operarios de máquinas de una empresa de manufactura estaban en riesgo de presentar fatiga física durante su jornada de trabajo. Para esto realizó un análisis de la Carga Física de Trabajo a través de la Frecuencia Cardíaca Relativa (FCR) y el cálculo del Tiempo Máximo de Trabajo Aceptable (TMTA). El análisis estadístico arrojó que el 88,6 % de los sujetos de estudio cumplieron con su jornada laboral sin presentar riesgo de llegar a la fatiga. El Tiempo medio de trabajo fue $11 \pm 2,7$ horas. La mayoría de los operarios no presentaron riesgo de fatiga física durante su jornada laboral de 8 horas. El autor sugiere las siguientes explicaciones: (1) que las exigencias de sus actividades implican una carga física leve o moderada acorde los criterios Índice de Costo Cardíaco Relativo (ICCR) de Chamoux, (2) las medidas de control en la organización del trabajo. Para concluir señala que la autonomía del operario para realizar las pausas que considere necesarias son positivas para su bienestar.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 ERGONOMÍA

Se dice que la ergonomía nace en el momento en que los humanos empiezan a crear herramientas, otros distan bastante de esta versión y ubican sus inicios alrededor del siglo XX. Sin embargo, cabe resaltar que algunos sucesos históricos ocurridos desde finales del siglo XIX como la Revolución Industrial, la invención de sistemas como la Organización Científica del Trabajo (encaminadas al aumento de la productividad de los trabajadores), y las Guerras Mundiales I y II (tras las cuales se realizaron grandes esfuerzos por incrementar la producción y eficiencia de las industrias para superar las crisis económicas) impulsaron el desarrollo de la ergonomía.

Estos “avances” en la productividad de los trabajadores y las empresas, sumados a modalidades de contratación como el salario a destajo (utilizadas aún en la actualidad) implicaron el aumento en la duración de las jornadas y en la frecuencia de ejecución, además de la reducción de los tiempos de descanso, empeorando las condiciones de trabajo y por lo tanto la salud de los trabajadores, amenazando posteriormente la tan anhelada productividad laboral. Lo anterior conllevó al desarrollo de estudios desde diferentes campos del saber, los cuales aportaron a la construcción de la ergonomía (40).

3.1.1 Definición

Al consultar diversas fuentes en busca del significado del concepto *Ergonomía* se encuentran algunas divergencias, no obstante, coinciden al recurrir a su raíz etimológica que viene del griego *Ergos*: trabajo y *Nomos*: principios, leyes.

A continuación se exponen algunas de las definiciones formales de la ergonomía:

International Organization for Standardization (ISO): “La aplicación de la información científica concerniente a los humanos, como la información biológica y del comportamiento, para el diseño de objetos, sistemas y ambientes que garantice el uso seguro, eficiente y conveniente por parte de las personas” (41).

International Ergonomics Association (IEA): “Ergonomía (o Factores Humanos), es la disciplina científica relacionada con la comprensión de las interacciones entre los seres humanos y los elementos de un sistema, y la profesión que aplica teoría, principios, datos y métodos de diseño para optimizar el bienestar humano y todo el desempeño del sistema.” (42)

Organización Internacional del Trabajo (OIT): Ergonomía significa literalmente el estudio o la medida del trabajo. En este contexto, el término trabajo significa una actividad humana con un propósito; va más allá del concepto más limitado del trabajo como una actividad para obtener un beneficio económico, al incluir todas las actividades en las que el operador humano sistemáticamente persigue un objetivo. (43)

Asociación Española de Ergonomía (AEE): “la Ergonomía es el conjunto de conocimientos de carácter multidisciplinar aplicados para la adecuación de los productos, sistemas y entornos artificiales a las necesidades, limitaciones y características de sus usuarios, optimizando la eficacia, seguridad y bienestar”. (44)

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC): “Disciplina científica que trata de las interacciones entre los seres humanos y otros elementos de un sistema, así como la profesión que aplica teoría, principios, datos y métodos al diseño, con objeto de optimizar el bienestar del ser humano y el resultado global del sistema. (NTC 5655)” (45)

Por su parte, el profesor John Wilson resalta el carácter de disciplina de la

Ergonomía y la reconoce como una de las ciencias modernas y, argumentando la actuación de esta a través de su enfoque holístico en los sistemas y diferentes contextos prevalentes en la actualidad, propone la siguiente definición: “La ergonomía es el entendimiento teórico y fundamental del comportamiento y el desempeño humano en sistemas socio-técnicos interactuantes con propósito, y la aplicación de dicho entendimiento al diseño de interacciones en el contexto de escenarios reales” (46)

Las definiciones anteriores hacen referencia al papel de la Ergonomía en la optimización del desempeño de los seres humanos y su interacción con el entorno, abriendo su actuación más allá del campo laboral.

3.1.2 Dominios de la ergonomía

La ergonomía posee tres dominios principales (47) (Ergonomía Cognitiva, Ergonomía Organizacional y Ergonomía Física) en los que se agrupan características humanas y que permiten un mayor grado de profundización:

3.1.2.1 Ergonomía Organizacional

Está relacionada con la optimización de sistemas socio-técnicos, incluyendo sus estructuras, políticas y procesos organizacionales. Incluye temas como manejo de recursos, diseño del trabajo y de los tiempos de trabajo, ergonomía comunitaria, trabajo cooperativo, nuevos paradigmas de trabajo, cultura organizacional, gestión de calidad, entre otros.

3.1.2.2 Ergonomía Cognitiva

Abarca lo relativo a los procesos mentales, como la percepción, la memoria, el razonamiento y la respuesta motora, al estar relacionados con las interacciones humanas y otros elementos de un sistema. Los temas relevantes incluyen carga

de trabajo mental, toma de decisiones, desempeño calificado, interacción entre humanos y computadores, confiabilidad humana, estrés laboral y entrenamiento.

3.1.2.3 Ergonomía Física

Concerniente a la anatomía humana, antropometría, características fisiológicas y biomecánicas y su relación con la actividad física. Entre los temas relevantes incluye las posturas de trabajo, manipulación de materiales, movimientos repetitivos, desórdenes músculo-esqueléticos relacionados con el trabajo, la disposición del trabajo, la salud y la seguridad

La ergonomía Física responde a dos aspectos principales del esfuerzo físico: 1). Las demandas físicas impuestas al ser humano, y 2). Las capacidades físicas del ser humano en la situación en la que las demandas se presentan. El objetivo es garantizar que dichas demandas no excedan las capacidades, como ocurre típicamente al diseñar para cualquier sistema. (48)

3.2 ANTROPOMETRÍA

“La antropometría es la ciencia que direcciona la medida y/o caracterización del cuerpo humano, ya sea individual o poblacionalmente”(49). Esta ciencia ha sido de interés de muchas profesiones (salud, arte, militar, ingeniería, diseño, entre otras), entre las que se encuentran las encargadas de fabricar objetos para el uso humano y sistemas para el beneficio de la especie.

Las mediciones antropométricas pueden clasificarse en dos categorías principales: Antropometría Estática y Antropometría Funcional. La primera utiliza mediciones de cuatro tipos: dimensiones lineares (longitud de segmentos corporales), masas o pesos, localización del centro de gravedad y momentos de inercia. Estos datos se pueden obtener haciendo uso de instrumentos sencillos (cintas métricas, calipers, entre otros) y técnicas antropométricas clásicas; sin embargo, existen métodos modernos más complejos y sofisticados como el uso de equipos de escaneo láser en 3 dimensiones.

Los datos antropométricos generalmente aparecen en una distribución normal, por ende, la estadística paramétrica se aplica a la mayoría de los datos antropométricos, no obstante datos como el peso corporal (y la información referente a la fuerza muscular) generalmente no presentan una distribución normal (50). Aunque es sensato asumir una distribución normal por simplificación, esto puede conllevar a errores de gran magnitud, cuando se diseña para los extremos. La variabilidad existente en los datos antropométricos se debe a: el manejo de los datos, los cambios seculares, poblaciones cambiantes, variaciones intra-individuales y variaciones inter-individuales.

Aún en la actualidad no se cuenta con la información antropométrica de la mayoría de las poblaciones. Sin embargo, se espera que en el futuro se complete la información considerando que la nueva tecnología y los intereses predominantemente comerciales pueden agilizar el proceso.

3.3 ENFOQUES DE LA ERGONOMÍA

Tradicionalmente se han utilizado tres enfoques de la ergonomía (Biomecánico, Psicofísico y Fisiológico), aplicándolos principalmente en actividades físicamente demandantes como la manipulación manual de cargas (51) (52).

3.3.1 Enfoque Biomecánico

Se basa principalmente en las fuerzas compresivas de la columna vertebral y su propósito es controlar que la tarea no sobrepase la capacidad del sistema musculoesquelético del trabajador lo cual realiza a través del diseño.

3.3.2 Enfoque Psicofísico

Utiliza la percepción de esfuerzo por parte de los sujetos para establecer límites de carga física de trabajo en condiciones de trabajo determinadas y diseñar tareas “aceptables” para los trabajadores.

3.3.3 Enfoque Fisiológico

Se fundamenta en las necesidades energéticas de los sujetos y procura diseñar actividades que no superen la capacidad de los sistemas respiratorio y cardiovascular.

El presente estudio está enmarcado en el dominio físico y el enfoque fisiológico de la ergonomía pues estará orientado al estudio de la relación entre la capacidad física del trabajador (procesos metabólicos, cardiovasculares y respiratorios) y las demandas impuestas a él en términos de carga física dinámica de trabajo (cuando el trabajo se realiza con el cuerpo entero y cuando se realiza predominantemente con miembros inferiores), con el objetivo de establecer márgenes de seguridad que permitan posteriormente conservar el equilibrio entre las dos partes, prevenir la aparición de fatiga y así, preservar la salud y seguridad del trabajador y potenciar su productividad.

3.4 FATIGA

La fatiga es un fenómeno común, experimentado por las personas tras realizar actividades exigentes. “Es un proceso gradual y acumulativo y puede ser dividido brevemente en aspectos físicos y mentales. La fatiga mental está acompañada por una sensación de cansancio, disminución de la atención, y reducción en el rendimiento mental” (53).

La fatiga física puede definirse como “la pérdida de la capacidad para generar un esfuerzo físico como resultado de previos esfuerzos.” (54)

“La fatiga física suele ocurrir en aquellas actividades donde se realicen ejercicios estáticos o dinámicos y donde se utiliza más del 30% de la contracción voluntaria máxima durante aproximadamente 3 minutos o más, tiempo suficiente para que se

acumule ácido láctico que es el causante del dolor y del cansancio muscular. (KroemerK; Grandjean E 2000)” (55).

Desde un punto de vista fisiológico, la fatiga es el resultado de la ejecución de trabajo físico. Esto tiene efectos sobre los sistemas pulmonar, circulatorio y metabólico, así como también locales en la fuerza, las articulaciones y la columna vertebral (Basmajian y De Luca, 1985; Rohdahl, 1975; Astrand, 1960; Astrand y Rodahl, 1986). Los modelos fisiológicos de la fatiga se basan en el gasto energético, alteraciones en la homeostasis de electrolitos o en la acumulación de metabolitos (Asmussen, 1979; Grandjean, 1988; Kilbom, 1987; Maclaren et al., 1989; Astrand and Rodahl, 1986) cuando se trabaja. (56)

Los factores que limitan la capacidad física bien pueden involucrar el cuerpo entero (o grandes grupos musculares), o bien segmentos específicos.

3.4.1 Fatiga muscular localizada

La fatiga muscular localizada es ocasionada cuando la carga impuesta a un músculo o grupo muscular, es superior a la capacidad de éste.

3.4.2 Fatiga de cuerpo entero

La fatiga de cuerpo entero se presenta cuando al realizar esfuerzos repetitivos con todo el cuerpo (o con grandes grupos musculares) se genera disminución en la capacidad metabólica, impidiendo generar la energía necesaria para ejecutar las actividades exigidas. (57)

3.5 CAPACIDAD DE TRABAJO FÍSICO

“Es la máxima intensidad de un trabajo compatible con el estado de equilibrio cardiorrespiratorio.” “La máxima capacidad de trabajo físico de un individuo puede determinarse a partir de la su potencia aeróbica máxima.” (58)

“La capacidad de trabajo físico determina la capacidad de ejecutar trabajo pesado o prolongado, la buena tolerancia y la posibilidad de eliminar cambios debido a la fatiga. El conocimiento acerca de la capacidad real es indispensable para crear condiciones de trabajo seguras, especialmente desde el punto de vista de la carga física.”(59)

3.6 CAPACIDAD AERÓBICA

“La capacidad aeróbica se define como la capacidad para realizar un ejercicio dinámico que involucre principales grupos musculares, de intensidad moderada o alta durante periodos prolongados de tiempo.” (60) Se expresa en términos de consumo de oxígeno (VO_2) y depende principalmente de los sistemas cardiovascular y respiratorio para el transporte y la entrega del oxígeno a los músculos para la ejecución del trabajo.

La capacidad aeróbica puede verse afectada por factores como la edad, el género, los estados patológicos, el estado nutricional, el tamaño y la composición del cuerpo; además de otros factores externos como la temperatura ambiental, la presión atmosférica, la humedad relativa del aire, factores derivados de la organización y división del trabajo, entre otros.

La potencia aeróbica máxima se define como “el mayor consumo de O_2 que puede obtenerse durante el trabajo físico, respirando a nivel del mar, por un tiempo limitado (usualmente 2 a 6 minutos) dependiendo de la carga de trabajo en condición aeróbica.” (61)

Existen diversos métodos (directos e indirectos) para calcular la capacidad aeróbica máxima, unos más precisos que otros, entre los que se encuentran el uso de tablas de valores, de ecuaciones predictivas, la estimación de la frecuencia cardiaca o la medición del VO₂, entre otros.

3.7 CARGA FÍSICA DE TRABAJO

La carga física de trabajo (CFT) “es la cantidad o carga de energía que demanda la ejecución de una labor o trabajo” (62). Es comúnmente definida como “el máximo nivel de esfuerzo fisiológico que puede ser logrado por un individuo. La medición de CFT se realiza generalmente en términos de consumo de oxígeno (Litros/Minuto)” (63). La CFT está determinada por factores ambientales (temperatura, calidad del aire, altitud), características del individuo (antropometría, edad, género), características de la tarea (actividad, duración y frecuencia), factores fisiológicos (sistemas cardiovascular, respiratorio y muscular; y el entrenamiento) y mentales (motivación, actitud y factores sociales). (64)

Una carga física de trabajo determinada puede resultar alta para unos trabajadores, y tolerable para otros, dependiendo de su capacidad física de trabajo. No obstante, existen trabajos físicos altamente exigentes que pueden ser pesados para todos los trabajadores sin importar su capacidad física, por lo tanto se hace necesario cuantificar el riesgo al que estos se encuentran expuestos, a través de la medición de la carga física trabajo, para así plantear medidas preventivas y correctivas que busquen controlar el riesgo y procuren la seguridad y salud del trabajador.

3.7.1 Medición de la Carga Física de Trabajo

Existen varias alternativas para medir la carga física de trabajo, un método directo es la ergo espirometría, cuyo indicador es el VO₂, pero a pesar de su precisión su uso es poco frecuente en el campo debido a que es poco asequible por su alto

costo y por la complejidad de su ejecución, por ende, es utilizado principalmente en el medio académico. Otras alternativas resultan al usar la frecuencia cardiaca (FC) como indicador, obteniendo métodos indirectos como: 1). la pulsometría, 2). la monitoría de la FC y su posterior comparación con cargas de trabajo (previamente determinadas) versus FC submáximas mediante tablas estandarizadas; o 3). el uso de tablas ergométricas.

3.7.2 Consumo de oxígeno como indicador de trabajo físico.

Existe una relación directa y lineal entre el consumo de oxígeno y la carga física de trabajo. La Ergoespirometria permite medir esta relación en el trabajador durante la ejecución de su trabajo, cuantificando la discrepancia entre el volumen de oxígeno del aire inspirado y el volumen de oxígeno del aire espirado y se expresa en litros por minuto, (consumo de oxígeno absoluto) o en mililitro por kilogramo de peso del trabajador por minuto (consumo de oxígeno relativo). Como se mencionó anteriormente, este método es más usado en el laboratorio que en la industria por la complejidad de su aplicación y su alto costo.

3.7.3 Frecuencia cardiaca como indicador de carga física.

La frecuencia cardiaca es el número de veces que se contrae el corazón en un tiempo determinado, generalmente se expresa en latidos/minuto. Puede ser medida fácilmente y es un buen estimador del VO₂ (Li et al., 1993; Spurr et al., 1988). Una de las formas más usadas para estimar el VO₂ a partir de la FC consiste en determinar la curva de calibración individual de FC/VO₂ en una prueba de laboratorio realizada usualmente en bicicleta o banda sin fin (Rodahl et al, 1974). El VO₂ y la FC de una persona se determinan para estados-estacionarios de cargas de trabajo variables y se calcula una ecuación de regresión lineal para cada sujeto. (65)

3.7.3.1 Frecuencia cardiaca de reserva

Si bien la intensidad de la carga de trabajo puede ser expresada en términos del %VO₂, existen otros indicadores que pueden representarla.

La más conocida es la frecuencia cardiaca de reserva FCR (método Karvonen) que se obtiene al restarle a la frecuencia cardiaca máxima, la frecuencia cardiaca de reposo ($FCR = FC_{max} - F_{creposo}$). La FCR parte de situaciones funcionales particulares de cada individuo, como son los valores de FC máxima y FC de reposo en un momento determinado, teniendo en cuenta que la edad y el nivel de entrenamiento respectivamente, son factores que las influyen (66).

La frecuencia cardiaca de reserva se mueve en un rango entre 0 y 100, a diferencia de la frecuencia cardiaca que siempre es superior a 0 latidos por minuto, aún en reposo y en condiciones normales suele estar por encima de los 50 lpm. Adicionalmente, la FCR hace referencia a la intensidad de la carga y no al número de latidos por minuto, pues el factor tiempo no es tomado en cuenta.

Según lo planteado por Swain y Leutholtz (1997), como la frecuencia cardiaca y el consumo de oxígeno de una persona en reposo no pueden ser 0, al comparar el rango de la frecuencia cardiaca desde el 0 hasta el valor máximo con un rango de consumo de oxígeno desde 0 hasta el máximo, se estará cometiendo un error, pues “al expresar estos rangos como porcentaje de su valor máximo, la magnitud del error dependerá del valor absoluto de VO₂ máximo”. Por lo tanto, para eliminar ese error proponen comparar el rango de la frecuencia cardiaca de reposo a la frecuencia cardiaca máxima con el rango del VO₂ de reposo al VO₂ máximo. Para probar su hipótesis realizan un estudio con 63 adultos quienes ejecutan ejercicio con resistencia incremental hasta el máximo en el cicloergómetro. Utilizaron los valores de la FC y el VO₂ en reposo, al finalizar cada etapa de ejercicio y los máximos alcanzados, para realizar regresiones lineales en %FCR versus %VO₂max y de %FCR versus %VO₂R para cada sujeto. A partir de lo anterior concluyeron que el %FCR no debe considerarse equivalente al %VO₂max pero si al %VO₂R y “esa es la relación que debe usarse para la descripción del ejercicio”.

De acuerdo a lo referido por Wu y Wang (2002) “la FC relativa ha sido un indicador de carga física asociada al trabajo muscular dinámico, frecuentemente utilizado en la práctica industrial (Shimaoka *et al.* 1998, Christensen *et al.* 2000).

Así pues, la frecuencia cardiaca relativa ha sido definida por la siguiente fórmula:

$$(FC \text{ trabajo} - FC \text{ reposo}) / (FC \text{ max} - FC \text{ reposo}) \times 100$$

Donde FC max es la frecuencia cardiaca máxima, y FC reposo la frecuencia cardiaca de reposo. HR trabajo es el promedio de los valores de frecuencia cardiaca obtenidos durante el trabajo.

De la misma forma puede obtenerse el VO2 relativo: $(VO2_{\text{trabajo}} - VO2_{\text{reposo}}) / (VO2_{\text{max}} - VO2_{\text{reposo}}) \times 100$

3.8 TIEMPO MÁXIMO DE TRABAJO ACEPTABLE (TMTA)

Aunque inicialmente los estudios se enfocaron en el análisis de los fenómenos en las condiciones más comunes, frecuentes o estándares en la industria en países desarrollados (como por ejemplo las jornadas laborales de ocho horas), en la actualidad existe variedad en la duración de las jornadas laborales en las diferentes actividades económicas, lo cual hace necesario ampliar las investigaciones hacia las necesidades y condiciones actuales.

Con el propósito de cuidar de la salud y la seguridad de los trabajadores y procurar la máxima productividad laboral, es necesario determinar la relación entre la carga de trabajo y la duración de la jornada, es decir, el TMTA, el cual puede ser definido como “la máxima cantidad de tiempo en la cual un individuo puede sostener una carga de trabajo determinada sin presentar fatiga” (67).

Para calcular el TMTA se realizan pruebas en las que inicialmente se calcula el consumo de oxígeno máximo de un trabajador en un tipo de trabajo explícito y la carga soportada en el momento de lograrlo, determinando así la carga de trabajo máxima. El TMTA puede ser calculado a través de la medición del tiempo que un individuo puede sostener un porcentaje dado de su carga de trabajo máxima (o de sus indicadores como el VO2 o la FC) sin presentar signos de fatiga. Existen

tablas guías de acuerdo a estudios realizados en diferentes poblaciones ejecutando distintos tipos de trabajo, principalmente en condiciones de laboratorio. Para mayor exactitud y precisión se recomienda realizar las pruebas en la población a intervenir y en trabajos muy similares al que se desea dosificar, en estos estudios se obtienen fórmulas que permitirán posteriormente calcular los tiempos de exposición de los trabajadores a las diferentes cargas de trabajo o ajustar las jornadas laborales de acuerdo a las cargas que deben manejarse. Adicionalmente, pueden obtenerse datos acerca de los tiempos de recuperación y momentos en que deben administrarse en cada trabajo, que permitirían prolongar el TMTA y aumentar la productividad de los trabajadores sin exponer su salud.

