



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Facultad de Ciencias Químicas

Carrera de Ingeniería Industrial

“Análisis comparativo entre dos métodos indirectos de estimación de la carga física de trabajo: registro de la frecuencia de pulso y monitoreo de la frecuencia cardiaca mediante cinturón torácico en auxiliares de picking”

Trabajo de titulación previo a la
obtención del título de Ingeniero
Industrial

Autor:

John Andrés Ortiz Camposano

CI: 0105502892

Correo electrónico: a_ortiz_c@hotmail.com

Tutora:

Paulina Rebeca Espinoza Hernández

CI: 0103774261

Cuenca- Ecuador

21-marzo-2022



Resumen

La capacidad de desempeño físico depende de varios factores, entre ellos destacan los psicológicos, somáticos, entrenamiento, así como factores propios del trabajo, externos e intrínsecos. El gasto energético que demanda una actividad física puede ser estimada mediante tres mecanismos; observación, descomposición y estimación; medición del consumo de oxígeno y/o la estimación del gasto energético a partir de la frecuencia cardiaca.

La capacidad aeróbica es una medida objetiva y reproducible que se puede medir mediante la estimación indirecta a través del monitoreo de la frecuencia cardiaca, utilizando un cinturón torácico durante el desarrollo de actividades o a su vez con la aplicación de la frecuencia de pulso. La presente investigación plantea la comparativa de dos métodos indirectos de estimación de la carga física de trabajo; además, del estudio de variables como el costo cardiaco relativo, absoluto y su influencia en la experiencia laboral, distancia recorrida y el incremento de la frecuencia cardiaca. Para ello se trabajó en un grupo de preparadores de pedidos en un almacén logístico, en el caso de la frecuencia cardiaca se utilizó un dispositivo portátil durante cuatro horas, mientras que para el análisis del seguimiento de la frecuencia de pulso se realizó un testeo a nivel de la arteria carótida; comparando las variables como la frecuencia cardiaca de reposo, media y máxima mediante la herramienta estadística ANOVA. Los resultados evidenciaron diferencias entre ambas metodologías, obteniendo la influencia del grado de experiencia en el incremento de la frecuencia cardiaca, mientras que las distancias que recorren los auxiliares no influyen netamente en el índice del coste cardiaco absoluto; con el fin de contrastar los resultados estadísticos con la experiencia experimental se solicitó el aporte mediante su criterio de profesionales expertos en ámbitos de medicina, ergonomía y actividad física.

Palabras clave: Capacidad. Pulso. Frecuencia cardiaca. Carga física. Frimat.



Abstract

Physical performance capacity depends on several factors, among them psychological, somatic, training, as well as work, external and intrinsic factors. The energy expenditure demanded by a physical activity can be estimated by three mechanisms; observation, decomposition and estimation; measurement of oxygen consumption and estimation of energy expenditure from heart rate.

Aerobic capacity is an objective and reproducible measure that can be measured by indirect estimation through the monitoring of heart rate, using a chest belt during the development of activities or in turn with the application of pulse rate. The present investigation proposes the comparison of two indirect methods of estimating the physical workload; in addition to the study of variables such as the relative and absolute cardiac cost and its influence on work experience, distance traveled and the increase in heart rate. In the case of heart rate, a portable device was used for four hours, while pulse rate was tested at the level of the carotid artery, comparing variables such as resting, mean and maximum heart rate by means of the ANOVA statistical tool. The results showed differences between both methodologies, obtaining the influence of the degree of experience in the increase of the heart rate, while the distances covered by the assistants did not clearly influence the absolute cardiac cost index.

Keywords: Capacity. Pulse. Heart rate. Physical load. Frimat.



Índice

1. Introducción.....	7
2. Materiales y Métodos.....	11
3. Resultados y Discusiones.....	16
4. Conclusiones.....	25
5. Referencias Bibliográficas.....	26



Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

John Andrés Ortiz Camposano en calidad de autor/a y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Análisis comparativo entre dos métodos indirectos de estimación de la carga física de trabajo: registro de la frecuencia de pulso y monitoreo de la frecuencia cardíaca mediante cinturón torácico en auxiliares de picking", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 21 de marzo de 2022



John Andrés Ortiz Camposano

C.I: 0105502892



Cláusula de Propiedad Intelectual

John Andrés Ortiz Camposano, autor/a del trabajo de titulación "Análisis comparativo entre dos métodos indirectos de estimación de la carga física de trabajo: registro de la frecuencia de pulso y monitoreo de la frecuencia cardíaca mediante cinturón torácico en auxiliares de picking", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor/a.