3.9 MODELO TEÓRICO

“Relación salud-trabajo y desarrollo social: visión particular en los trabajadores de la educación”.

Se eligió como modelo teórico el trabajo realizado por Arnoldo Gabaldón (68) en el que caracteriza la relación entre salud, trabajo y desarrollo social, enfatizando en el vínculo entre las condiciones de trabajo y las condiciones de vida, las cuales son influidas por el modelo de desarrollo económico. El autor hace hincapié en la concentración del capital y el aumento de la pobreza, desempleo, flexibilización y precarización del trabajo, y su impacto negativo en el medio ambiente y la salud de los trabajadores.

El autor plantea los temas tratados en el modelo enmarcándolos dentro del contexto latinoamericano. Expone que el modelo de desarrollo de los países subdesarrollados se ha caracterizado por la expansión económica dejando de lado el desarrollo social, resultando en aumento de la injusticia social y las inequidades. Por lo que a partir de los 80 se maneja el concepto de desarrollo sustentable, enfatizando el sentido humano y el medio ambiente.

Desde la perspectiva del desarrollo humano el **consumo** de bienes y servicios (alimentación, vivienda, agua, saneamiento ambiental, atención médica y vestimenta son necesarias para una vida larga y saludable) afecta la vida de las personas y se considera como medio para el desarrollo humano, desenfocando el protagonismo que se la ha dado históricamente a la producción.

El señor Gabaldón resalta la necesidad de vincular el proceso salud-trabajo-enfermedad con el desarrollo social argumentando que aspectos de la vida de los trabajadores inciden de manera directa en las formas de enfermar y de morir de las poblaciones.

En el documento se hace referencia al Modelo Médico y a la epidemiología clásica y se critica la reducida importancia que tiene el componente social dentro de la salud del trabajador, así mismo, se señala que el abordaje o enfoque se centra en la enfermedad: “Trata la enfermedad antes que la salud, la enfermedad antes que el paciente los síntomas antes que las causas, las causas individuales antes que las sociales y las enfermedades orgánicas antes que las funcionales”. Lo que conlleva a esconder tanto el origen social de los problemas de salud como a los responsables de mantener (o cambiar) las condiciones de trabajo que atentan contra la salud de los trabajadores (o las que podrían favorecerla).

Por otra parte, se menciona a la “medicina social”, y al respecto resaltan el abordaje que la misma hace entre la salud y el proceso de trabajo, enfatizando en las consecuencias del modelo económico sobre la salud de los trabajadores, especialmente en aspectos como la flexibilización y precarización de las condiciones de trabajo que de acuerdo a lo considerado, está ligado al aumento de trabajadores que presentan accidentes y enfermedades laborales.

Gabaldón resalta aspectos como la extensión de la jornada laboral, los tipos de contratación, la organización del trabajo y todos los cambios que se vienen realizando al respecto y que afectan a los trabajadores, a su salud, a su desarrollo

y en general al desarrollo colectivo y social de las poblaciones trabajadoras y de países de la región.

Se considera fundamental que la relación producción-consumo sea entendida como unidad dialéctica indisoluble, argumentando que “aunque el ser humano produce para satisfacer sus necesidades, esta satisfacción no se materializa en el propio acto de producir, sino que logra su concreción en el momento del consumo”. En este sentido, se identifica un vínculo entre el momento de la producción y las condiciones de trabajo, y otro, entre el momento del consumo y las condiciones de vida. De la relación “condiciones de trabajo-condiciones de vida” entonces se desprenden los perfiles de salud-enfermedad de las poblaciones socialmente determinadas.

“La salud está en relación estrecha con el trabajo que cada individuo desarrolla y con las posibilidades de satisfacción de sus necesidades básicas”. El proceso de salud enfermedad responde a las formas de producir y consumir, de trabajar y de vivir como individuo y como parte de una colectividad o población social.

El autor retoma el término “procesos protectores” del trabajo, propuesto por Breilh, para referirse a aquellos factores que facilitan el desarrollo de las capacidades intelectuales, fisiológicas y morfológicas, y que pueden fomentarse a partir de las condiciones trabajo, “por los medios y objeto de trabajo y por la organización y división del mismo”.

Para finalizar, Gabaldón hace hincapié en la necesidad de avanzar “hacia un modelo de desarrollo más humano que priorice el trabajo digno, la salud, estimule el desarrollo de las capacidades, potencialidades humanas y promueva la solidaridad entre los pueblos.”

Aunque este modelo teórico originalmente fue propuesto para trabajadores de la educación, ofrece un marco contextual en el que caben los trabajadores de otros sectores y actividades económicas. El modelo se basa en los planteamientos de

diversos autores entre ellos reconocidos autores latinoamericanos (Betancourt, Breilh) cuyos trabajos contienen las condiciones de nuestra región y exaltan la determinación social. Se eligió este modelo teórico teniendo en cuenta lo anterior, debido a que como se expone en el planteamiento del problema del presente estudio, las investigaciones en Colombia y en Latinoamérica son escasas y por ende se toma como referencia los estudios realizados en poblaciones extranjeras en los que no sólo las características físicas son diferentes, sino que además, están condicionados socialmente por otros factores y situaciones.

Se eligió este modelo porque contempla la importancia del enfoque de desarrollo humano, de la determinación social y prioriza la relación salud-trabajo y desarrollo social, en la que el trabajador y la sociedad con sus modelos de desarrollo cumplen roles determinantes en el proceso de salud de la población, reconociendo que existen factores protectores desde los que es posible mejorar las condiciones de vida y de trabajo de las personas, a diferencia del modelo médico en el que se aborda la enfermedad como protagonista.

Se eligió este modelo, porque la presente investigación está enmarcada dentro de la ergonomía que estudia cómo el trabajo afecta a las personas y trata de proponer soluciones para mejorar esta relación. Aunque la investigación se sitúa en el dominio físico y el enfoque fisiológico de la ergonomía, en apartes del trabajo se habla sobre la relación con el dominio organizacional, la cual es necesaria para que las modificaciones dentro de la actividad puedan ejecutarse. Del mismo modo, la ergonomía busca que el trabajo no supere las capacidades humanas, sino que por el contrario su diseño se base en éstas, para prevenir estados de fatiga que no afectarían única ni principalmente el momento de producción, sino también en el momento de consumo. Las capacidades fisiológicas como parte de las capacidades totales de los trabajadores pueden y deben fomentarse y protegerse dentro de las condiciones de trabajo como también dentro de las condiciones de vida, en las cuales se interaccionaría con otros bienes que no están contenidos en el presente estudio pero que son igual de importantes.

3.10 MARCO LEGAL

Colombia cuenta con una amplia legislación en salud ocupacional que busca proteger, mantener y mejorar las condiciones de vida y salud y las condiciones laborales de los trabajadores, y por ende tendientes a identificar los riesgos y mantenerlos bajo control. A continuación se hace un breve recuento de algunas de las disposiciones legales de las que se dispone en el territorio nacional:

Decreto Ley 2663 de 1950 Código sustantivo de Trabajo, en el cual se hace mención al deber de conocer e informar los riesgos presentes durante el desarrollo de determinada actividad o proceso. Adicionalmente se dan disposiciones sobre la higiene y seguridad en el trabajo.

La Ley 9 de 1979 Código Sanitario Nacional, reglamenta la prevención de todo daño en la salud de las personas, derivado de las condiciones de trabajo, y resalta que la salud de los trabajadores es indispensable para el desarrollo socio-económico de Colombia,

Resolución 2400 de 1979, hace referencia a la manipulación manual de cargas y establece valores límite para el levantamiento de estas.

Decreto 614 de 1984, se refiere a la organización y administración de la salud ocupacional en el país, y nuevamente se hace referencia al mejoramiento de las condiciones de vida y salud de la población trabajadora, a la prevención de todo daño para la salud de las personas, derivado de las condiciones de trabajo y al control de los agentes nocivos para la salud integral del trabajador en los lugares de trabajo.

Resolución 1016 de 1989, establece el desarrollo de actividades de vigilancia epidemiológica que incluyan como mínimo accidentes de trabajo, enfermedades profesionales y panorama de factores de riesgo.

Decreto Ley 1295 de 1994, reglamenta la organización y administración del Sistema General de Riesgos Profesionales, establece la obligación del empleador por procurar el cuidado integral de sus trabajadores y de los ambientes de trabajo.

NTC 3955: plantea parámetros para la aplicación de los conocimientos de ergonomía en Colombia.

NTC 5655: establece principios y define términos que orientan el diseño ergonómico de los sistemas de trabajo, atendiendo los requisitos humanos, sociales y técnicos, durante el proceso de diseño.

Ley 1562 de 2012 por la cual se modifica el sistema de riesgos laborales y se dictan otras disposiciones en materia de salud ocupacional, si bien las disposiciones anteriores no son específicas sobre el riesgo de presentar fatiga, dado que el enfoque fisiológico ha sido poco utilizado en país para abordar los riesgos ergonómicos y laborales y por lo tanto ha sido poco evidente, tampoco delimitan el tipo de factores o peligros a los que se encuentran expuestos los trabajadores, permitiendo proponer acciones preventivas tendientes a cumplir con los objetivos legales propuestos desde un dominio físico de la ergonomía y más concretamente desde el dominio fisiológico.

Ahora bien, al revisar la normatividad internacional se encuentran líneas guías de reconocidas instituciones como la ISO, la UNE, entre otras, de las cuales cabe resaltar las abajo mencionadas:

Evaluación De la UNE-EN 28996, expone conceptos fundamentales de la ergonomía, menciona las bases de la fisiología del esfuerzo físico, el estudio del metabolismo de trabajo, el calor metabólico, la frecuencia cardíaca y el efecto del entrenamiento sobre el cuerpo humano), se sistematiza en la norma técnica ISO 8996 (1990) que revisa el calor metabólico.

NTP 177 INTHS: Establece la definición y evaluación de la carga física de trabajo.

NTP 295 INTHS: Plantea la valoración de la carga física mediante la monitorización de la frecuencia cardíaca. El análisis de la frecuencia cardíaca permite estudiar la carga física desde dos puntos de vista bien diferenciados, aunque complementarios: Cualitativo y Cuantitativo.

ISO 6385 (2004): establece principios de la ergonomía como líneas guía para el diseño de sistemas de trabajo. Propone un abordaje multidisciplinario que busque un balance entre los requerimientos humanos, sociales y técnicos en el diseño del sistema de trabajo. Los principios descritos en esta guía pueden ser aplicables a cualquier campo de la actividad humana y no solo en el ámbito laboral.

4. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

Establecer la relación entre Tiempo Máximo de Trabajo Aceptable y carga física de trabajo, cuando el trabajo se realiza predominantemente con miembros inferiores, en un grupo de trabajadores colombianos residentes en la ciudad de Cali.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

4.2.1 Describir la relación existente entre el VO2 máximo global y el VO2 máximo cuando el trabajo se realiza predominantemente con miembros inferiores.

4.2.2 Establecer el comportamiento de la Frecuencia cardiaca en relación con el VO2 total y el VO2 de miembros inferiores

4.2.3 Determinar la respuesta fisiológica ante diferentes cargas de trabajo para miembros inferiores y tiempos de exposición a la misma mediante el VO2 y la FC.

5. METODOLOGÍA

5.1 TIPO DE ESTUDIO

Con el fin de dar cumplimiento a los objetivos propuestos se desarrolló una investigación de modelo cuantitativo y de tipo descriptivo transversal correlacional.

5.2 ÁREA DE ESTUDIO

El estudio se realizó en las instalaciones de una empresa prestadora de servicios de salud ocupacional y en el laboratorio de fisiología de una universidad. Se contó con presencia de personal médico durante la ejecución de todas las pruebas, para dar respuesta inmediata ante cualquier eventualidad que pudiera presentarse.

5.3 POBLACIÓN Y MUESTRA

5.3.1 Población de estudio

La población objetivo para esta investigación está constituida por trabajadores con edades entre 20 y 40 años (hombres y mujeres) de diferentes actividades económicas de la ciudad de Cali.

5.3.2 Tamaño de muestra

Con base en la subrutina del programa estadístico Medcalc y la subrutina tamaño de muestra para coeficiente de correlación, considerando un nivel de confianza del 95% ($\alpha=0,05$), un poder del 80% ($\beta=0,20$), y un coeficiente de correlación esperado mayor igual a 0,70 (considerado a partir de la revisión de estudios de este tipo) el tamaño de muestra mínimo requerido para el estudio fue de 13, no

obstante se tomaron 30 trabajadores inicialmente y para las pruebas de TMTA se consideraron solamente 15, teniendo en cuenta los recursos con los que se disponía. Ambos tamaños están dentro de los requerimientos de muestra.

Tabla 1. Cálculo del tamaño de muestra

Type I error - Alpha

☐ 0.20
☐ 0.10
☒ 0.05
☐ 0.01

Type II error - Beta

☒ 0.20
☐ 0.10
☐ 0.05
☐ 0.01

Input

Correlation coefficient:

Result

Minimal required sample size:

		Type I Error - Alpha			
		0.20	0.10	0.05	0.01
Type II Error - Beta	0.20	9	11	13	18
	0.10	12	14	17	23
	0.05	14	17	20	26
	0.01	20	24	27	35

5.3.3 Muestreo

Se realizó convocatoria en 5 empresas dedicadas a diferentes actividades económicas, elegidas por conveniencia del grupo investigador, abierta a otros trabajadores no vinculados a dichas empresas. Se obtuvo respuesta de 50 voluntarios de los cuales fueron seleccionados 30 a través de muestreo aleatorio, todos participaron en las pruebas iniciales de VO2 max y sólo 15 de ellos en las pruebas de TMTA (ver procedimiento; fase 2: reclutamiento y selección de la muestra).

5.3.4 Criterios de Inclusión.

Fueron elegibles para participar en el estudio hombres y mujeres entre los 20 y los 40 años, que no presentaban restricción médica en el momento de las pruebas, que fueron clasificados como aptos según el test PAR-Q y que estaban afiliados a una EPS.

5.3.5 Criterios de Exclusión.

No pudieron participar en el estudio los sujetos que afirmaron presentar dolor u otro síntoma al realizar actividad física, alteraciones del equilibrio, vértigo, mareos o desmayos, alguna molestia o lesión osteomuscular, aquellos que estuviesen consumiendo medicamentos, los que cursaban por un proceso infeccioso, que tuvieran alteraciones y/o enfermedades cardíacas o respiratorias, que hubieran presentado algún evento cardiovascular o cerebrovascular, que presentaban hipertensión arterial, que hubieran sido sometidos a cirugías en los últimos seis meses, quienes presentaban cualquier tipo de neoplasia, enfermedades endocrinas, enfermedades del tejido conectivo o síndromes febriles.

No se incluyeron en el estudio a personas que entrenaban alguna disciplina deportiva más de 4 veces por semana.

5.3.6 Criterios de Eliminación.

Serían eliminados del estudio aquellos participantes que habiendo sido seleccionados inicialmente no cumplieran con las indicaciones que se les dio y consumieran bebidas alcohólicas durante las 24 horas previas a las pruebas; tabaco, sustancias psicoactivas o estimulantes, bebidas cafeinadas, té o chocolate en las últimas dos horas, quienes superaran las 3 horas de ayuno, aquellos que hubieran realizado actividad física extenuante el día anterior o no hayan dormido lo suficiente la noche anterior a la realización de las pruebas. Así mismo, quienes

por algún motivo no completaran las pruebas necesarias para el análisis de datos y aquellos que durante el chequeo médico inicial presentaran cualquier alteración, no podrían continuar participando en el estudio.

5.4 VARIABLES

Variable	Definición	Definición operacional	Tipo de variable	Nivel de medicion
Sexo	Variable biológica y física que clasifica al ser humano en hombre o mujer.	Femenino Masculino	Cualitativa	Nominal
Edad	Tiempo transcurrido desde el nacimiento	Años cumplidos	Cuantitativa continua	De razón
Talla	Altura de una persona, medida de los pies al vértice de la cabeza.	Centímetros (Cm)	Cuantitativa continua	De razón
Peso	Valor arrojado por la báscula al medir la masa de cada participante en el laboratorio.	Kilogramos (Kg)	Cuantitativa continua	De razón
IMC	Medida de asociación entre el peso y la talla de un	Kilogramos/ metros al cuadrado	Cuantitativa continua	De razón

	individuo	(Kg/m ²)		
Peso Graso	Es el cálculo del peso de la grasa corporal basándose en el porcentaje del mismo obtenido a través de la medición antropométrica y la fórmula utilizada.	Kilogramos (Kg)	Cuantitativa continua	De razón
% Grasa	Es el valor estimado de grasa corporal arrojado por la fórmula utilizada en la que se consignan los valores medidos con el caliper.	Porcentaje (%)	Cuantitativa continua	De razón
Peso Muscular	Es el peso correspondiente a la masa muscular de cada participante.	Kilogramos (Kg)	Cuantitativa continua	De razón
% Muscular	Es el porcentaje del peso muscular con respecto al peso corporal.	Porcentaje (%)	Cuantitativa continua	De razón
VO2 max	Consumo de oxígeno máximo	Kilogramos/	Cuantitativa	De razón

MMII	alcanzado con el trabajo de miembros inferiores (en bicicleta).	mililitros/minuto (Kg/ml/min)	continua	
VO2 max Total	Consumo de oxígeno máximo alcanzado con el trabajo de miembros inferiores (en elíptica).	Kilogramos/ mililitros/minuto (Kg/ml/min)	Cuantitativa continua	De razón
VO2CT	Valores de consumo de oxígeno registrados minuto a minuto durante la prueba submáxima de cuerpo entero.	Kilogramos/ mililitros/minuto (Kg/ml/min)	Cuantitativa continua	De razón
FC_{CT}	Valores de frecuencia cardiaca registrados minuto a minuto durante la prueba submáxima de cuerpo entero.	Latidos por minuto (lpm)	Cuantitativa continua	De razón
V O2MMI	Valores de consumo de oxígeno registrados minuto a minuto durante la prueba submáxima	Kilogramos/ mililitros/minuto (Kg/ml/min)	Cuantitativa continua	De razón

	de miembros inferiores.			
FC_{MMI}	Valores de frecuencia cardiaca registrados minuto a minuto durante la prueba submáxima de miembros inferiores.	Latidos por minuto (lpm)	Cuantitativa continua	De razón
VO2RCT	VO2 relativo calculado a partir de la prueba de cuerpo entero.	Porcentaje (%)	Cuantitativa continua	De razón
FCR_{CT}	Frecuencia cardiaca relativa calculada a partir de la prueba de cuerpo entero.	Porcentaje (%)	Cuantitativa continua	De razón
VO2RMMI	VO2 relativo calculado a partir de la prueba de miembros inferiores.	Porcentaje (%)	Cuantitativa continua	De razón
FCR_{MMI}	Frecuencia cardiaca relativa calculada a partir de la prueba de	Porcentaje (%)	Cuantitativa continua	De razón
%W MMII	Porcentaje de la	Porcentaje (%)	Cuantitativa	De razón

	carga física (resistencia) en watts con la que se trabajaba al momento de alcanzar el VO2 máximo en la prueba de miembros inferiores		continua	
TMTA	(Tiempo máximo de trabajo aceptable) es el tiempo máximo durante el cual el participante logra mantener una carga de trabajo sin presentar fatiga.	Minutos	Cuantitativa continua	De razón
VO2 w MMII	VO2 de miembros inferiores alcanzado en cada carga antes de que la frecuencia cardiaca se incremente en 10 lpm	Kilogramos/ mililitros/minuto (Kg/ml/min)	Cuantitativa continua	De razón
% VO2 w MMII	Es el porcentaje del VO2 de miembros inferiores alcanzado en cada carga antes	Porcentaje (%)	Cuantitativa continua	De razón

	de que la frecuencia cardiaca se incremente en 10 lpm			
%VO2R w MMII	Índice de consumo de oxígeno relativo de miembros inferiores: $(VO_2 \text{ w de MMII} - VO_2 \text{ de reposo}) / (VO_2 \text{ máximo de MMII} - VO_2 \text{ de reposo})$	Porcentaje (%)	Cuantitativa continua	De razón
FC w MMII	Frecuencia cardiaca promedio alcanzada con cada carga de miembros inferiores	Latidos por minuto (lpm)	Cuantitativa continua	De razón
%FCR w MMII	Índice de frecuencia cardiaca relativa de miembros inferiores: $(FC \text{ w de MMII} - FC \text{ de reposo}) / (FC \text{ máximo de MMII} - FC \text{ de reposo})$	Porcentaje (%)	Cuantitativa continua	De razón

5.5 RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Para llevar a cabo el proyecto de investigación se obtuvo con la autorización de dos instituciones para utilizar los equipos de medición y sus instalaciones, las cuales fueron idóneas para el desarrollo del estudio.

- 1). Universidad del Valle (laboratorio de fisiología del trabajo)
- 2). Institución prestadora de servicios de salud ocupacional.

5.5.1 Instrumentos de recolección de la información y equipos de medición

Se utilizó inicialmente un formato para verificar la aptitud de los posibles participantes y una vez fueron seleccionados, previo a la realización de las pruebas se utilizó un segundo formato para realizar un chequeo físico. Ahora bien, para la recolección de la información propia de la investigación se utilizaron dos formatos (anexos 3 y 4):

5.5.1.1 Instrumento para verificar la aptitud del posible participante para las pruebas físicas (Anexo 1)

Está compuesto por:

- El Test Par Q (Physical Activity Readiness Questionnaire), destinado a evaluar si se necesita pedir una revisión médica antes de hacer ejercicio físico. Consta de siete preguntas, a las cuales hay que contestar sí o no.
- Lista de preguntas y requisitos que corresponden a contraindicaciones absolutas y relativas.

Se usó para determinar si la persona era apta para realizar las pruebas físicas o si tenía restricciones médicas.

5.5.1.2 Formato de Chequeo Físico (Anexo 2)

Fue diseñado con el fin de detectar o descartar aspectos que pudieran afectar la ejecución de las pruebas y para minimizar el riesgo de caídas o lesiones de los participantes, de acuerdo a las sugerencias realizadas por el Comité de Ética Humana de la Universidad.

5.5.1.3 Formato de recolección de datos antropométricos y fisiológicos (diseñado para el estudio) (Anexo 3)

Consta de tres partes:

- a) Datos de identificación personal: nombre del evaluador, nombre del sujeto y número de identificación.
- b) Datos antropométricos se tomó el registro de las siguientes variables con sus respectivos equipos de medición:
 - Peso corporal con una báscula electrónica
 - Talla: haciendo uso de un estadiómetro
 - Pliegues cutáneos (bíceps, tríceps, subescapular, ilio-crestal, muslo y pierna), para lo cual se utilizará un caliper Laffayette
 - Perímetros musculares (brazo relajado, brazo contraído, antebrazo contraído, muñeca, tórax, abdomen, cadera, muslo, pierna cuello del pie), utilizando la cinta antropométrica
 - Diámetros óseos (biepicondilar humeral, radio ulnar distal/muñeca, biepicondilar femoral) con antropómetro Laffayette

Los anteriores fueron utilizados para obtener el IMC ($\text{peso} / \text{talla}^2$), porcentaje de grasa corporal y porcentaje de masa muscular con la fórmula de composición corporal de Rose y Guimaraes.

Se realizó mantenimiento preventivo de los equipos y calibración de los mismos antes de cada prueba.

c) Datos fisiológicos:

Se realizaron inicialmente dos pruebas físicas máximas mencionadas a continuación, para determinar el VO₂ máximo y la FC máxima con relación a los segmentos utilizados, para esto se ejecutaron ejercicios con carga incremental basados en el protocolo empleado por Maidorn y Mellerowicz, 1962, el cual consiste en cargas crecientes de 50 watts con incremento de 50 watts cada dos minutos y una cadencia de 60rpm.

I. Ergoespirometría de miembros inferiores utilizando un cicloergómetro de miembros inferiores Monark Ergomedic 828 y II. Ergoespirometría de cuerpo entero haciendo uso de una elíptica, debidamente calibrada con indicador de trabajo en Watts y Kilocalorias. Antes de iniciar las pruebas y después de 15 minutos de reposo se registró la frecuencia cardíaca, la tensión arterial y el VO₂, así mismo se hizo una vez finalizadas durante el tiempo de recuperación. Durante las pruebas se midió la frecuencia cardíaca a través de un pulsómetro Polar REF RS810, el cual viene dotado de un software y tecnología infrarroja que permite la transferencia de los datos al computador. Para el VO₂ se utilizó un espirómetro FITMATE PRO que registra automáticamente el consumo de oxígeno cada 20 segundos y lo guarda en un software, lo cual facilitó su posterior análisis. Las pruebas se realizaron en el orden anteriormente mencionado y se otorgó a los participantes del estudio el tiempo suficiente de recuperación entre cada prueba verificado por el recobro de su frecuencia cardíaca de reposo. Una vez se obtuvo el VO₂ máximo de cada participante en la prueba de miembros inferiores, la carga de trabajo tolerada en ese momento fue definida como la capacidad de trabajo máxima (W max) de cada participante. Se aplicó protocolo para medición de consumo de oxígeno máximo teniendo como criterios que cada individuo alcanzara por lo menos el 90% de la frecuencia cardíaca máxima teórica ($220 - \text{edad}$), un coeficiente respiratorio superior a 1, presencia de meseta en el máximo nivel de la pendiente sin un crecimiento aparente de la misma. Se contó con aire acondicionado en las instalaciones, manteniendo una temperatura confortable durante la ejecución de las pruebas. Se limpiaron y desinfectaron los equipos de

uso personal (como las máscaras antes de cada prueba y las bandas con sensores) y todos los instrumentos fueron calibrados antes de cada prueba.

5.5.1.4 Formato de recolección de datos de Tiempo Máximo de Trabajo Aceptable para trabajo con Miembros Inferiores (Anexo 5)

Una vez se obtuvo la W max de cada participante se citó a 15 de los 30 sujetos tres veces más para que realizaran pruebas en el cicloergómetro - Monark Ergomedic 828 de miembros inferiores al 50%, 30% y 20% de su Wmax, manteniendo una cadencia de pedaleo constante a 60 RPM. Se otorgaron 10 minutos de recuperación por cada 50 minutos de pedaleo. La prueba fue finalizada cuando cada participante refirió sentirse exhausto y tomó la decisión de suspenderla de forma voluntaria. Al igual que en las pruebas anteriores se utilizó el pulsómetro POLAR RS 810 para registrar la frecuencia cardiaca y el ergoespirómetro FITMATE para el VO2 guardando los datos automáticamente cada 20 segundos en el software. Se contó con el Formato de recolección de datos de Tiempo Máximo de Trabajo Aceptable para trabajo con Miembros Inferiores, para realizar el registro manual de la información, además se consignaron datos relacionados con la hora de inicio y finalización, el %Wmáx al que se está trabajando y las observaciones pertinentes. Al igual que en las pruebas de capacidad máxima, se controló la temperatura ambiental y se calibraron los equipos utilizados.

6. PROCEDIMIENTO

Fase 1. Preparación para el estudio

Los investigadores recibieron capacitación y entrenamiento respecto a los procedimientos de las pruebas, la aplicación de los instrumentos y el uso de los equipos por parte de expertos en el tema.

Fase 2. Reclutamiento y selección de la muestra

Después de calcular el tamaño de la muestra ($n=13$) y de establecer los criterios de inclusión y exclusión, se llevó a cabo una convocatoria en 5 empresas (elegidas por conveniencia del grupo investigador) que realizan diferentes actividades económicas con áreas administrativas y operativas, a través de correo electrónico, posters y por vía oral a los posibles participantes, a quienes se explicó el objetivo y los procedimientos del estudio. No se eligió una empresa en particular para llevar a cabo el estudio debido a que el tiempo que debían invertir los participantes en la ejecución de las pruebas era extenso y el estudio no fue patrocinado por ninguna empresa y no buscaba beneficiar a una ninguna en particular, por el contrario, se buscaba estudiar las respuestas fisiológicas descritas en los objetivos en un grupo de trabajadores con características típicas de la población colombiana, residente en la ciudad de Cali, que abriera la puerta a futuros estudios que pueden ser desarrollados con intereses particulares o colectivos y en los que se esperaba que se tuvieran en cuenta otros factores como la determinación social.

Se solicitó a los trabajadores invitados, extender la convocatoria a otros trabajadores conocidos que pudieran estar interesados, sin necesidad de estar vinculados a las empresas en las que se realizó la convocatoria.

No era interés del presente estudio contar exclusivamente con la participación de sujetos que se desempeñaran en actividades físicas exigentes en las que se

utilizaran miembros inferiores de forma predominante, debido a que en nuestro país la mayoría de empresas no exige que los trabajadores estén entrenados para realizar la labor para la que serán contratados, sobre todo en el caso de los trabajos físicos (y en ese caso podrían tener cambios por adaptación lo que alteraría el resultado del estudio pues no sería aplicable a población no entrenada).

A la convocatoria respondieron 50 sujetos, trabajadores de diferentes actividades y áreas con distintos niveles de exigencia física (desde sedentaria hasta pesada). A estos 50 respondientes se les aplicó el instrumento para valoración de aptitud del posible participante para las pruebas físicas (anexo 1), para identificar aquellos voluntarios que podrían hacer parte del estudio y posteriormente fueron seleccionados 30 a través de muestreo aleatorio, quienes cumplieron los criterios establecidos y firmaron el consentimiento informado. Estos 30 sujetos participaron en las pruebas iniciales con las que se desarrollaron los objetivos 1 y 2. No obstante, para las pruebas de TMTA únicamente se contó con la participación de 15 de esos 30 sujetos, debido a la limitación de los recursos (tiempo de los participantes, no patrocinio económico externo, tiempo de los investigadores, solo se contaba con un ergoespirómetro, las locaciones donde se desarrollaron las pruebas estaban disponibles en horarios limitados).

Se utilizó el programa Medcalc para calcular el tamaño de la muestra, se realizó muestreo aleatorio utilizando Excel y una vez seleccionada la muestra, justo antes de iniciar las pruebas se diligenció el formato de chequeo médico (anexo 2) para verificar que los sujetos elegidos realmente eran aptos para las pruebas y así minimizar los riesgos de eventos adversos.

Fase 3. Aplicación de instrumentos de recolección de la información

Una vez seleccionados los sujetos y habiendo verificado su posibilidad de participar, se aplicó el formato de recolección de datos antropométricos y fisiológicos (anexo 3). Posteriormente, se citó a los participantes tres veces más

para que realizaran las pruebas para determinar el TMTA de miembros inferiores al 20%, 30% y 50% de su W máx y se diligenció el Formato de recolección de datos de Tiempo Máximo de Trabajo Aceptable para trabajo con Miembros Inferiores (anexo 4). Se obtuvo un registro magnético y uno manual de los valores de FC y VO₂.

Fase 4: sistematización y procesamiento de la información

Los registros de la FC, el VO₂ y las demás variables fueron tabulados en bases de datos en Excel. Posteriormente se utilizó el programa SPSS Versión 22 para realizar análisis univariado en las que se calcularon datos de tendencia central y de dispersión, tales como el promedio, mediana, desviación estándar, rango intercuartil. Para determinar diferencias entre hombres y mujeres se utilizó la prueba ANOVA. Para el análisis de regresión se construyeron en Excel graficas de dispersión, se estimó un modelo de regresión lineal simple y se obtuvo el coeficiente de correlación de Pearson (R) y el coeficiente de determinación (R^2). Para el objetivo 3 se construyeron modelos de regresión cúbica. Se utilizó el programa Medcalc para calcular el grado de concordancia entre métodos para el caso puntual del objetivo específico 1, a través del método Coeficiente de Correlación de Concordancia propuesto por Lin (1989) y su intervalo de confianza del 95% (IC95%).

Fase 5: análisis y discusión de los resultados

Se contrastaron los resultados con estudios previos sobre el tema y se sacaron conclusiones

Fase 6: socialización de los resultados

Una vez finalizado el estudio se presentarán los resultados al Programa de Maestría en Salud Ocupacional, a la Escuela de Salud Pública y al público que pueda interesarle. Adicionalmente se redactará un artículo y se buscará su publicación en una revista científica.

7. CONSIDERACIONES ÉTICAS

De acuerdo con las consideraciones éticas dispuestas en la resolución 008430 de 1993 del ministerio de salud, este proyecto de investigación se clasifica en la categoría investigación con riesgo mínimo la cual incluye “exámenes físicos o psicológicos de diagnóstico o tratamientos rutinarios, no representando algún riesgo o daño para la salud de los sujetos en quienes se realice la investigación”.

Posterior a la explicación de los objetivos y los procedimientos del estudio y como requisito para iniciar la intervención se hizo entrega del consentimiento informado (Anexo 5) a cada sujeto en el que se reiteró el carácter voluntario de la participación y de su permanencia en el estudio, pudiendo retirarse en el momento que lo decidiera.

Se informó a los sujetos que su participación en el estudio podía representar los siguientes riesgos:

- Caídas, dolor muscular,
- Fatiga o cansancio extremo.
- Aumento de la frecuencia respiratoria
- Aumento de la frecuencia cardiaca
- Aumento de la presión arterial
- Aumento de la temperatura corporal
- Isquemia cardiaca si existe algún antecedente previo de enfermedad coronaria.
- Síncope

Para minimizar los riesgos se utilizaron las siguientes estrategias:

- Aplicación del test PAR-Q para filtrar el personal apto para el estudio, reduciendo el riesgo de complicaciones de salud de los posibles participantes, pues en los casos en los que alguna de las respuestas fue afirmativa el sujeto no hizo parte del estudio, se le explicó el motivo y se le recomendó consultar al médico.
- Se contó con la presencia de personal médico durante la fase de recolección de datos y de su disponibilidad hasta las primeras 24 horas posteriores a la ejecución de las pruebas para recibir consultas en caso de que cualquiera de los participantes llegara a presentar algún síntoma o malestar.
- Las instalaciones donde se desarrollaron las pruebas contaban con personal de salud y estaban cerca de instituciones prestadoras de servicios de salud, facilitando la atención médica de los participantes en caso de presentarse alguna complicación.

Se brindó a los participantes la información necesaria de los investigadores y se aclararon las dudas que manifestaron los sujetos.

Así mismo, se garantizó la confidencialidad de los participantes asegurando no revelar su identidad y con el compromiso de que a la información personal únicamente tendrían acceso los investigadores y que no será publicada en ningún momento.

La participación de los sujetos no les generó gastos ni les aportó retribuciones económicas. Entre los beneficios están el conocimiento de los niveles de entrenamiento y capacidad física de trabajo, datos relacionados con la composición corporal y recomendaciones relacionadas, la cual fue entregada a los participantes que así lo solicitaron.

8. RESULTADOS

A continuación se exponen los resultados obtenidos sobre los datos antropométricos y fisiológicos de los participantes, la relación entre las respuestas fisiológicas cuando el trabajo se realiza con diferentes segmentos y la relación entre el TMTA y la CFT, al utilizar predominantemente los miembros inferiores para ejecutar el trabajo.

El formato de recolección de datos antropométricos y fisiológicos (Anexo 3) fue aplicado al total de los participantes por lo que se tiene información de 30 personas, mientras que los datos extraídos del Formato de recolección de datos de tiempo máximo de trabajo aceptable para trabajo con miembros inferiores (Anexo 4), fueron obtenidos de la mitad (15) de los sujetos, quienes realizaron las pruebas pertinentes, las cuales exigían mayor inversión de recursos (humanos, físicos y financieros).

8.1 ANÁLISIS UNIVARIABLE

De las 30 personas que participaron en el estudio, 17 (56. 6%) son mujeres (ver gráfica 1).

Gráfica 1. Sexo de los participantes

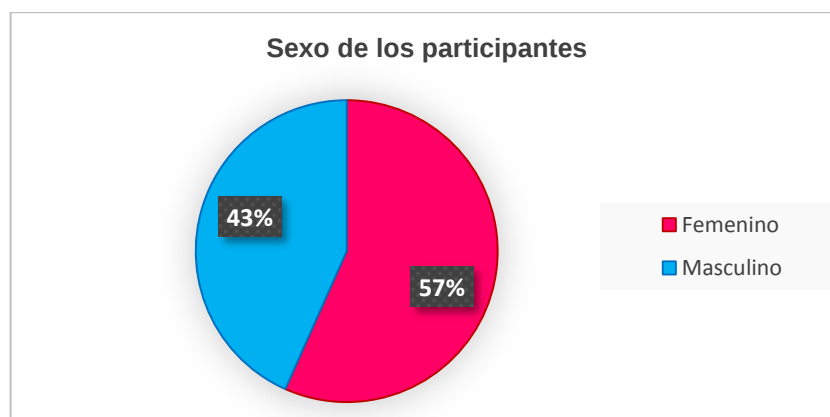


Tabla 2. Edad de la población estudiada

Características	Descriptivas	Valor p
EDAD (años) n		
Media $\pm$ Desviación estándar	30 24,2 $\pm$ 4,0	-
Rango	22 – 37	
Mediana	27,5	
Rango intercuartil	25 – 32	
EDAD HOMBRES (años)n		0,645
Media $\pm$ Desviación estándar	13 28 $\pm$ 4,5	
Rango	22 – 34	
Mediana	26	
Rango intercuartil	24 – 33	
EDAD MUJERES (años) n		
Media $\pm$ Desviación estándar	17 28,7 $\pm$ 3,7	
Rango	23 – 37	
Mediana	28	
Rango intercuartil	26 – 31	

La edad media de la población fue de 24 ± 4 años, en un rango entre 22 y 37 años (ver tabla 2).

Características antropométricas de los sujetos de estudio

Tabla 3. Datos de talla y peso corporal

Características	Descriptivas	Valor p
TALLA (cm) n	30	-
Media $\pm$ Desviación estándar	168,8 $\pm$ 6,2	
Rango	157 – 181	
Mediana	168	
Rango intercuartil	164,7 - 173,2	
TALLA HOMBRES (cm) n	13	<0,001 (*)
Media $\pm$ Desviación estándar	173,4 $\pm$ 5,0	
Rango	165 – 181	
Mediana	173	
Rango intercuartil	169,0 – 178,5	
TALLA MUJERES (cm) n	17	
Media $\pm$ Desviación estándar	165,3 $\pm$ 4,5	
Rango	157 - 175	
Mediana	165	
Rango intercuartil	162 – 168	
PESO (Kg) n	30	---
Media $\pm$ Desviación estándar	65,8 $\pm$ 7,7	
Rango	54 – 85	
Mediana	64	
Rango intercuartil	60,5 – 70,2	
PESO HOMBRES (Kg) n	13	0,100
Media $\pm$ Desviación estándar	68,4 $\pm$ 8,9	
Rango	54 - 85	
Mediana	68	
Rango intercuartil	63,5 – 76,5	
PESO MUJERES (Kg) n	17	
Media $\pm$ Desviación estándar	63,7 $\pm$ 6,1	

Rango	57 – 78	
Mediana	63	
Rango intercuartil	63 – 65,5	
IMC (Kg/m²)	30	
Media ± Desviación estándar	23,3 ± 2,84	
Rango	18,3 – 28,7	
Mediana	22,9	
Rango intercuartil	20,9 – 24,9	
IMC HOMBRES (Kg/m²) n	13	0,264
Media ± Desviación estándar	22,6 ± 2,6	
Rango	18,3 – 26,8	
Mediana	22,97	
Rango intercuartil	22,9 – 24,6	
IMC MUJERES (Kg/m²) n	17	
Media ± Desviación estándar	23,8 ± 2,9	
Rango	20,1 – 28,7	
Mediana	24,2	
Rango intercuartil	20,9 – 25,6	

(*) Diferencias estadísticamente significantes

La talla de los sujetos de estudio oscila 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. Siendo esta una de las variables antropométricas en las que se encontró una diferencia estadísticamente significativa entre ambos géneros ($p < 0,001$).

En el momento en el que se realizaron las mediciones el peso corporal medio de los participantes era $65,8 \pm 7,7$ Kg, la participante más liviana pesó 54 Kg y el más pesado 85 Kg. La diferencia entre géneros no resultó estadísticamente significativa ($p = 0,1$).

El índice de masa corporal de los sujetos fluctuó entre 18.3 y 28,7 Kg/cm². La mayoría, (76.7%), de los participantes están dentro del rango normal (o normopeso), el porcentaje restante se encuentran con sobrepeso. No hay diferencia estadísticamente significativa al comparar los resultados de hombres y mujeres (p=0,264).

Tabla 4. Composición corporal

Características	Descriptivas	Valor p
PESO GRASO (Kg)	30	--
Media ± Desviación estándar	12,82 ± 6,26	
Rango	2,8 – 28,5	
Mediana	13.25	
Rango intercuartil	8.4 – 25,07	
PESO GRASO HOMBRES (Kg) n	13	0,028
Media ± Desviación estándar	10 ± 11,01	
Rango	2,8 – 28,5	
Mediana	6,3	
Rango intercuartil	5,2 – 15	
PESO GRASO MUJERES (Kg) n	17	
Media ± Desviación estándar	14,98 ± 4,32	
Rango	4,8 – 23,6	
Mediana	15,2	
Rango intercuartil	12,5 – 17,05	
PORCENTAJE DE GRASA (%) n	30	-
Media ± Desviación estándar	18,35 ± 9,06	
Rango	4,7 – 36	
Mediana	20,15	
Rango intercuartil	8,4 – 25,07	

PORCENTAJE DE GRASA HOMBRES		
(%) n	13	<0,001
Media ± Desviación estándar	11,01 ± 5,91	
Rango	4,7 – 22,7	
Mediana	8,5	
Rango intercuartil	6,7 - 16,05	
PORCENTAJE DE GRASA MUJERES		
(%) n	17	<0,001
Media ± Desviación estándar	23,95 ± 6,76	
Rango	7,7 – 36,0	
Mediana	24,8	
Rango intercuartil	21,2 – 27,9	
PESO MUSCULAR (Kg) n	30	-
Media ± Desviación estándar	30,32 ± 8,63	
Rango	18 – 51,5	
Mediana	27,35	
Rango intercuartil	24,25 – 35,12	
PESO MUSCULAR HOMBRES (Kg) n		
Media ± Desviación estándar	13	0,019
Rango	34,46 ± 7,2	
Mediana	24,8 – 51,5	
Rango intercuartil	32,7	
	30,15 - 38,4	
PESO MUSCULAR MUJERES (Kg) n		
Media ± Desviación estándar	17	0,019
Rango	27,15 ± 8,46	
Mediana	18 – 50	
Rango intercuartil	24,5	
	21,8 – 7,35	

PORCENTAJE MUSCULAR (%) n	30	--
Media $\pm$ Desviación estándar	45,63 $\pm$ 10,6	
Rango	29,2 – 68,2	
Mediana	43,1	
Rango intercuartil	37,25 – 51,3	
PORCENTAJE MUSCULAR HOMBRES (%) n	13	0,004
Media $\pm$ Desviación estándar	51,6 $\pm$ 8,01	
Rango	41,9 – 67,8	
Mediana	50,1	
Rango intercuartil	46,45 – 53,6	
PORCENTAJE MUSCULAR MUJERES (%) n	17	
Media $\pm$ Desviación estándar	41,02 $\pm$ 10,19	
Rango	29,2 – 68,2	
Mediana	38	
Rango intercuartil	35,7 – 42,4	

El peso graso de los participantes de la investigación fluctuó entre 2,8 y 28,5 Kg con una media de $12,82 \pm 6,26$ Kg; las diferencias entre hombres y mujeres no resultaron ser estadísticamente significativas ($p = 0,028$).

Los sujetos de estudio tenían un porcentaje de grasa que varió en un amplio rango entre 4,7 y 36%, con una media de $18,35 \pm 9,06\%$. El porcentaje de grasa de la mitad de las participantes de género femenino estuvo entre el 25 y el 36%, mientras que ninguno de los hombres presentaba un porcentaje de grasa superior al 23%. La diferencia entre géneros fue estadísticamente significativa ($p < 0,001$).

El peso muscular medio de los sujetos de estudios fue $30,32 \pm 8,63$ Kg, en un rango de 18 a 51,5 Kg. Las diferencias entre hombres y mujeres en esta variable pueden ser explicadas por el azar.

El porcentaje muscular de la mitad de las mujeres no fue superior a 36, mientras que la mayoría (75%) de los hombres tuvo un porcentaje muscular por encima del 46%. La diferencia resultó estadísticamente significativa de acuerdo al género ($p < 0,005$).

Tabla 5. Valores del VO2 máximo de acuerdo a los segmentos utilizados

Características	Descriptivas	Valor p
VO2 max MMII (Kg/ml/min) n	30	-
Media $\pm$ Desviación estándar	$26,39 \pm 4,6$	
Rango	18,9 – 36,3	
Mediana	25,6	
Rango intercuartil	23,25 – 29,47	
VO2 max MMII HOMBRES (Kg/ml/min) n	13	<0,001
Media $\pm$ Desviación estándar	$29,91 \pm 4,07$	
Rango	24,5 – 36,3	
Mediana	29,7	
Rango intercuartil	25,7 – 33,85	
VO2 max MMII MUJERES (Kg/ml/min) n	17	
Media $\pm$ Desviación estándar	$23,7 \pm 2,86$	
Rango	18,9 – 29,2	
Mediana	24,4	
Rango intercuartil	21 – 25,8	

VO2 max TOTAL (Kg/ml/min) n	30	
Media ± Desviación estándar	30,48 ± 5,53	-
Rango	20,5 – 41,2	
Mediana	29,2	
Rango intercuartil	26,62 – 34,67	
VO2 maxTOTAL HOMBRES (Kg/ml/min) n	13	<0,001
Media ± Desviación estándar	34,9 ± 4,47	
Rango	26,1 – 41,2	
Mediana	34,9	
Rango intercuartil	32 - 38,2	
VO2 max TOTAL MUJERES (Kg/ml/min) n	17	
Media ± Desviación estándar	27,1 ± 3,53	
Rango	20,5 – 33,5	
Mediana	28,5	
Rango intercuartil	24,15 – 29,2	
PORCENTAJE MMII ((Kg/ml/min) n	30	
Media ± Desviación estándar	86,93 ± 5,69	-
Rango	69,69 – 95,95	
Mediana	87,42	
Rango intercuartil	84,69 – 89,60	
PORCENTAJE MMII HOMBRES (%) n	13	<0,001
Media ± Desviación estándar	85,91 ± 6,61	
Rango	69,69 – 95,95	
Mediana	87,09	
Rango intercuartil	82,71 – 89,59	

PORCENTAJE MMII MUJERES		
(%) n	17	
Media $\pm$ Desviación estándar	87,71 $\pm$ 4,95	
Rango	74,57 – 95,79	
Mediana	87,68	
Rango intercuartil	85,16 – 87,68	

Para el trabajo de miembros inferiores se obtuvieron valores de VO₂ máximo entre 18,9 y 36,3 ml/kg/min, la media de los hombres fue 29,91 $\pm$ 4,07 ml/kg/min y la de las mujeres 23,7 $\pm$ 2,86 ml/kg/min, existiendo una diferencia estadísticamente significativa entre los participantes de acuerdo al género ($p < 0,001$).

En cuanto a los resultados del trabajo con cuerpo entero se alcanzaron valores entre los 20,5 y los 41,2 ml/min/kg, la mitad de los hombres obtuvo valores que superaron los 34 ml/min/kg, mientras que en las mujeres el máximo valor logrado fue 33,5 ml/min/kg. Las diferencias en este caso resultaron ser estadísticamente significativas ($p < 0,001$).

El porcentaje del VO₂ de trabajo con miembros inferiores con respecto al VO₂ del trabajo con cuerpo entero, fue en promedio 86,9 $\pm$ 5,7%, para los hombres 85,9 $\pm$ 6,6 y para las mujeres 87,7 $\pm$ 4,9. La diferencia entre hombres y mujeres resultó estadísticamente significativa ($p < 0,001$).

8.2 ANÁLISIS BIVARIADO

A continuación se presentan los resultados de acuerdo a los objetivos específicos:

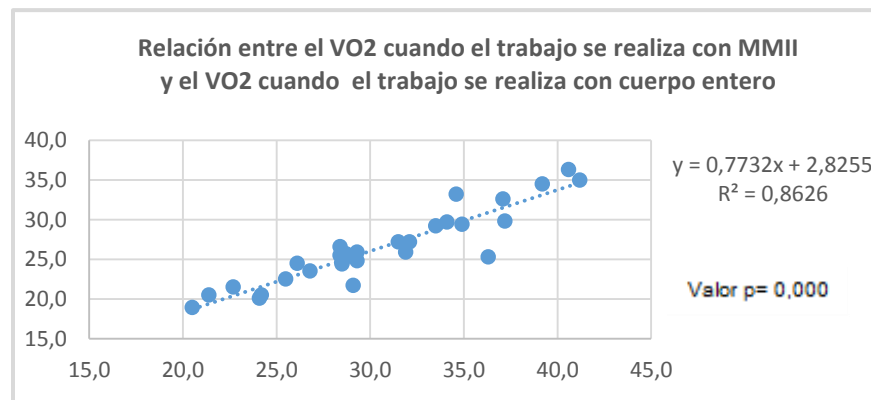
-Describir la relación existente entre el VO₂ máximo global y el VO₂ máximo cuando el trabajo se realiza predominantemente con miembros inferiores.

Se obtuvo la fracción del VO2 máximo total correspondiente al VO2 máximo de miembros inferiores a través del cálculo de la media de cada variable y de la razón de las mismas, teniendo como numerador la media del consumo de oxígeno máximo al realizar el trabajo con miembros inferiores y como denominador al valor medio del consumo de oxígeno obtenido con el trabajo de cuerpo entero:

VO2 máximo MMII/VO2máximo total: $26,4/30,5=0,87$

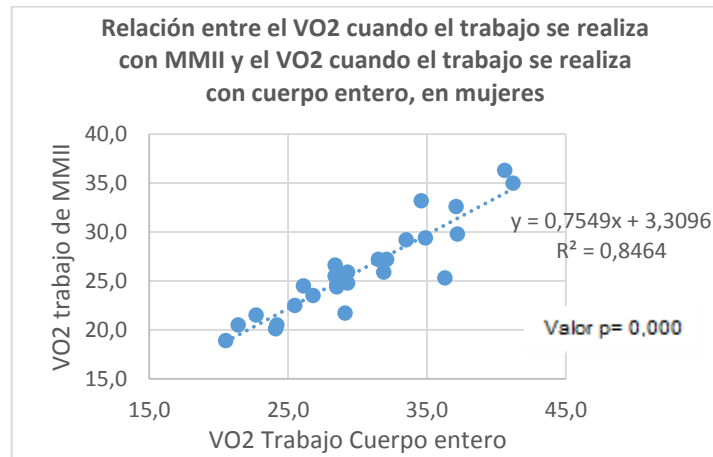
El consumo de oxígeno máximo alcanzado durante el trabajo con los miembros inferiores para los participantes de este estudio representa el 87% del alcanzado al ejecutar el trabajo con cuerpo entero.

Gráfica 2. Relación entre el VO2 cuando el trabajo se realiza con MMII y el VO2 cuando el trabajo se realiza con cuerpo entero

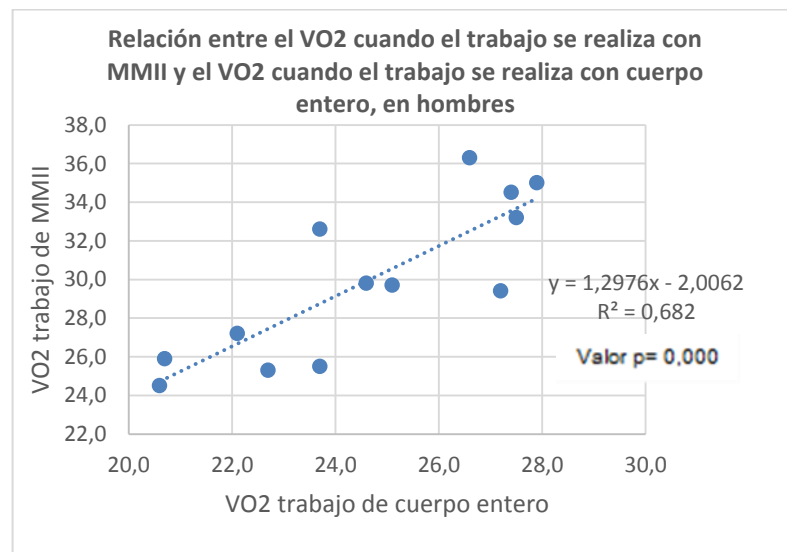


Se realizó un análisis de regresión entre el VO2 máximo obtenido con el trabajo de miembros inferiores y el VO2 máximo alcanzado al realizar trabajo de cuerpo entero (gráfica 2, encontrando una relación lineal, con un R^2 de 0,86 indicando una correlación positiva alta y estadísticamente significativa ($p < 0,001$).

Gráfica 3. Relación entre el VO2 cuando el trabajo se realiza con MMII y el VO2 cuando el trabajo se realiza con cuerpo entero, en mujeres



Gráfica 4. Relación entre el VO2 cuando el trabajo se realiza con MMII y el VO2 cuando el trabajo se realiza con cuerpo entero, en hombres.



Al separar los resultados de acuerdo al sexo de los participantes, las correlaciones continúan siendo estadísticamente significantes (valor $p = p < 0,001$), las mujeres mostraron un comportamiento muy similar al de los datos generales, en un modelo lineal con una correlación positiva alta (gráfica 3). La correlación arrojada por los

datos de los participantes de sexo masculino resultó moderada ($R= 0,83$) (gráfica 4).

Se midió la concordancia entre el VO2 máximo obtenido en el cicloergómetro y el alcanzado en la elíptica utilizando inicialmente el método de Bland y Altman (gráfica 5) para conocer si las diferencias entre las dos pruebas utilizadas son sistemáticas o debidas al azar y posteriormente la propuesta de Lin (tabla 6), obteniendo un coeficiente de correlación de concordancia de 0,68 (IC95%: 0,53 – 0,8), que muestra un grado de concordancia pobre. Lo anterior indica que los métodos no son igual de efectivos para medir la misma variable, es decir, que si se quiere medir el VO2 máximo en trabajos realizados predominantemente con miembros inferiores se requiere utilizar una prueba en la que se trabaje dicho segmento y no cuerpo entero y viceversa. Por este motivo, si se quiere sugerir criterios de seguridad para los trabajadores según el segmento utilizado, estos deben basarse en los valores obtenidos en pruebas específicas para los segmentos principalmente utilizados y no a partir de trabajo con el cuerpo entero.

Gráfica 5. Método de Bland y Altman VO2 MMII – VO2 Total

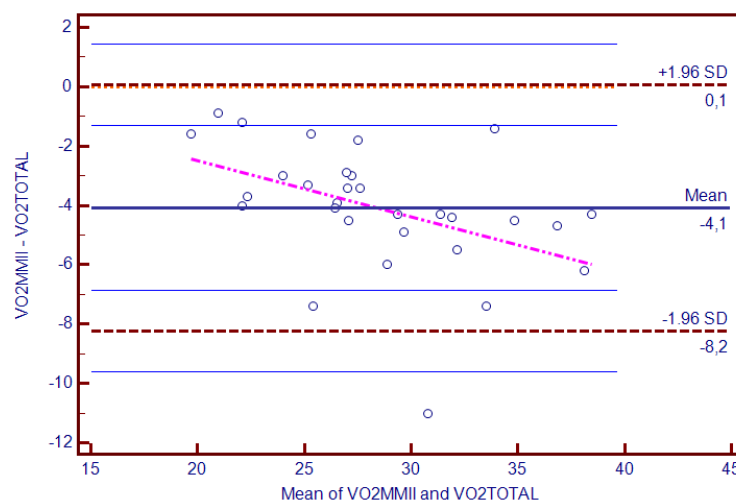


Tabla 6. Coeficiente de correlación de concordancia VO2 MMI – VO2 Total

Variable Y	VO2MMII
Variable X	VO2TOTAL
Sample size	30
Concordance correlation coefficient	0,6852
95% Confidence interval	0,5286 to 0,7966
Pearson ρ (precision)	0,9287
Bias correction factor C_b (accuracy)	0,7377

Gráfica 6. Método de Bland y Altman VO2 MMII – VO2 Total en Mujeres

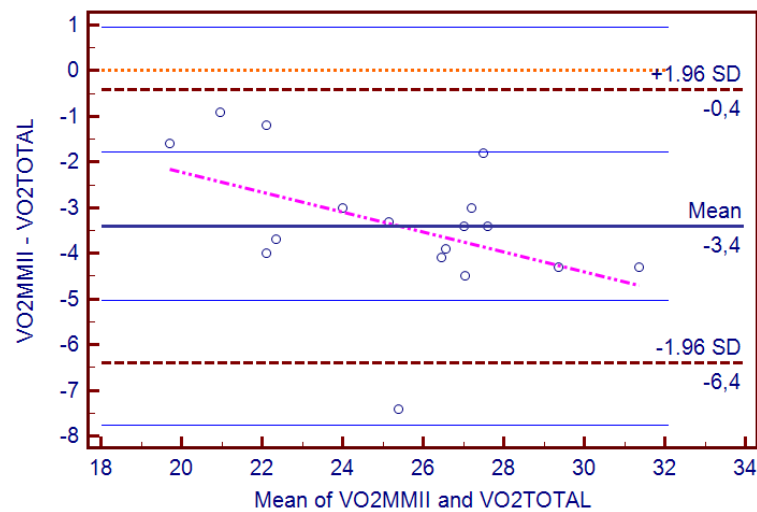


Tabla 7. Coeficiente de correlación de concordancia VO2 MMI – VO2 Total - Mujeres

Variable Y	VO2MMII
Variable X	VO2TOTAL
Sample size	17
Concordance correlation coefficient	0,5576
95% Confidence interval	0,3197 to 0,7293
Pearson ρ (precision)	0,9074
Bias correction factor C_b (accuracy)	0,6145

Gráfica 7. Método de Bland y Altman VO2 MMII – VO2 Total en Hombres

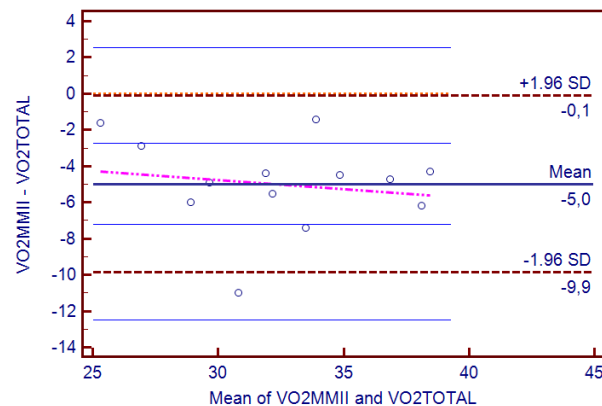


Tabla 8. Coeficiente de correlación de concordancia VO2 MMI – VO2 Total en Hombres.

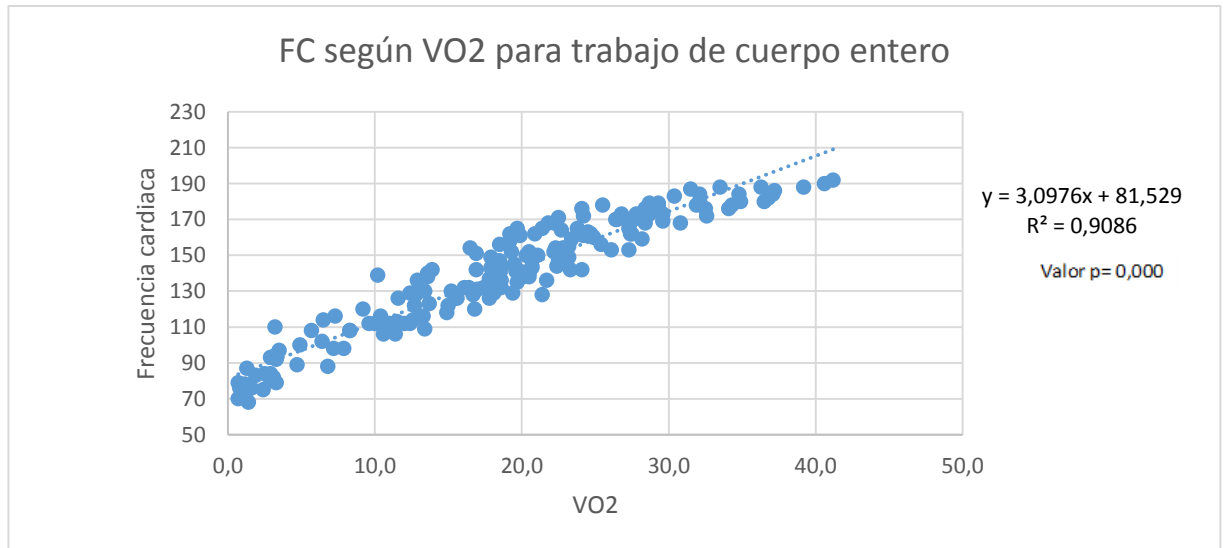
Variable Y	VO2MMII
Variable X	VO2TOTAL
Sample size	13
Concordance correlation coefficient	0,4787
95% Confidence interval	0,1786 to 0,6973
Pearson p (precision)	0,8339
Bias correction factor C_b (accuracy)	0,5740

Al calcular la concordancia de ambos métodos separando los resultados según el sexo de los participantes de estudio, se obtuvieron ccc aún menores (femenino: 0,55; masculino: 0,47) que el arrojado para los resultados generales de los participantes del estudio (gráficas 6 y 7, tablas 7 y 8). El grado de concordancia para el VO2 máximo de miembros inferiores y el VO2 máximo de cuerpo entero es pobre, tanto para hombres como para mujeres.

-Establecer el comportamiento de la Frecuencia cardiaca en relación con el VO2 total y el VO2 de miembros inferiores.

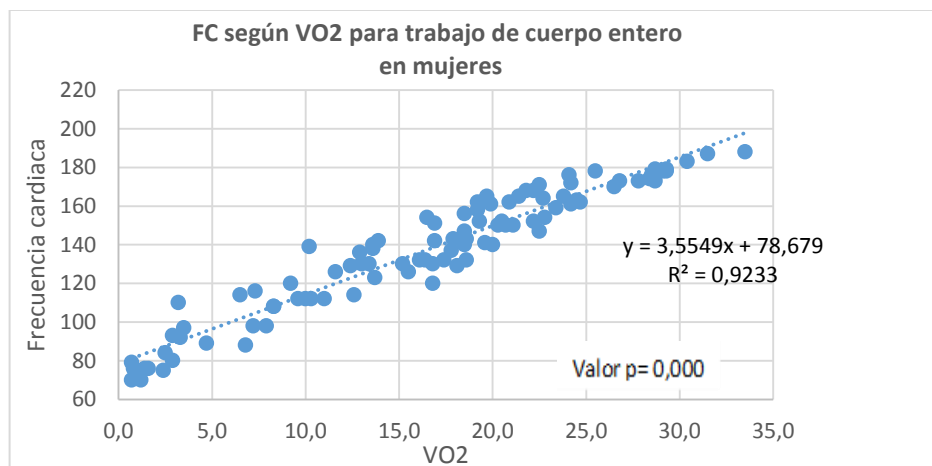
Para el desarrollo de este objetivo se cruzaron inicialmente los valores de frecuencia cardiaca y el VO2 obtenidos a partir de las pruebas de VO2 máximo de cuerpo entero y de miembros inferiores y posteriormente los valores de FC relativa en función del VO2 relativo durante la prueba de TMTA de miembros inferiores.

Gráfica 8. FC según VO2 para trabajo de cuerpo entero.

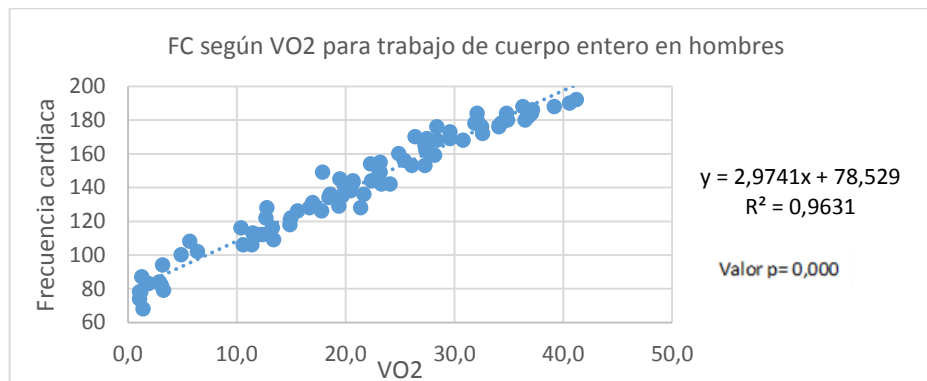


Al cruzar los datos de la frecuencia cardiaca máxima con los del consumo de oxígeno máximo obtenidos a partir de las pruebas de trabajo con cuerpo entero se encontró una curva prácticamente lineal. La correlación resultante es positiva y muy alta (Gráfica 8). Los resultados indican que es posible predecir el VO2 máximo de cuerpo entero a partir de los valores de la frecuencia cardiaca de los participantes del estudio. Las diferencias fueron estadísticamente significantes ($p = 0,000$).

Gráfica 9. FC según VO2 para trabajo de cuerpo entero en mujeres.

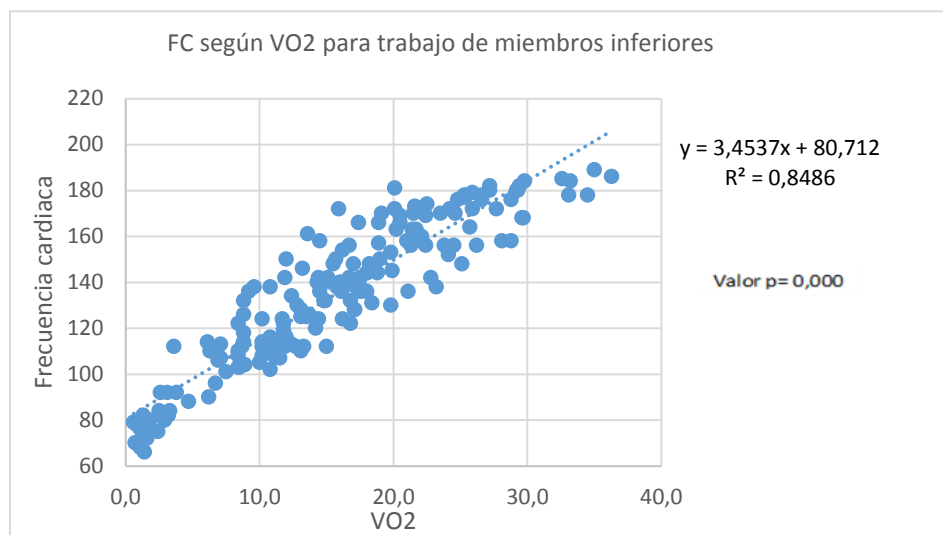


Gráfica 10. FC según VO2 para trabajo de cuerpo entero en hombres



Al aislar los resultados por sexo, tanto en los de los masculinos (gráfica 10) como en los femeninos (gráfica 9) se encontró una tendencia aún mayor al modelo lineal con correlaciones más fuertes que para los resultados mixtos.

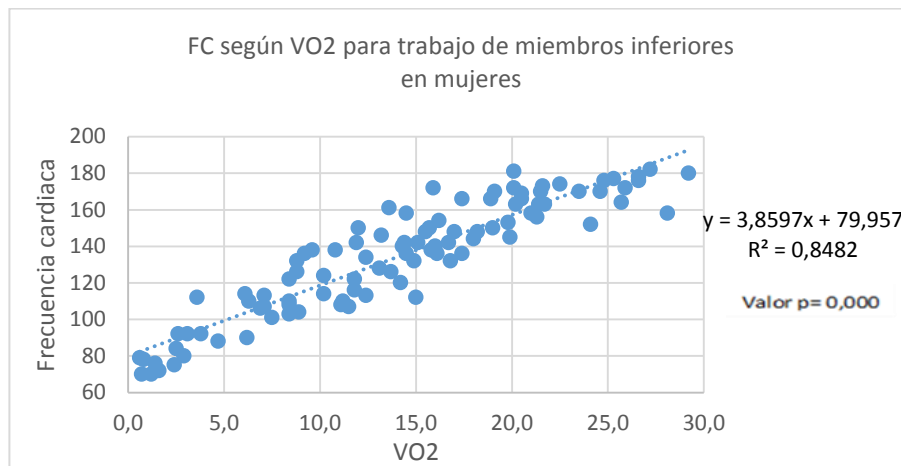
Gráfica 11. FC según VO2 para trabajo de miembros inferiores



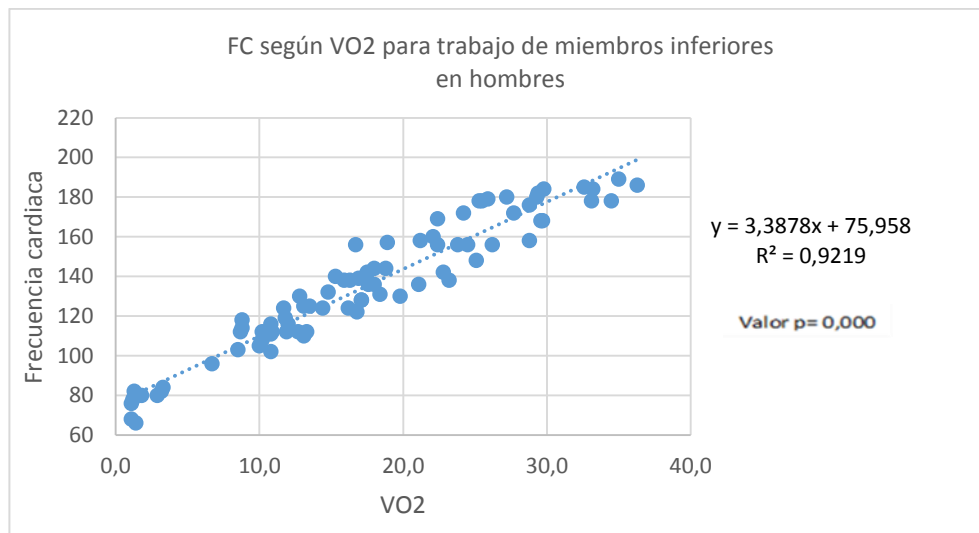
La relación frecuencia cardiaca y consumo de oxígeno durante el trabajo de miembros inferiores de los participantes del estudio presentó un comportamiento análogo al de la relación de las mismas variables para el trabajo de cuerpo entero,

con una correlación positiva alta (Gráfica 11). Las diferencias resultaron estadísticamente significantes ($p < 0,000$).

Gráfica 12. FC según VO2 para trabajo de miembros inferiores en mujeres

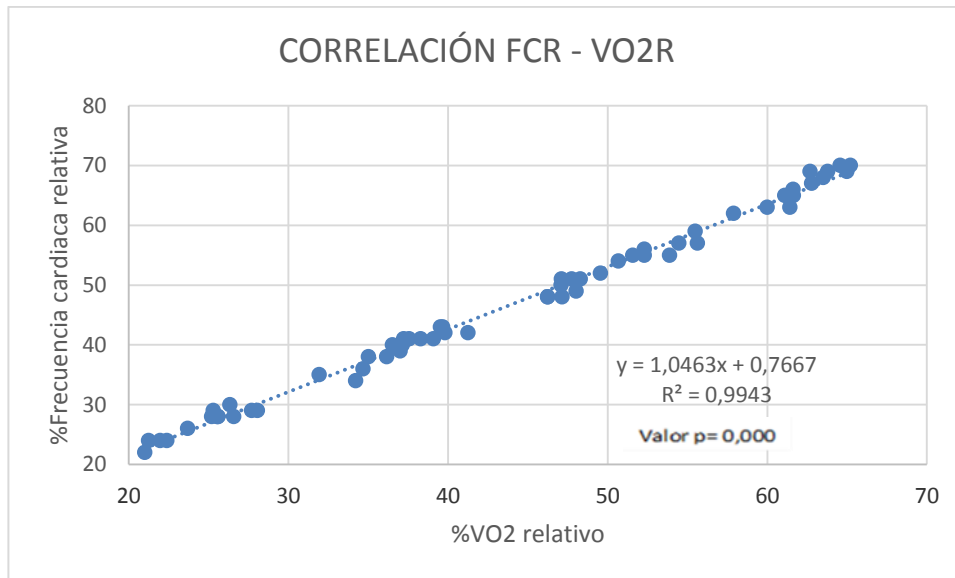


Gráfica 13. FC según VO2 para trabajo de miembros inferiores en hombres



Al observar resultados por sexo, la correlación hallada en los datos de los hombres es muy alta ($R^2 > 0.9$), mayor que la de mujeres y la de los datos mixtos (Gráficas 12 y 13).

Gráfica 14. CORRELACIÓN FCR - VO2R

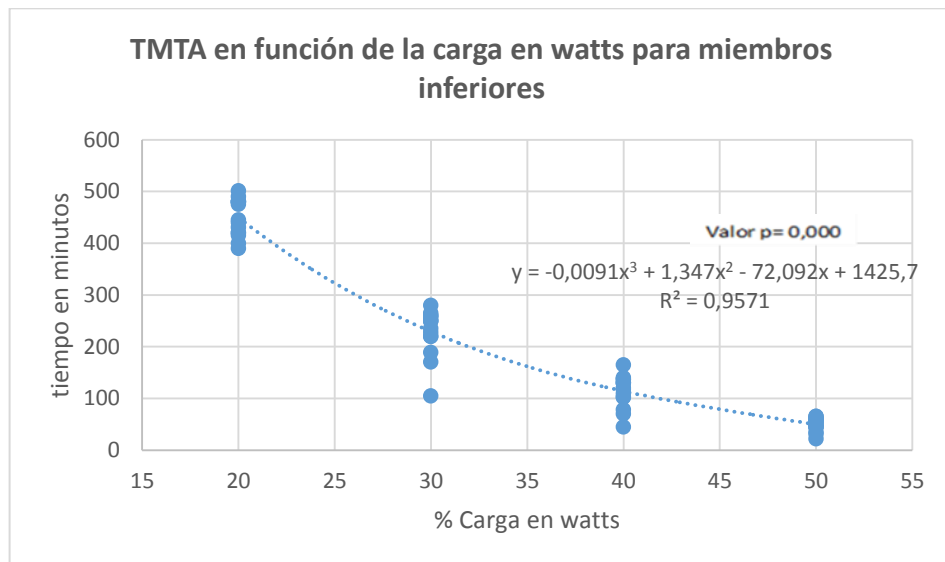


Al cruzar los datos de la frecuencia cardiaca relativa y el consumo de oxígeno relativo alcanzados a partir de la prueba de TMTA, se obtuvo una correlación positiva muy alta, casi perfecta y estadísticamente significativa (Gráfica 14).

- Determinar la respuesta fisiológica ante diferentes cargas de trabajo para miembros inferiores y tiempos de exposición a la misma, mediante el VO2 y la FC.

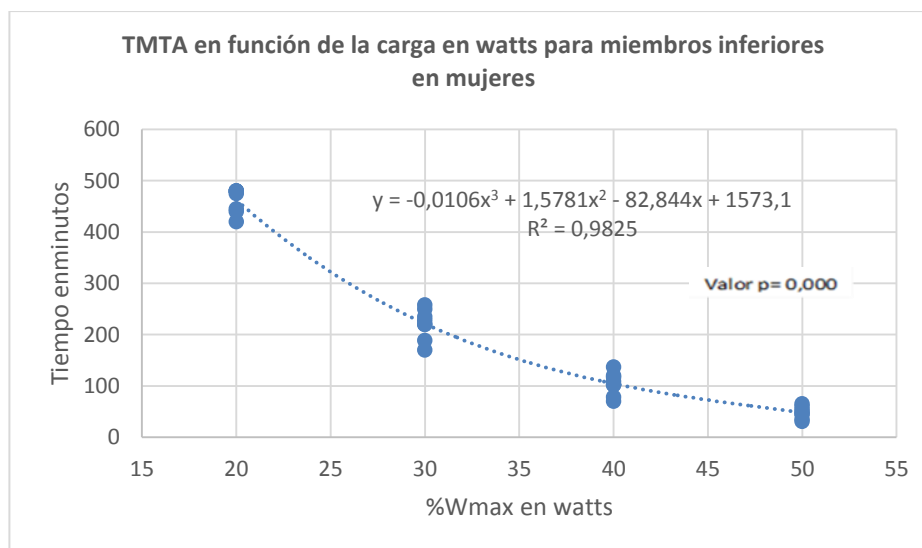
A continuación se presentan los resultados del análisis bivariado entre los indicadores de carga física de trabajo y el tiempo máximo de trabajo aceptable.

Gráfica 15. TMTA en función de la carga en watts para miembros inferiores

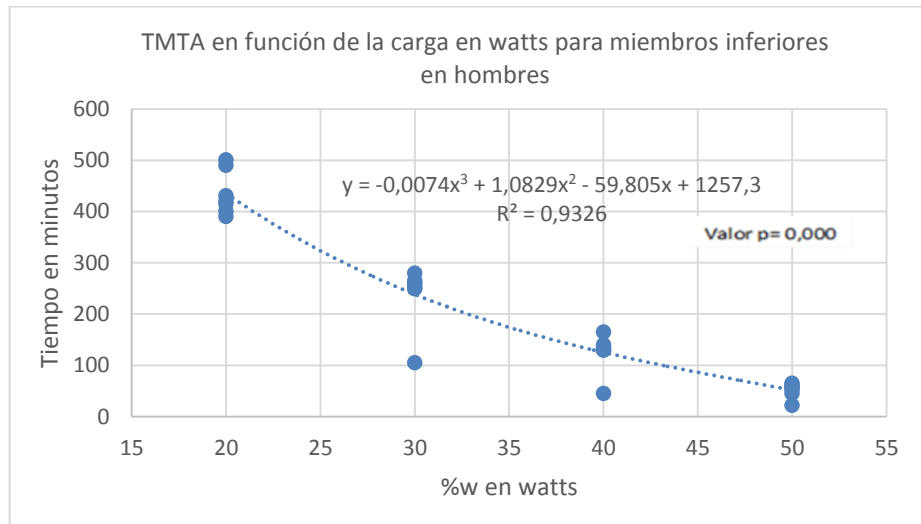


Existe una correlación negativa muy alta entre el porcentaje de la carga en watts y el tiempo en que los sujetos de estudio ejecutaron trabajo con miembros inferiores, obteniendo un modelo de regresión cúbico. Entre mayor era el porcentaje de carga, menor fue el tiempo en que los sujetos lograron sostener el trabajo antes de presentar fatiga ($p=0,000$) (Gráfica 15).

Gráfica 16. TMTA en función de la carga en watts para miembros inferiores en mujeres

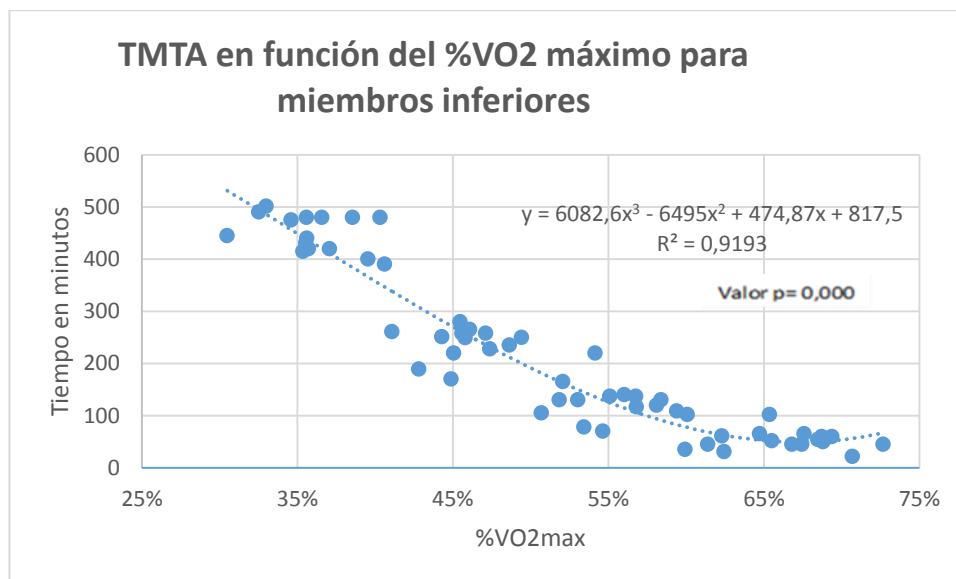


Gráfica 17. TMTA en función de la carga en watts para miembros inferiores en hombres



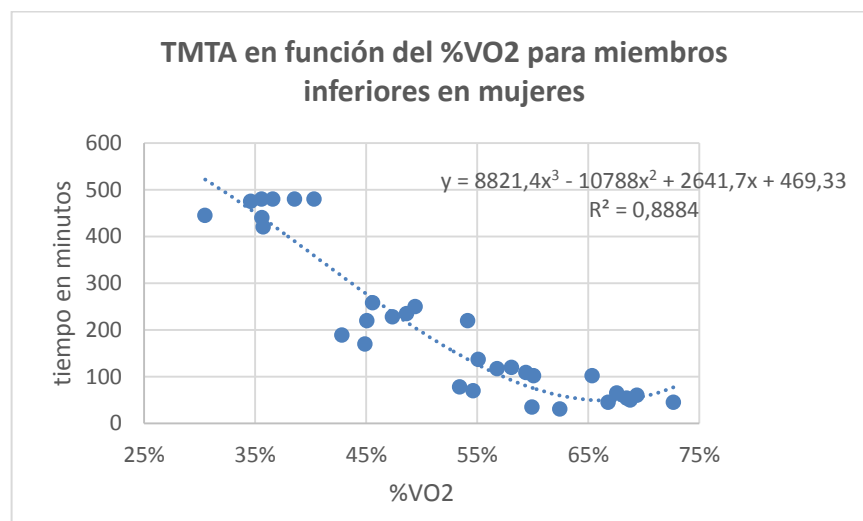
Los resultados del sexo femenino mostraron una correlación aún mayor que la obtenida a partir de los datos mixtos, la arrojada por los datos del género masculino, aunque menor, sigue siendo muy alta (Gráficas 16 y 17).

Gráfica 18. TMTA en función del %VO2 máximo para miembros inferiores

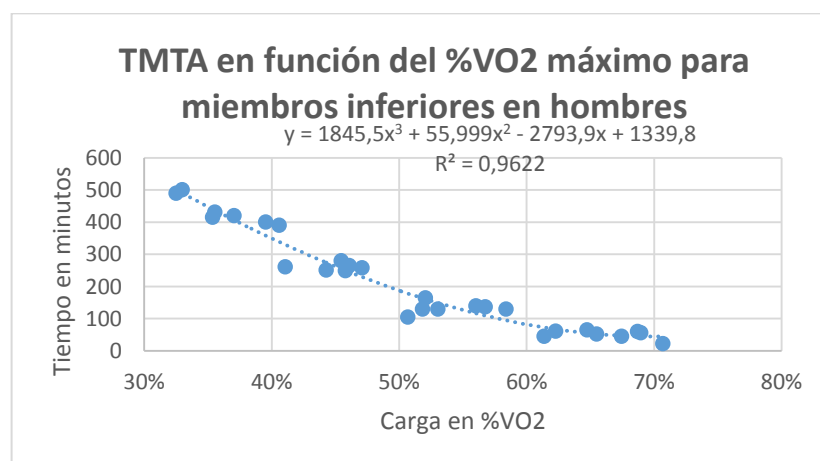


Se observa una disminución continua en el tiempo máximo de trabajo aceptable a medida que aumenta la carga, expresada en porcentaje de VO2. Se encontró una correlación negativa muy alta en un modelo de regresión cúbico, con una diferencia estadísticamente significativa ($p=0,000$) (Gráfica 18).

Gráfica 19. TMTA en función del %VO2 para miembros inferiores en mujeres

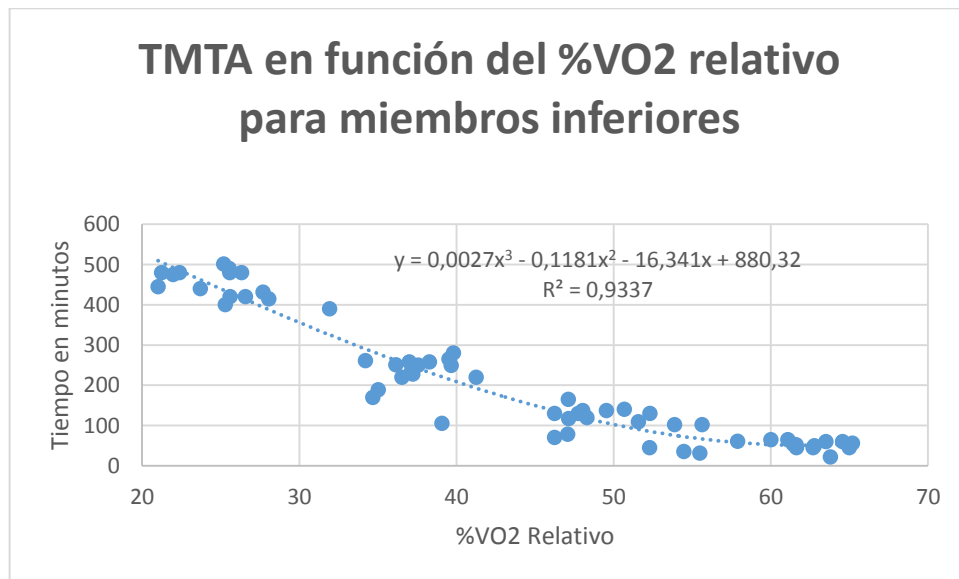


Gráfica 20. TMTA en función del %VO2 máximo para miembros inferiores en hombres



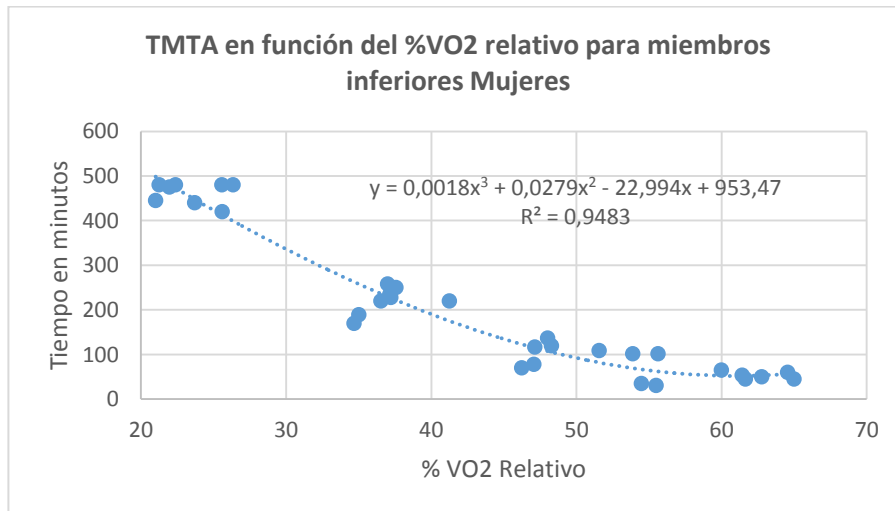
Al aislar los datos por la variable sexo se encontró igual comportamiento que para los datos generales, con una correlación negativa alta para mujeres y muy alta para hombres (Gráficas 19 y 20).

Gráfica 21. TMTA en función del %VO2 relativo para miembros inferiores

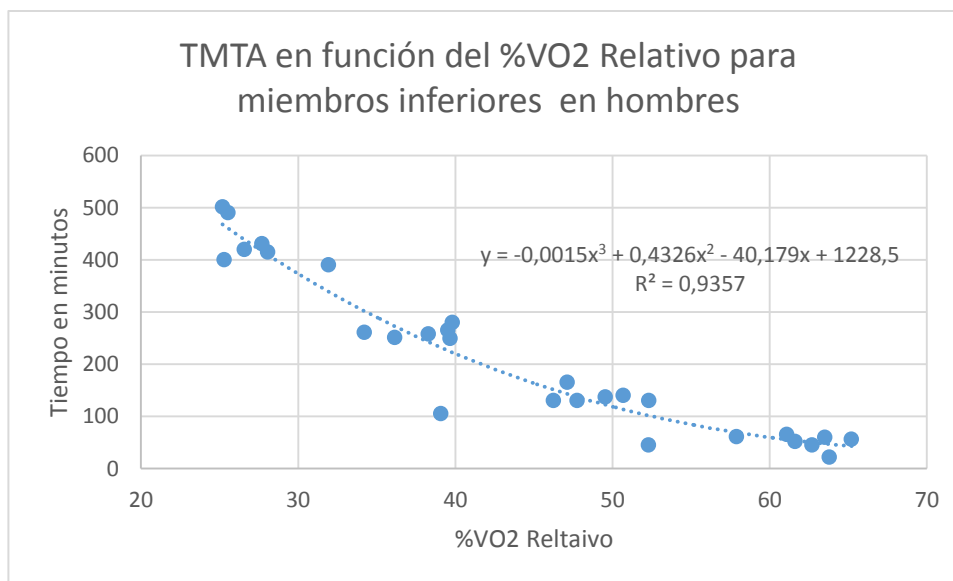


Al cruzar la variable tiempo máximo de trabajo aceptable en función del porcentaje de VO2 relativo se obtuvo una línea de tendencia negativa en el modelo cúbico, con un coeficiente de determinación elevado, ligeramente mayor que el obtenido a partir del %VO2 absoluto. Se observa una disminución en el tiempo a medida que el %VO2 relativo va incrementando (Gráfica 21).

Gráfica 22. TMTA en función del %VO2 relativo para miembros inferiores Mujeres

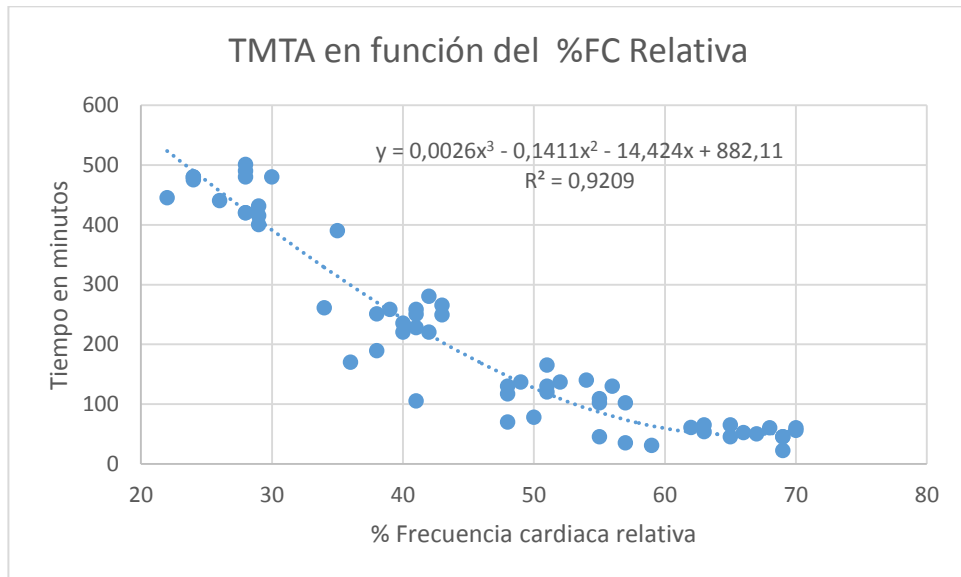


Gráfica 23. TMTA en función del %VO2 Relativo para miembros inferiores en hombres



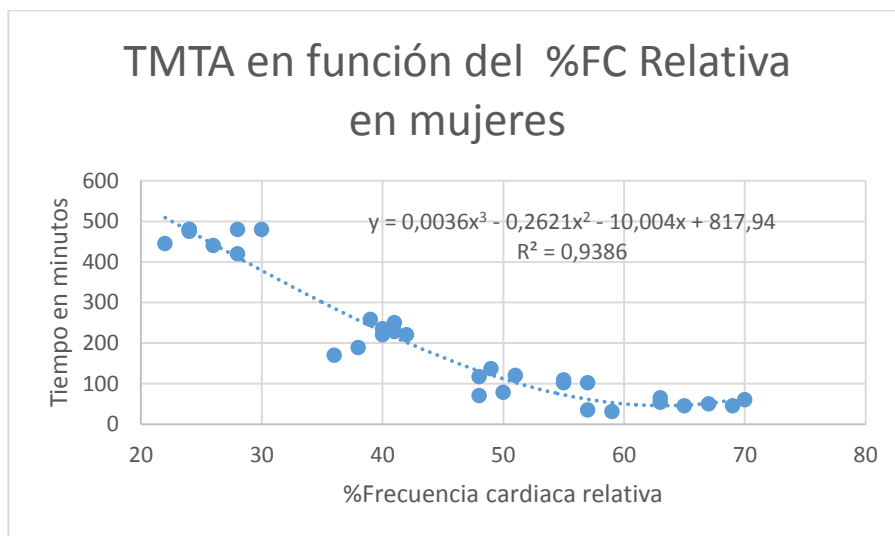
Al separar los resultados de acuerdo al sexo de los participantes, se observa un comportamiento muy similar al de los datos mixtos, con poca variación en los coeficientes de determinación (Gráficas 22 y 23).

Gráfica 24. TMTA en función del %FC Relativa

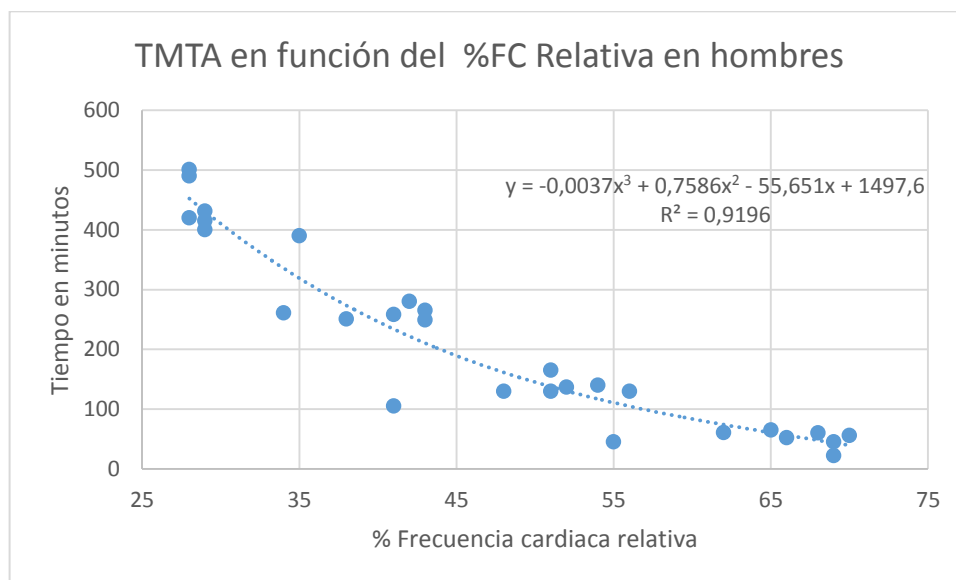


Tal como ocurrió con los indicadores de carga física anteriormente expuestos, el tiempo exhibió el mismo comportamiento en función del porcentaje de frecuencia cardiaca relativa, el cual puede explicarse en un modelo de regresión cúbico. La correlación, por lo tanto resultó negativa y muy alta (Gráfica 24).

Gráfica 25. TMTA en función del %FC Relativa en mujeres



Gráfica 26. TMTA en función del %FC Relativa en hombres



La relación TMTA según %FCR se comportó de modo similar tanto para hombres como para mujeres (Gráficas 25 y 26).

En la tabla 8 se presentan los datos de estadística descriptiva del TMTA y la carga física de trabajo, representada en términos de %VO2 max, %VO2R y %FCR, y los valores máximos de VO2 y FC, alcanzados por los participantes con cada porcentaje de carga.

Tabla 9. Variación en TMTA y las variables fisiológicas estudiadas de acuerdo al porcentaje de la carga máxima, para hombres y mujeres

Sexo	%W max	Tiempo (minutos)	VO2 w max (Kg/ml/min)	VO2 max (%)	FC w max (lpm)	FCR (%)	VO2R (%)
Hombres	20	435,3 ± 43,3	10,8 ± 1,5	36,2 ± 3	111,9 ± 5,3	29,4 ± 2,5	27,2 ± 2,4
	30	238,4 ± 59,7	13,7 ± 2,1	45,8 ± 2,9	128,7 ± 12,4	40,3 ± 3,3	38,1 ± 2,1
	40	125,3 ± 37,5	16,4 ± 2,2	55,6 ± 3,5	137,8 ± 3,9	52,4 ± 2,7	49,4 ± 2,5
	50	51,6 ± 14,6	20,1 ± 3,1	66,9 ± 2,9	154,7 ± 4,5	67 ± 2,8	62,3 ± 2,4
Mujeres	20	462,5 ± 23,9	9,1 ± 1,1	35,9 ± 2,9	111,4 ± 5,4	25,8 ± 2,7	23,5 ± 2,1
	30	221,3 ± 29,5	11,9 ± 1,3	47,2 ± 3,5	126,4 ± 5,4	39,6 ± 1,9	37,1 ± 1,9
	40	104,4 ± 21,9	14,6 ± 1,6	57,9 ± 3,8	139,3 ± 5,6	51,6 ± 3,5	49,7 ± 3,5
	50	48,13 ± 11,6	16,9 ± 2,3	67 ± 4	152,6 ± 7,4	64,1 ± 4,6	60,7 ± 3,9

La tabla 9 permite comparar el comportamiento del TMTA con relación a las variables fisiológicas y al % de carga en Watts. El porcentaje de carga expresado a través de diferentes indicadores tuvo un efecto estadísticamente significativo ($p < 0,005$) sobre el TMTA, la correlación encontrada en todos los casos fue alta y negativa. Los datos mostraron que el TMTA tiende a decrecer a medida que el porcentaje de carga aumenta, esta disminución es más rápida en las cargas menores (20% y 30%) y más lenta en las mayores. Los %VO2 max, %VO2R y %FCR, como indicadores de la carga física de trabajo, mostraron un comportamiento acorde al %W max.

Como se observa en las gráficas anteriormente presentadas, se obtuvo la relación entre TMTA y carga física de trabajo en términos de %VO2 max, VO2R y FCR, a través de análisis de regresión. Los modelos de predicción del tiempo máximo de trabajo aceptable arrojados por el estudio son los siguientes:

TMTA en función del %VO2 máximo para miembros inferiores

$$y = 6082,6 \%VO2\ max^3 - 6495\%VO2\ max^2 + 474,87\%VO2\ max + 817,5$$

$$R^2 = 0,9193$$

TMTA en función del %VO2 relativo para miembros inferiores

$$y = 0,0027 \%VO2R^3 - 0,1181\%VO2R^2 - 16,341\%VO2R + 880,32$$

$$R^2 = 0,9337$$

TMTA en función del %FC Relativa

$$y = 0,0026\%FCR^3 - 0,1411\%FCR^2 - 14,424\%FCR + 882,11$$

$$R^2 = 0,9209$$

En la tabla 10 se presentan los límites de carga física de trabajo para jornadas laborales de extensiones comunes actualmente en nuestro país, calculadas a partir de las ecuaciones arrojadas por el estudio para los participantes del mismo.

Tabla 10. Límites de carga física de trabajo sugeridos para la población de estudio

Tiempo de trabajo (horas)	%VO2 max	%VO2R	%FCR
12	18,6	9,3	10,4
8	33	22,7	24,6
4	46.8	37,8	40,4

9. DISCUSIÓN

Al comparar los datos de las variables talla, peso e IMC con los del estudio Acopla 95 (69), se encuentra que tanto los de hombres como los de mujeres están dentro del rango. En cuanto a la variable de IMC del presente estudio puede decirse que los valores de centralización y desviación son muy cercanos a aquellos revelados como parámetros antropométricos de la población colombiana en el 95.

A continuación se presenta la discusión por objetivos:

-Describir la relación existente entre el VO2 máximo global y el VO2 máximo cuando el trabajo se realiza predominantemente con miembros inferiores.

Para la población de estudio se encontró que el VO2 máximo alcanzado con el trabajo realizado con miembros inferiores es el 87% del obtenido al utilizar el cuerpo entero. La correlación entre los datos de VO2 máximo alcanzados en los dos equipos (cicloergómetro y elíptica) resultó positiva y alta ($R^2= 0,86$), sugiriendo que se podría predecir el valor del VO2 cuando se utiliza cuerpo entero a partir de los datos de VO2 alcanzados con miembros inferiores y viceversa. Sin embargo, al realizar un análisis de concordancia, el ccc fue 0,68, indicando un grado de concordancia pobre, por lo que no se sugiere utilizar ambos métodos indistintamente al calcular el VO2 máximo de los individuos de estudio, por el contrario, se recomienda elegir el test de acuerdo a los segmentos predominantemente utilizados.

En contraste con el presente trabajo, otros estudios concluyen no haber hallado diferencias significativas que justifiquen la selección de un tipo de ejercicio específico en función de los segmentos corporales utilizados (miembros inferiores o miembros superiores e inferiores), cuando se busca medir el VO2 máximo. Lo anterior se basa por ejemplo, en la similitud (4,23 y 4,24 litros) entre los valores

promedio del VO₂ máximo obtenido durante las pruebas de pedaleo y los otros tipos de ejercicio combinado de miembros superiores e inferiores en 7 sujetos entrenados (Astrand y Saltin (70), 1961); o en que no se hayan alcanzado valores mayores de VO₂ máximo en el trabajo combinado de miembros superiores e inferiores que en el de miembros inferiores en posición sedente (Stenberg et al (71) en 1967).

Ahora bien, en una reunión de un grupo de trabajo internacional se compararon 3 tipos de ejercicio predominantemente de miembros inferiores (banda sin fin, prueba del escalón y bicicleta) como métodos para obtener el VO₂ máximo, encontrando mayores valores en la banda sin fin, menores (3.4%) en el test del escalón, y aún menores (6.6%) durante el uso de un cicloergómetro. Los expertos concluyen recomendando el uso de la banda sin fin para investigación en laboratorio y el de los otros dos métodos para trabajo en campo, basando su decisión en un análisis de ventajas y desventajas en el que la practicidad predomina sobre otros factores. Los autores plantean que el VO₂ alcanzado durante el test en bicicleta es limitado principalmente por fatiga muscular del cuádriceps (localizada) y no por fatiga sistémica, como ocurre con la banda sin fin, lo que podría variar de acuerdo al nivel de entrenamiento de este músculo en particular. En el estudio participaron 24 sujetos tanto entrenados como no entrenados (Shephard et al (72), 1968).

Aunque la investigación arriba mencionada no incluye métodos para trabajo combinado de miembros superiores e inferiores, encuentra diferencias entre los 3 métodos analizados en cuanto a los valores de VO₂ máximo arrojados, como ocurre en el presente trabajo, sin embargo, no son esas diferencias las que definen las recomendaciones respecto al método a utilizar. Por otra parte, cabe señalar que los dos tipos de ejercicio en los que se obtuvieron mayores valores de VO₂ max (banda sin fin y prueba del escalón) se ejecutaron en posición bípeda a diferencia del ejercicio de bicicleta. Lo que coincide con el presente estudio en el que la prueba combinada de miembros superiores e inferiores se realizó de pie, a

diferencia de los estudios expuestos al inicio de la discusión (Astrand y Saltin 1961 y Stenberg et al en 1967), en los que tanto las pruebas combinadas como las de miembros inferiores se realizaron en posición sedente.

Otro punto interesante es que en las dos investigaciones citadas inicialmente participaron únicamente sujetos entrenados, mientras que en el estudio discutido por el grupo internacional fueron incluidos individuos con diferentes niveles de entrenamiento (incluso trabajadores de oficina), en la actual investigación se contó con la participación de personas no entrenadas. En este sentido, cabe señalar que la variabilidad interindividual y el nivel de entrenamiento ha sido análisis de estudio a la hora de comparar la diferencia entre los valores de VO₂ máximo obtenidos con el ejercicio combinado de miembros superiores e inferiores y el ejercicio en el que predomina el uso de miembros superiores (Reybrouck et al (73), 1975), encontrando que en 3 sujetos con capacidades aeróbicas ampliamente diferentes, la media de VO₂ max de los dos sujetos con un VO₂ menor a 45 ml/kg, fue 19% mayor en la ergometría combinada de brazos y piernas que en la ergometría de piernas. Mientras que para el tercer sujeto, con un VO₂ mayor a 50 ml/kg-min, no hubo diferencia entre el consumo de oxígeno máximo obtenido a partir del uso de ambos métodos.

Por otra parte, existen estudios en los que se mencionan diferencias significativas entre los métodos o tipos de ejercicio en los que se utilizan predominantemente los miembros inferiores y los que combinan el trabajo entre cuerpo superior e inferior, como ocurrió al comparar las respuestas cardiorrespiratorias de adultos sanos al ejecutar un ejercicio de remo y uno en el cicloergómetro, obteniendo resultados en los que el VO₂ máximo fue significativamente mayor para la ergometría de remo que para la de ciclismo. (Hagerman et al., 1988 (74).

Así mismo sucedió al comparar el VO₂ máximo al realizar ejercicio con miembros inferiores y ejercicio combinado de miembros superiores e inferiores en un mismo equipo que permitía distribuir la carga entre los segmentos corporales utilizados.

Las pruebas arrojaron un VO₂ máximo 0.04 L/min mayor para el trabajo combinado comparado con el trabajo de sólo miembros inferiores (Hoffman et al (75), 1996).

De otro lado, al compararse dos tipos de ejercicio como la elíptica y la banda sin fin, ambos ejecutados en posición de pie, no se encontraron diferencias significativas en las respuestas fisiológicas arrojadas por los 48 participantes al ejecutar los dos métodos (Dalleck y Kravitz, 2006).

Ninguno de los estudios utilizados como referente midió la concordancia entre los métodos analizados probablemente porque su objetivo no era determinar si los tipos de ejercicio analizados eran igual de precisos para medir el VO₂ máximo de acuerdo a los segmentos predominantemente utilizados en una actividad laboral, sino más bien, analizar las diferencias en las respuestas fisiológicas al añadir el trabajo de los miembros superiores al realizado por los miembros inferiores.

-Establecer el comportamiento de la Frecuencia cardiaca en relación con el VO₂ total y el VO₂ de miembros inferiores.

Para el desarrollo de este objetivo se cruzaron inicialmente los valores de frecuencia cardiaca y el VO₂ obtenidos a partir de las pruebas de VO₂ máximo de miembros inferiores y de cuerpo entero en las que se obtuvo una correlación positiva alta ($R^2= 0,85$) y muy alta respectivamente ($R^2=0,91$). Posteriormente se analizó el cruce de los valores de FC relativa en función del VO₂ relativo durante la prueba de TMTA de miembros inferiores, obteniendo esta vez una correlación positiva muy alta ($R^2=0.99$), en los tres casos las diferencias fueron estadísticamente significantes ($p=0,000$). Estos resultados son afines a los obtenidos por investigaciones anteriores, en las que se ha estudiado la relación FC-VO₂, como se expone a continuación:

La relación hallada entre la FC y el VO₂ durante el trabajo de segmentos corporales diferentes (MMII y MMSS por separado) resultó prácticamente rectilínea. (Asmussen y Hemmingsen, 1957).

Análogamente, la relación entre FC y VO₂ STPD tanto para hombres como para mujeres durante los ejercicios de ciclismo y de remo fueron correlaciones positivas muy altas, y estadísticamente significativas (Hagerman et al., 1988).

El estudio de la relación entre la frecuencia cardiaca y el consumo de oxígeno en 63 adultos durante el ejercicio de ciclismo concluyó que el %FCR es equivalente al %VO₂R. (Swain and Leutholtz, 1997 (76)89). Lo mismo se determinó posteriormente en una investigación en la que participaron 43 adultos durante el ejercicio en banda sin fin (Swain et al., 1998 (77)).

Del mismo modo se han llevado a cabo otros estudios con diferentes tipos de ejercicio en los que también ha sido confirmada la equivalencia entre estas variables, como es el caso del trabajo realizado con 48 participantes en el que se encontraron correlaciones lineales altas entre VO₂R y FCR tanto en el ejercicio en banda sin fin como en el ejercicio en elíptica. (Dalleck y Kravitz, 2006 (78))

La estimación del VO₂ a través de la medición de la FC no se limita al ejercicio de estado estacionario. Es decir, que el VO₂ puede estimarse a partir de líneas de regresión individuales de FC-VO₂ durante actividades variantes “no estacionarias”. (Bot y Hollander 2000).

Ahora bien, uno de los objetivos del estudio de la relación VO₂-FC es evaluar la estimación del VO₂ a partir de valores de la FC pues tal como se ha señalado previamente cuenta con ventajas como la asequibilidad y practicidad para su medición, sin embargo, la mayoría de estudios anteriormente mencionados así como la presente investigación, han sido realizados en laboratorio donde pueden

controlarse factores como la temperatura, la humedad, entre otros que pueden tener influencia sobre la FC.

Por otra parte, otros factores como el tipo de actividades realizadas durante el trabajo en campo han de tenerse en cuenta al momento utilizar la FC como estimador del VO₂ con regresiones calculadas a partir de trabajos de laboratorio.

De acuerdo con algunos autores la FC es un estimador aceptable del VO₂ solo cuando el ejercicio ejecutado en la prueba se parece mucho al trabajo muscular realizado en la labor desempeñada en campo (Ilmarinen y Louhevaara 1982).

No obstante, entre los estudios realizados en campo algunos afirman que la relación VO₂/FC no es tan precisa cuando los valores de FC son superiores a 125 lpm, pero argumentan que la fiabilidad es buena a los valores de FC usualmente encontradas en los sitios de trabajo (Bouchard and Trudeau 2007).

- Determinar la respuesta fisiológica ante diferentes cargas de trabajo para miembros inferiores y tiempos de exposición a la misma, mediante el VO₂ y la FC.

La relación entre el TMTA y las variables fisiológicas resultó negativa y con un determinante de correlación muy alto, en todos los casos se encontró mayor ajuste a un modelo de regresión cúbico.

El comportamiento entre el TMTA y las variables fisiológicas fue de acorde a lo esperado, mostrando similitudes con estudios realizados en años anteriores en otras poblaciones.

En la tabla 10 se compara los datos arrojados por los modelos de predicción del TMTA del presente estudio, con los del estudio de Wu y Wang (2002) y con los de Rodgers et al. (1986). La edad media de los sujetos del presente estudio fue 24 años y su media de VO₂ max (de miembros inferiores) fue 30 y 24 Kg/ml/min para

hombres y mujeres respectivamente. En el trabajo de los taiwaneses la edad promedio de los participantes fue 26 años y su VO2 max 42 y 37 Kg/ml/min para hombres y mujeres. Finalmente, los europeos estudiados por Rodgers y compañeros tenían en promedio 35 años y un VO2 max de 40 para los sujetos masculinos y 31 Kg/ml/min para los femeninos.

Tabla 11. Límites de carga de trabajo sugeridos para jornadas laborales de 12, 8 y 4 horas

	Población colombiana, edad media 24 años Presente estudio			Población taiwanesa, edad media 26 años Wu y Wang, 2002			Población europea, edad media 26 años Rodgers et al. 1986
Tiempo de trabajo (horas)	%VO2 max	%VO2R	%FCR	%VO2 max	%VO2R	%FCR	%VO2 max
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 confrontar los datos de límites de carga 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 VO2 max, VO2R y FCR fueron considerablemente menores que los arrojados por el estudio de los taiwaneses y por el de los europeos. Sin embargo, esta diferencia se reduce para las 8 horas de trabajo, en la que se obtiene un %VO2 max igual que el reportado en el estudio de los europeos y muy similar que el de los taiwaneses. Del mismo modo, los datos de la FCR y el VO2R 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. Por lo que sería necesario administrar más tiempos de recuperación o buscar otras alternativas para prevenir la presencia de fatiga durante jornadas laborales extensas.

El presente estudio se centra en el momento de la producción y no en el del consumo, con el fin de mostrar las respuestas y capacidades fisiológicas de individuos que hacen parte de una ciudad, de un mismo país y una región que los circunscribe dentro de un espectro de características sociales. Sin embargo, las características socioeconómicas de los sujetos del estudio son heterogéneas y no fueron caracterizadas pues no era este el interés de la investigación. Se considera necesario establecer límites de seguridad en términos de la carga física de trabajo con relación a la extensión de la jornada pues esto permitirá proteger la salud de los trabajadores, tomar medidas para mejorar sus condiciones de trabajo y sus condiciones de vida, para optimizar la producción y al mismo tiempo el consumo, desde la perspectiva de un desarrollo sostenible.

10. CONCLUSIONES

En la presente investigación se estudió la relación entre el VO2 máximo obtenido al realizar trabajo con cuerpo entero y el obtenido durante el trabajo en el que predominan los miembros inferiores, a través de la ejecución de ejercicio en elíptica y cicloergómetro. Entre ambos métodos hubo una correlación positiva alta y estadísticamente significativa. La diferencia entre los valores medios de VO2 máximo alcanzado por los participantes en las dos pruebas fue de 13%, esta diferencia resultó estadísticamente significativa.

Es posible predecir el VO2 de cuerpo entero a partir del VO2 de miembros inferiores para la población de estudio y viceversa, si se utilizan los tipos de ejercicio ejecutados. Sin embargo, la concordancia entre ambos métodos fue pobre por lo que no se recomienda utilizar la elíptica para el cálculo del consumo de oxígeno cuando por ejemplo se busca proponer criterios de seguridad para trabajadores que utilicen la bicicleta como medio de trabajo, como tampoco se invita a seleccionar el cicloergómetro cuando el trabajo de la persona implica mantener posición de pie y utilizar tanto los miembros inferiores como los superiores durante el desempeño de su actividad laboral.

Es decir, se sugiere seleccionar el tipo de ejercicio a través del cual se desea obtener el VO2 máximo de acuerdo a la actividad con la que será posteriormente comparada, teniendo en cuenta los segmentos corporales y específicamente los grupos musculares que más se utilizan durante su ejecución, además de otros factores como la postura en la que se desempeñan las tareas.

-La relación entre la frecuencia cardíaca y el consumo de oxígeno registrados durante la ejecución de este estudio fue prácticamente rectilínea, mostrando una correlación positiva y muy alta tanto para el trabajo de miembros inferiores como

para el de cuerpo entero. Lo anterior, permite establecer los criterios de seguridad en términos de la FC teniendo en cuenta que su medición es más práctica y asequible.

-Entre el tiempo de trabajo máximo aceptable y las variables fisiológicas estudiadas (%VO₂ max, VO₂R y FCR) existe una alta correlación negativa, que puede explicarse a través de un modelo de regresión cúbico, este estudio permitió obtener 3 modelos de predicción del TMTA para cada una de las variables.

-Los modelos de predicción generan una base para proponer límites de seguridad para el trabajo dinámico realizado predominantemente con miembros inferiores. Los límites obtenidos para jornadas de 12, 8 y 4 horas de duración fueron comparados con los establecidos anteriormente por 2 estudios realizados en una población europea y en una taiwanesa, encontrando que los resultados fueron muy similares para un tiempo de 8 horas, sin embargo, para una jornada de 12 horas los límites establecidos para la población del presente estudio fueron menores. Para una extensión de 4 horas, los 3 modelos arrojaron límites superiores para los participantes del estudio actual en comparación con los establecidos por las investigaciones extranjeras. De acuerdo con lo anterior, los participantes en el estudio colombiano toleran mejor las jornadas cortas que las largas, lo cual contrasta con otras poblaciones.

-La relación entre carga física de trabajo y TMTA estudiada en la presente investigación permitiría generar líneas guía en las que se determinen criterios para establecer combinaciones aceptables de carga física y duración para actividades que requieran la ejecución de trabajo muscular dinámico de miembros inferiores. A partir de la relación entre TMTA y FCR se puede obtener una herramienta práctica que facilite la evaluación de la carga física de trabajo en el campo, a través de la medición y el registro de los datos de los valores de FC de los trabajadores.

-Ahora bien, cuando se habla de carga de trabajo aceptable o tiempo de trabajo aceptable, se utiliza el término aceptable con relación al individuo y más específicamente a su capacidad cardiorrespiratoria. Se recomienda tener siempre en cuenta que la salud es un continuo y que las capacidades de los sujetos pueden variar a lo largo de su ciclo vital, por lo que se deben considerar las condiciones de salud (embarazo, vejez, discapacidad, enfermedad, entre otras) por las que curse el trabajador en un momento dado, al ajustar su carga de trabajo y la extensión de la jornada laboral.

A partir del conocimiento de la actividad laboral, sus objetivos, la carga física del trabajo, la capacidad física del trabajador, la duración de la jornada laboral, entre otros, se cuenta con herramientas que permiten diseñar y administrar tiempos efectivos de reposo durante la jornada laboral, en los que se permita la recuperación de los tejidos, previniendo así alcanzar estados de fatiga.

-Adicionalmente deben considerarse otros factores como las condiciones climáticas, la alimentación e hidratación de los trabajadores y todos aquellos factores que permitan mantener un funcionamiento adecuado de su metabolismo.

- En las últimas décadas la mayoría de estudios de la ergonomía se han realizado bajo el enfoque de la biomecánica dejando de lado el enfoque fisiológico, durante la búsqueda bibliográfica para la construcción del estado del arte y la elaboración de la discusión del presente estudio se hizo evidente la escasez de referentes de los temas tratados, encontrando muy poco a nivel de américa latina lo que indica que se necesitan más estudios para nuestra población, pues constantemente se habla de la alta incidencia y prevalencia de desórdenes musculo esqueléticos y otras afectaciones de la salud de los trabajadores, pero muy poco de las capacidades físicas del trabajador con relación las demandas de su labor. Si el objetivo es garantizar que dichas demandas no excedan las capacidades de los trabajadores, se necesitan más investigaciones que permitan basar el diseño de

los sistemas de trabajo en función de las necesidades del mismo y por supuesto, se requiere el conocimiento de las características físicas de nuestra población.

11. LIMITACIONES DEL ESTUDIO

Actualmente predominan los estudios del enfoque biomecánico y psicofísico sobre los del enfoque fisiológico, los cuales fueron principalmente ejecutados entre 1930 y mediados de los 80, siendo cada vez menos incidentes. Para la época en que estos estudios fueron publicados no se contaba con el recurso de la internet y la mayoría están aún en medio físico en su idioma original, no han sido digitalizados y no se encuentran disponibles en las bases de datos en línea. Por este motivo acceder a la bibliografía para la construcción del estado del arte fue una limitación para el estudio. Se hizo necesario gestionar a través de diferentes bibliotecas universitarias de la región para acceder a algunas de las publicaciones disponibles, en otros casos se optó por utilizar recursos propios de los investigadores para conseguir la información requerida.

Los equipos utilizados para el estudio, en especial el ergoespirómetro son costosos, poco disponibles en nuestro país y mayormente utilizados en el medio clínico. Para el estudio se logró contar con un solo ergoespirómetro lo que retrasaba los tiempos de ejecución.

La extensa duración de las pruebas y la necesidad de monitorear a los sujetos durante su recuperación hacían necesario invertir bastante tiempo tanto por parte de los investigadores como de los participantes, el estudio no contó con patrocinio externo, el tiempo invertido no fue remunerado económicamente y la participación de los sujetos ocupó sus tiempos de ocio y recreación.

El tema, el enfoque y la forma en que fue planteado el estudio, saliéndose de los esquemas normalmente utilizados en la escuela dificultó la aprobación del mismo y retrasó los tiempos de ejecución.

12. RECOMENDACIONES

- Se recomienda para futuros estudios gestionar patrocinios que permitan remunerar el tiempo invertido por los participantes y los investigadores, que faciliten la consecución de equipos e implementos para acelerar los procedimientos, que provean de los medios necesarios para conseguir la bibliografía requerida, entre otros y que posibiliten trabajar con muestras más grandes y representativas.
- Se sugiere continuar realizando estudios bajo este enfoque en diferentes poblaciones y contextos de nuestra ciudad, país y región que permitan establecer criterios de seguridad propios y más precisos para proteger la salud y mejorar las condiciones de vida y las laborales de los trabajadores colombianos y latinos.
- Estudiar con mayor profundidad las posibles diferencias con enfoque de género en las poblaciones laborales en cuanto a las respuestas fisiológicas de acuerdo a la extensión de la jornada, la intensidad de la carga y los segmentos corporales utilizados.
- Investigar la relación entre la determinación social y las capacidades fisiológicas de diferentes poblaciones colombianas dentro del contexto laboral.

BIBLIOGRAFÍA

- 1) Armstrong T, Buckle P, Fine LJ, Hagberg M, Jonsson B, Kilborn A, Silverstein BA, Sjogaard G, Juntura V. A conceptual model for work-related neck and upper-limb musculoskeletal disorders. *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health*. 1993 (19) 73–84.
- 2) Chaffin DB, Andersson GB, Martin BJ. *Occupational Biomechanics*. 3ra ed. Estados Unidos: Wiley-Interscience, 1999. p376.
- 3) Osborne DJ. "Ergonomía en Acción: La adaptación del medio de trabajo al hombre", Primera impresión, México: Trillas, 1992.
- 4) Konz S. Work/rest: Part II – The scientific basis (knowledge base) for the guide. *International Journal of Industrial Ergonomics*. 1998; 22(1-2): 73- 99.
- 5) Astrand P, Rodahl K. *Textbook of Work Physiology*. 4ta ed. Nueva York: McGraw- Hill; 1986. 295p.
- 6) Bink B. The physical working capacity in relation to working time and age. *Ergonomics*. 1962; 5(1): 25 28.
- 7) Ilmarinen J. Job design for the aged with regard to the decline in their maximal aerobic capacity: Part I - Guidelines for the practitioner, *International J IndErgon*. 1992; 10(1-2):53- 63.
- 8) Jérgensen K. Permissible loads based on energy expenditure measurements. *Ergonomics*. 1985; 28 (1): 365-369.
- 9) Michael ED, Hutton KE, Horvath SM. Cardiorespiratory responses during prolonged exercise. *Journal of Applied Physiology*. 1961 Nov 1;16(6): 997-1000.

- 10) Velásquez JC. Carga Física de Trabajo, Bases Fisiológicas y Metodológicas para su Estudio. 1ra ed. Pereria. Pereira: Universidad Libre. Seccional Pereira; 2006. 108p.
- 11) Kodak E. Kodak's Ergonomic Design for People at Work. 2da ed. Estados Unidos: The Eastman Kodak Company; 1986. 212p.
- 12) Marais G, Dupont L, Maillet M, Weissland T, Vanvelcenaher J, Pelayo P. Cardiorespiratory and efficiency responses during arm and leg exercises with spontaneously chosen crank and pedal rates. *Ergonomics*. 2002; 45(9): 63-39.
- 13) 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 – 20
- 14) Bernmark E, Wiktorin C, Svartengren M, Lewné M, Berg SA. Bicycle messengers: energy expenditure and exposure to air pollution. *Ergonomics*. 2006 Nov 15; 49(14): 1486–1495.
- 15) Astrand PO, Saltin B. Maximal oxygen uptake and heart rate in various types of muscular activity. *Journal of Applied Physiology*. 1961; 16(6): 977-981.
- 16) Stenberg J, Astrand PO, Ekblom B, Royce J, Saltin B. Hemodynamic response to work with different muscle groups, sitting and supine. *Journal of Applied Physiology*; 1967(22): 61–70.
- 17) Shephard RJ, Allen C, Benade AJ, Davies CT, Di Prampero PE, Hedman R, Merriman JE, Myhre K, Simmons R. The maximum oxygen intake: an international reference standard of cardiorespiratory fitness. *Bull World Health Organ*. 1968; 38(5):757-764.
- 18) Hagerman FC, Lawrence RA, Mansfield MC. A comparison of energy expenditure during rowing and cycling ergometry. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 1988 Oct; 20(5):479-88.

- 19) Hoffman MD, KassayKM, Zeni AI, Clifford PS. Does the amount of exercising muscle alter the aerobic demand of dynamic exercise?. *European Journal of Applied Physiology*. 1996; 74(6): 541-547
- 20) Asmussen E, Hemmingsen I. Determination of maximum working capacity at different ages in work with the legs or with the arms. *Scandinavian Journal of Clinical & Laboratory Investigation*. 1958; 10(1):67–71
- 21) Astrand PO, Saltin BM. Op cit..
- 22) Stenberg J, Astrand PO, Ekblom B, Royce J, Saltin B. Op cit.
- 23) Shephard RJ, et al, Op cit.
- 24) Reybrouck T, Heigenhauser GF, Faulkner JA. Limitations to maximum oxygen uptake in arms, leg, and combined arm-leg ergometry. *Journal of Applied Physiology*. 1975; 38: 774-779.
- 25) Lewis SF, Taylor WF, Graham RM, Pettinger WA, Schutte JE, Blomqvist CG. Cardiovascular responses to exercise as functions of absolute and relative work Load. *J Appl Physiol*. 1983 May 1; 54(5):1314-1323.
- 26) Shephard RJ, Bouhlei E, Vandewalle H, Monod H. Muscle mass as a factor limiting physical work. *J. Appl. Physiol*. 1988; 64(4): 1472-1479.
- 27) Ibid (Shephard) pp 1472
- 28) Hagerman FC, Lawrence RA, Mansfield MC. Op cit.
- 29) Hoffman MD, KassayKM, Zeni AI, Clifford PS. Op cit.
- 30) Aminoff T, Smolander J, Korhonen O, Louhevaara V. Op cit.
- 31) Asmussen E, Hemmingsen I. Op Cit. 1958;10(1):67–71

- 32) Ilmarinen J, Louhevaara V. Heart rate as an estimator of oxygen consumption during manual postal delivery. *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health*. 1982;8(1):29-36.
- 33) Bot SD, Hollander AP. The relationship between heart rate and oxygen uptake during non-steady state exercise. *Ergonomics*. 2000; 43(10): 1578-1592.
- 34) Kirk PM, Sullman MJ. Heart rate strain in cable hauler choker setters in New Zealand logging operations. *Applied Ergonomics*. 2001;32(4): 389-398.
- 35) Bouchard DR, Trudeau F. Reliability of the assessment of the oxygen/heart rate relationship during a workday. *Applied Ergonomics*. 2007; 38(5): 491–497
- 36) Wu HC, Wang MJ. Relationship between maximum acceptable work time and physical workload. *Ergonomics*. 2002 Mar 15; 45(4): 280- 289.
- 37) Ariza LE, Idrovo AJ. Carga Física y Tiempo Máximo de Trabajo Aceptable en trabajadores de un supermercado en Cali, Colombia. *Revista de Salud Pública*. 2005; 07(002): 145-156.
- 38) Velásquez JC, Montes J. Carga Física de Trabajo en Trabajadores de Supermercados en Cali, Colombia. XVI Convención Científica de Ingeniería y Arquitectura; 2012 Nov 26-30; La Habana, Cuba.
- 39) Sabogal VH. Tiempo medio de trabajo aceptable en operarios de máquina de una industria de manufactura. [Tesis de Magister en Salud Ocupacional]. [Santiago de Cali]: Universidad del Valle. Facultad de Salud Pública; 2010.
- 40) Ortiz LM. Diagnóstico para la Implementación de un Programa de Vigilancia en Salud, Dirigido a la Prevención de Desórdenes Musculoesqueléticos Relacionados con el Trabajo.(Tesis de Pregrado). Cali, Universidad del Valle. 2009 Pp 27
- 41) CONSUMERS AND STANDARDS: PARTNERSHIP FOR A BETTER WORLD. Glossary of terms and abbreviations. [Sitio en internet]. Disponible en:

http://www.iso.org/sites/ConsumersStandards/5_glossary.html Consultado: 20 de noviembre de 2012

42) International Ergonomics Association. Definition of Ergonomics [Internet] Zurich: Ergonomics Association. [CITADO 2000] Disponible en: http://www.iea.cc/01_what/What%20is%20Ergonomics.html. Consultado: 20 de noviembre de 2012

43) Organización Internacional del Trabajo, OIT. Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo. Volumen II. Parte IV: Herramientas y Enfoques, Capítulo 29: Ergonomía. Tercera Edición, 2001.

44) Asociación Española de Ergonomía- ¿Qué es la ergonomía? Disponible en: <http://www.ergonomos.es/ergonomia.php> Consultado: abril 15 de 2012

45) ICONTEC. Proyecto Norma Técnica Colombiana NTC 3955. 2010. Pp 2.

46) Wilson JR. Fundamentals of ergonomics in theory and practice. Applied Ergonomics. 2000; 31(6): 557-567.

47) International Ergonomics Association. Definition of Ergonomics, Domains of specialization [Internet] Zurich: Ergonomics Association. [CITADO 2000] Disponible en: http://www.iea.cc/01_what/What%20is%20Ergonomics.html.

48) Nussbaum MA, VanDieën JH. Mechanical Engineers' Handbook: Materials and Mechanical Design. Pp 763. Tercera edición. 2006

49) Íbid, pp 765.

50) Kroemer K, Hiltrud J, Kroemer H, Kroemer KE. Engineering Physiology: Bases of Human Factors Engineering/Ergonomics. Capítulo 11: Engineering Anthropometry. Pp 275-276. Cuarta Edición. Editorial Springer. 2010.

51) Ayoub MM. Problems and solutions in manual material handling: the state of the art. Ergonomics. 1992;35 (7/8): 713-728.

- 52) Mital A, Nicholson AS, Ayoub MM. A guide to manual materials handling. Segunda edición. London: Taylor & Francis. c1997. 140p.
- 53) Leung AW, Chan CC, He J. Structural stability and reliability of the Swedish occupational fatigue inventory among Chinese VDT workers. *Applied Ergonomics*. 2004; 35(3):233-41.
- 54) Nussbaum MA. And VanDieën JH. Op cit, pp 773.
- 55) Carranza A, Vallejo JL. Fatiga Laboral. [internet] Monterrey (Méjico): Ergonomía Ocupacional S.C.; 2004 Feb, [Consultado febrero 20 2012]. Disponible en <http://www.ergocupacional.com/4910/20608.html>
- 56) Ahsberg E, Gamberale F, Kjellberg A. Perceived quality of fatigue during different occupational tasks Development of a questionnaire. *International Journal of Industrial Ergonomics*. 1997; 20 (2): 121-135.
- 57) Nussbaum MA. And VanDieën JH. Op cit.
- 58) Velásquez JC, Op cit. Pp 99-100, 103.
- 59) Bugajska J, Makowiec-Dabrowska T, Jegier A, Marszalek A. Physical work capacity (VO2 max) and work ability (WAI) of active employees (men and women) in Poland. *International Congress Series*. 2005; 1280:156–160
- 60) American College of Sports Medicine. Manual ACSM para la valoración y prescripción del ejercicio. 2da ed. España: Editorial Paidotribo. c2007. p86.
- 61) Velásquez JC, Op cit. Pp 99-100, 103.
- 62) Ibid. Pp 108.
- 63) Karwowski W. Smith J.L. *International Encyclopedia of Ergonomics and Human Factors*, segunda edición. Estados Unidos: Taylor & Francis; c2006. Pp 3606. Capítulo 106: Physical Work Capacity.

- 64) Íbid, Pp 3606.
- 65) Smolander J, Juutia T, Kinnunen ML, Laine K, Louhevaara V, Mannikko K, Rusko H. A new heart rate variability-based method for the estimation of oxygen consumption without individual laboratory calibration: Application example on postal workers. *Applied Ergonomics*. 2008; 39(3): 325–331.
- 66) Pareja Castro, Luis Alberto. La frecuencia cardíaca de reserva como indicador de carga interna. *Revista Educación Física y Deporte*. Volumen 20 # 1, páginas 61 a 68. Universidad de Antioquia. 1998.
- 67) Wu HC, Wang MJ. Op cit.
- 68) Gabaldón A. Relación salud-trabajo y desarrollo social: visión particular en los trabajadores de la educación. *Rev Cubana Salud Pública* 2006;32(1)
- 69) Estrada M. Jairo, et al, 1995. Parámetros Antropométricos de la Población Laboral Colombiana. *Acopla* 95.
- 70) Astrand PO, Saltin B. Op cit..
- 71) Stenberg J, Astrand PO, Ekblom B, Royce J, Saltin B. Op cit.
- 72) Shephard RJ, Allen C, Benade AJ, Davies CT, Di Prampero PE, Hedman R, Merriman JE, Myhre K, Simmons R. Op cit.,
- 73) Reybrouck T, Heigenhauser GF, Faulkner JA. Limitations to maximum oxygen uptake in arms, leg, and combined arm-leg ergometry. *Journal of Applied Physiology*. 1975; 38: 774-
- 74) Hagerman FC, Lawrence RA, Mansfield MC. Op cit.
- 75) Hoffman MD, Kassay KM, Zeni AI, Clifford PS. Op cit.

76) Swain, D.P. and Leutholtz, B.C. Heart rate reserve is equivalent to %VO₂reserve, not to %VO₂max. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 29, 410-414. 1997.

77) Swain, D.P., Leutholtz, B.C., King, M.E., Haas, L.A. and Branch, J.D. Relationship between % heart rate reserve and %VO₂reserve in treadmill exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 30, 318-321. 1998.

78) Dalleck L. C. and Kravitz L. Relationship between %heart rate reserve and %vo₂ reserve during elliptical crosstrainer exercise. *Journal of Sports Science and Medicine* (2006) 5, 662-671.

ANEXOS

Anexo 1

INSTRUMENTO PARA VERIFICAR LA APTITUD DEL POSIBLE PARTICIPANTE PARA LAS PRUEBAS FÍSICAS

NOMBRE DEL EVALUADOR: _____ Fecha: __ / __ / ____

CÓDIGO DEL VOLUNTARIO: _____

TEST PAR – Q

Método de autoconsulta

Es un test destinado a evaluar si se necesita pedir una revisión médica antes de hacer ejercicio físico. Se llama Test Par-Q (Physical Activity Readiness Questionnaire). Consta de siete preguntas, a las cuales hay que contestar sí o no.

Está pensado para personas que tengan entre 15 y 69 años, y, en caso de que alguna de las respuestas sea afirmativa, la primera recomendación es consultar al médico antes de iniciar una actividad física en este caso el trabajador no entraría al estudio de investigación.

Test (PAR-Q):

1. Alguna vez su médico le ha dicho que tiene algún problema en el corazón y que usted debe realizar actividad física solo bajo recomendación médica? ()
2. Usted presenta dolor o molestia en su pecho cuando realiza actividad física? ()
3. En el último mes ha tenido dolor en el pecho estando en reposo? ()
4. usted pierde el balance o equilibrio a causa de mareo, vértigo o alguna vez ha perdido la conciencia? ()
5. Tiene algún problema en huesos y articulaciones que pueda empeorar con la actividad física? ()
6. Su médico le ha formulado algún medicamento para la tensión arterial o para su corazón? ()
7. Conoce alguna otra razón por la cual usted no deba realizar actividad física? ()

1. CONTRAINDICACIONES ABSOLUTAS para la realización de la prueba de esfuerzo ergoespirométrico

Ha sufrido o sufre alguna de las siguientes enfermedades	SI	NO
Enfermedades infecciosas agudas y crónicas activas		
Insuficiencia cardiaca		
Insuficiencia coronaria o signos de insuficiencia coronaria con una carga baja a esfuerzos físicos 30 vatios		

Arritmia cardiaca (de la frecuencia: taquiarritmias, bradiarritmias o del ritmo. Extrasístoles, bloqueos de rama, fibrilación auricular, etc.), alteraciones de la conducción cardiaca ante esfuerzos pequeños 30 a 50 vatios		
Antecedente de Infarto cardiaco reciente		
Hipertensión arterial no controlada, o controlada con medicamentos que induzcan bradicardia o taquicardia		
Antecedente de Accidente Cerebro vascular		
Antecedente de procedimiento quirúrgico reciente, menos de seis meses		
Neoplasias de cualquier tipo		
Hipertiroidismo o hipotiroidismo		
Enfermedades del tejido conectivo como Lupus eritematosos sistémico, Artritis reumatoide, etc. .que impida la realización de la prueba		
Anemia o discrasias sanguíneas		
Síndrome febril o fiebre de cualquier origen.		

En relación con las siguientes contraindicaciones relativas conteste	SI	NO
Ha ingerido bebidas alcohólicas en las últimas 24 horas?		
Ha trasnochado o se ha desvelado la noche		

anterior?		
Ha realizado actividad física importante el día anterior?		
Ha fumado cigarrillo en las últimas dos horas?		
Ha tomado café o bebidas cafeinadas en las últimas dos horas		
Ha tomado te o chocolate en las últimas dos horas?		
Ha tomado o ingerido sustancias estimulantes como cocaína, marihuana, etc, en las últimas dos horas?		
Ha tenido ayuno (no ha ingerido alimentos) mayor a tres horas el día de la prueba?		

APTO

SI ____ NO ____

ANEXO 2
FORMATO CHEQUEO FÍSICO

EVALUADOR: _____ **Fecha:** __/__/____

CÓDIGO DEL PARTICIPANTE: _____

Se aplicará posterior al Formato de Valoración de Aptitud para las Pruebas Físicas, para verificar elegibilidad de los participantes.

Permita que el posible participante repose durante 15 minutos en posición sedente y proceda a realizar la toma de datos, haciendo previa explicación del procedimiento.

1. Toma de signos vitales en reposo

FRECUENCIA CARDIACA	FRECUENCIA RESPIRATORIA	TEMPERATURA CORPORAL	TENSIÓN ARTERIAL

2. Para revisar de manera rápida que los arcos de movilidad del sistema osteo muscular son funcionales y permiten la ejecución de la pruebas, solicite al posible participante realizar los siguientes movimientos o adoptar las posturas mencionadas a continuación:

1. Intente tocar los bordes superior e inferior del borde medial de la escápula (el investigador deberá explicar con ejemplo visual)
 2. Intente recoger un lapicero que se encuentra en el piso.
 3. Adopte posición de cuclillas (el investigador deberá explicar con ejemplo visual).
 4. Párese en la punta de los pies.
3. Para realizar una valoración rápida del balance, solicite al posible participante:
1. Ponerse de pie y levantar un pie del piso y sostener el equilibrio por 10 segundos, repítalo con el cambiando el pie de apoyo.
 2. Caminar en las puntas de los pies en línea recta con longitud de zancada y base de sustentación reducidas (el investigador deberá explicar con ejemplo visual).

Indique si el posible participante realizó las pruebas anteriores de acuerdo a lo indicado y sus signos vitales están dentro de los rangos de normalidad:

si ____ No ____

ANEXO 3

HOJA DE DATOS ANTROPOMÉTRICOS Y FISIOLÓGICOS

Construcción de indicadores fisiológicos y modelo para la evaluación de la carga física dinámica global y por segmentos corporales basados en el consumo de oxígeno y la frecuencia cardiaca

NOMBRE DEL EVALUADOR: _____ Fecha: __/__/____

CÓDIGO DEL PARTICIPANTE: _____

GENERO	
FECHA DE NACIMIENTO d/m/a	
EDAD EN AÑOS	
ESTATURA cm	
PESO kg	

DIAMETROS OSEOS	cm
bi epicondilar humeral	
Radio ulnar distal (muñeca)	
Bi epicondilar femoral	

PLIEGUES CUTANEOS	mm
biceps	
triceps	
subescapular	
ilio crestal	
espinal	
abdominal	
mulso	
pierna	

PERIMETROS MUSCULARES	cm
brazo relajado	
brazo contraído	
Antebrazo contraído	
Muñeca	
Torax	
Abdomen	
Cadera	
Muslo	
pierna	
cuello de pie (tobillo)	

ERGOESPIROMETRIA MMSS									
Tiempo min	FC	TA	VO2	%satO2	PERCEP	WATT	KCAL	t° ORAL	T° CAE
REPOSO									
1								FINAL	FINAL
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									

TIEMPO	30 seg	1 min	3 min	5 min
FC RECUPERACION MMSS				

ERGOESPIROMETRIA MMII									
Tiempo min	FC	TA	VO2	%satO2	PERCEP	WATT	KCAL	t° ORAL	T° CAE
REPOSO									
1								FINAL	FINAL
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									

TIEMPO	30 seg	1 min	3 min	5 min
FC RECUPERACION MMII				

ERGOESPIROMETRIA GOBAL (ELIPTICA)									
Tiempo min	FC	TA	VO2	%satO2	PERCEP	WATT	KCAL	t° ORAL	T° CAE
REPOSO									
1								FINAL	FINAL
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									

TIEMPO	30 seg	1 min	3 min	5 min
FC RECUPERACION ELPT				

ANEXO 4

FORMATO DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE TIEMPO MÁXIMO DE TRABAJO

ACEPTABLE PARA TRABAJO CON MIEMBROS INFERIORES

NOMBRE DEL EVALUADOR: _____ Fecha: __ / __ / ____

CÓDIGO DEL PARTICIPANTE: _____

HORA DE INICIO	
HORA DE FINALIZACIÓN	

TIEMPO (min)	%W máx	WATTS	FC	VO2	OBSERVACIONES
REPOSO					
1					
2					
3					
4					
5					
10					
15					
20					
30					
40					
50					

ANEXO 5

CONSENTIMIENTO INFORMADO

DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE EL VO2 MÁXIMO GLOBAL Y EL VO2 MÁXIMO CUANDO EL TRABAJO SE REALIZA PREDOMINANTEMENTE CON MIEMBROS INFERIORES

YO _____ CC: _____ de: _____

He recibido de manera clara y comprensible la siguiente información:

Aunque la tecnología ha facilitado las labores de los trabajadores, aún en la actualidad en Colombia y en el mundo siguen existiendo trabajos pesados y jornadas laborales extensas que en algunos casos exceden las 8 horas diarias.

La ejecución de labores físicas de alta exigencia, sin tiempos de recuperación adecuados, acelera la aparición de fatiga, la cual puede resultar en deterioro de la salud del trabajador, repercutiendo en su calidad de vida y la de su familia, ocasionando disminución de su desempeño laboral y a su vez, detrimento de la productividad empresarial. Por lo anterior, es necesario establecer márgenes de seguridad que protejan a los trabajadores, y que garanticen que la carga física de trabajo sea dosificada de acuerdo con la duración de la jornada laboral, la capacidad física del trabajador y los segmentos corporales predominantemente utilizados durante el trabajo.

¿Cuál es el propósito del estudio?

Usted ha sido invitado a participar en el estudio *DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE EL VO2 MÁXIMO GLOBAL Y EL VO2 MÁXIMO CUANDO EL TRABAJO SE REALIZA PREDOMINANTEMENTE CON MIEMBROS INFERIORES*. Este proyecto de investigación a cargo de una estudiante del Magíster de Salud Ocupacional del Valle y de su tutor tiene por objetivo determinar la relación existente entre el VO2 máximo cuando se trabaja con todo el cuerpo y el VO2 máximo cuando el trabajo se realiza predominantemente con miembros inferiores, y así generar una base de conocimiento que sirva como referente para el posterior desarrollo de una metodología para el estudio de la carga física dinámica en los casos en que el trabajo se efectúa principalmente con dichos segmentos corporales.

¿Qué pasará durante el estudio?

Si usted acepta hacer parte de este estudio después de verificarse el cumplimiento de los criterios de inclusión y la firma de este consentimiento informado, será citado 4 veces, de acuerdo a su disponibilidad de horario y a las fechas de ejecución de las pruebas para cumplir con la siguiente agenda:

Día 1: Le haremos un chequeo físico inicial en el cual se medirán sus signos vitales (Frecuencia cardíaca, frecuencia respiratoria, temperatura y tensión arterial) a través de métodos convencionales y no invasivos. Adicionalmente le solicitaremos adoptar algunas posiciones y ejecutar unos movimientos para revisar que los rangos de movilidad de sus articulaciones y su equilibrio estático y

dinámico le permitirán tener un desempeño adecuado durante la ejecución de las pruebas y así reducir riesgos de lesión o caídas.

Posteriormente, mediremos su peso corporal, talla, pliegues cutáneos con un caliper, perímetros musculares con cinta métrica y diámetros óseos, a través de procedimientos sencillos, con el fin de obtener el índice de masa corporal, porcentaje de grasa corporal y porcentaje de masa muscular.

Al finalizar las mediciones se continuará con dos pruebas físicas para determinar el consumo de oxígeno máximo, la frecuencia cardíaca máxima y la capacidad de trabajo máxima con relación a los segmentos utilizados, para estas pruebas se le solicitará utilizar un sensor de la frecuencia cardíaca, el cual viene dotado de una banda elástica que se ajusta alrededor del tórax y un reloj de muñeca en el que se registran los datos de la misma a través de las pruebas. Adicionalmente se requerirá el uso de una máscara que cubre nariz y boca y que nos permitirá calcular su consumo de oxígeno durante las pruebas.

La primera prueba consiste en manipular un cicloergómetro de brazos, la segunda prueba será en un cicloergómetro de piernas (bicicleta estática) y la tercera en una elíptica. En cada una de las pruebas se le solicitará mantener una velocidad determinada. Se ajustará la resistencia de las máquinas, la cual se irá incrementando a lo largo de cada prueba. Las pruebas son breves, se espera que cada prueba tenga una duración mínima de 6 minutos, sin embargo, la duración varía dependiendo de su capacidad.

Durante las pruebas y al finalizar cada una de ellas se monitorizarán sus signos vitales. Se dará el tiempo y el espacio necesarios entre cada prueba para su merecido reposo y recuperación.

Se le solicitará con anterioridad abstenerse de ingerir bebidas alcohólicas y/o sustancias estimulantes durante las 24 horas previas a la prueba, bebidas y/o comidas que contengan té, café o chocolate, dos horas antes de las pruebas y no

haber ayunado por más de tres horas. Adicionalmente, se requiere su colaboración para no trasnochar la noche anterior a las pruebas.

Considerando las pruebas a realizar durante el día 1, y los tiempos de recuperación le pedimos que tenga disponibilidad durante todo el día para la ejecución de las mismas.

Se le brindará hidratación y refrigerios.

Días 2, 3 y 4: Habiendo obtenido su capacidad de trabajo máxima durante el día 1, se realizarán tres pruebas más, una por día, las cuales consistirán en realizar ejercicio en el cicloergómetro de miembros inferiores (bicicleta estática), al 50%, 30% y 20% de la capacidad máxima, respectivamente, manteniendo una frecuencia de pedaleo constante. La prueba será finalizada cuando usted se sienta exhausto y decida suspenderla de forma voluntaria. Al igual que en la prueba anterior se utilizará el pulsómetro para registrar la frecuencia cardiaca y el ergoespirómetro con la máscara para el VO₂. La duración de las pruebas varía dependiendo de cada individuo, se le solicitará disponibilidad de cuatro horas para el día 2 y de ocho horas para los días 3 y 4.

Al igual que en el día 1, se le solicitará abstenerse de trasnochar, consumir bebidas alcohólicas, sustancias estimulantes e ingerir alimentos que contengan los ingredientes arriba mencionados durante los tiempos establecidos antes de ejecutar cada una de las pruebas.

¿Cómo se podría beneficiar si participa en el estudio?

Todos los resultados de las pruebas y mediciones serán entregados y explicados, de esta manera los participantes podrán conocer el porcentaje de grasa y el de masa muscular, sus niveles de entrenamiento actual, y la capacidad física de trabajo de cada uno. Se responderán las inquietudes que puedan surgir al

respecto y se entregará información acerca de los beneficios de la práctica de ejercicio físico.

¿Qué daños podrían ocurrirle al participante si hace parte del estudio?

La toma de medidas antropométricas es sencilla y no invasiva, no generará ningún riesgo para su salud, como tampoco lo hará la toma de signos vitales. Durante el chequeo del equilibrio y la ejecución de las pruebas existe un mínimo riesgo de caída, sin embargo, usted estará todo el tiempo acompañado por parte de los investigadores, quienes estarán pendientes para reaccionar ante cualquier situación que pueda presentarse, las máquinas utilizadas en las pruebas son estables y tienen agarraderas. Durante la ejecución de las pruebas y posterior a ellas usted puede experimentar fatiga o cansancio, aumento de la frecuencia respiratoria, de la frecuencia cardíaca, de la presión arterial y de la temperatura corporal pero el reposo adecuado le permitirá recuperarse. Existe un riesgo mínimo de presentar isquemia cardíaca si existe algún antecedente previo de enfermedad coronaria, por lo cual se reitera la importancia de informar si ha padecido algún evento de este tipo y de ser así debe abstenerse de realizar la prueba. También existe una baja probabilidad de presentar síncope, en cualquier caso los investigadores estarán atentos a cualquier manifestación de su parte acerca de su estado de fatiga y se le solicita avisar en caso de sentir cualquier síntoma fuera de lo normal. En caso de presentarse cualquier efecto adverso resultante de las pruebas realizadas, usted será atendido de forma inmediata y todos los costos del manejo de estos inconvenientes serán cubiertos por el estudio. Para la asistencia a las pruebas usted recibirá el transporte y un refrigerio adecuado para la actividad que se va a realizar.

Confidencialidad

La información obtenida será utilizada únicamente para propósitos del estudio. Su nombre no se revelará en ningún reporte o publicación.

Costo de su participación

Ninguno. El estudio asume el costo de las pruebas en el laboratorio, los refrigerios y los transportes para la realización de las mismas.

Sus derechos en el estudio

Su participación en el estudio es totalmente voluntaria. Si usted decide no participar, o si después de haber iniciado el estudio, desea retirarse, podrá hacerlo por cualquier motivo, en el momento que desee, lo cual no generará ninguna consecuencia. Su compromiso con la investigación es asistir a las pruebas en los días que se acuerde, contestar las preguntas que los investigadores le formulen con relación al estudio con total honestidad, desempeñarse en las pruebas de acuerdo a lo solicitado y principalmente acorde con su capacidad. En caso de que tenga preguntas adicionales sobre el estudio, o si llegara experimentar síntomas o malestar en las primeras 24 horas posteriores a la aplicación de las pruebas puede consultar al Dr. Juan Carlos Velásquez Valencia al teléfono 315 4034179 o al correo electrónico jcocup@gmail.com, o a la Fisioterapeuta Luisa María Ortiz Escobar, al 3164808543 o al correo electrónico ortizluisamaria@gmail.com. Adicionalmente, si tiene preguntas o inquietudes acerca del estudio, puede también comunicarse con el comité de Ética Humana de la Universidad del Valle al tel. 5185677, Dr. Roberto Cuenca.

Con su firma usted acepta que ha leído este documento, que se le ha respondido satisfactoriamente a sus preguntas y aclarado las posibles dudas, y que acepta participar voluntariamente en el presente estudio.

Usted recibirá una copia del presente documento.

FIRMA _____ CC _____

NOMBRE DEL TESTIGO 1 _____

FIRMA _____ CC _____

NOMBRE DEL TESTIGO2 _____

FIRMA _____ CC _____

NOMBRE DEL INVESTIGADOR _____

FIRMA _____
_____ CC _____