Cuenca, 21 de marzo de 2022

John Andrés Ortiz Camposano

C.I: 0105502892



1. Introducción

Incrementar la productividad mientras se disminuyen enfermedades y accidentes laborales se ha convertido en uno de los objetivos de importancia en las organizaciones. La Organización Internacional del Trabajo estima que se producen 2800 000 eventos de este tipo, de los cuales 800 000 son accidentes y 2 000 000 son enfermedades que llevan a la muerte (Humberto Tapia Escalante, 2018). Además, de provocar sufrimiento y dolor para los trabajadores y sus familias; lógicamente para las empresas y el mundo conlleva repercusiones económicas tomando en cuenta pérdidas en temas como: indemnizaciones, jornadas laborales, producción, formación y la readaptación profesional, representando el 3.94% del Producto Interno Bruto Mundial.

En el medio industrial existen actividades laborales que demandan una carga física-mental considerable, en la mayoría de los casos, siendo estimada subjetivamente ya sea a criterio del responsable de la gestión de la Seguridad e Higiene en la compañía o como es común en empresas de menor envergadura a criterio del supervisor si la actividad realizada cumple con el objetivo fundamental de la ergonomía, “prevenir sobreesfuerzos que puedan provocar daño a los trabajadores” (Elías Apud et al., 2002, p. 2). La capacidad de desempeño físico depende de varios factores de entre los cuales destacan los siguientes: psicológicos, somáticos, entrenamiento, adaptación, además de factores propios del trabajo como son el ambiente, la organización y división del trabajo, de manera similar intervienen factores externos relacionados con procesos de reproducción de la fuerza de trabajo, factores intrínsecos que se derivan de procesos productores de energía entran en juego, siendo necesario la incorporación, almacenamiento, y distribución de combustible y el consumo de oxígeno (Juan Carlos Velásquez, 2015).

El gasto energético que conlleva una actividad física puede ser estimado mediante tres mecanismos:

1. Basándose en la inspección in situ de las actividades realizadas, dividiéndolas en periodos de movimientos elementales y evaluando mediante tablas.
2. El registro del gasto de oxígeno, su aporte es significativo debido a la relación lineal que existe con la carga en Watios. La variabilidad es muy concreta generalizando el consumo de oxígeno de los individuos testeados para niveles en energéticos similares.
3. La estimación del gasto energético a partir de la frecuencia cardíaca. Debido a la relación lineal entre este parámetro y el gasto energético (Romero & Álvarez Carlos, 2011).

El componente energético consta de procesos aeróbicos, anaeróbicos y de composición corporal; a su vez el componente morfológico consta de densidad ósea, flexibilidad y potencia; el neuromuscular en el que interviene fuerza y resistencia; el componente cardiorrespiratorio de similar importancia consta de la función cardíaca pulmonar y presión sanguínea (María Gómez, 1991).



De todos los factores mencionados anteriormente mediante los componentes energéticos y cardiorrespiratorios se puede proporcionar una medida objetiva y reproducible de un límite funcional, dicha medida es el consumo máximo de oxígeno ($VO_2máx$) o también denominada capacidad aeróbica. Mediante la capacidad aeróbica se puede evaluar la capacidad máxima de los sistemas cardiovascular y respiratorio, dentro de sus funciones deriva en transportar sangre y oxígeno a los tejidos mientras se está efectuando el trabajo. Una de sus peculiaridades es que es un valor de consumo de oxígeno que no se eleva así la intensidad de trabajo o de la masa muscular activa haya aumentado; además, depende de variables como edad, sexo y el grado de entrenamiento del individuo (Apud et al. 2002).

Para efectos de medición se lo puede considerar de manera directa o indirecta, la vía directa es recomendable su aplicación a deportistas de alto rendimiento puesto que para individuos no entrenados existe riesgo considerable ya que la prueba requiere la realización de un esfuerzo máximo mediante la aplicación de cargas hasta llegar al agotamiento. La estimación indirecta es una alternativa viable para evitar riesgos de llegar al esfuerzo máximo. Por medio de cargas que no involucren un esfuerzo máximo de intensidad se puede realizar mediciones progresivas del consumo de oxígeno y la frecuencia cardiaca (Castillo Juan Alberto, 2007).

La metodología para evaluar el umbral anaeróbico es conocido como umbral láctico; mediante un ergómetro, cargas de trabajo graduadas son aplicadas a intensidad creciente hasta llevar al agotamiento del individuo. Para cada etapa es necesaria una muestra de sangre venosa, donde se mide la concentración de lactato (Jhon Cesar Barrios & Juan Diego Gómez, 2020). Se puede concluir, que es una técnica invasiva al mismo tiempo que no es recomendable para el uso masivo en trabajadores, ya que requiere muestras seriadas de sangre. Existen alternativas que han surgido para superar restricciones que presentan técnicas invasivas como la expuesta anteriormente, el seguimiento de la frecuencia cardiaca, por ejemplo, estima el gasto de energía representa adecuadamente la carga sobre el sistema cardiovascular resultante de la combinación del trabajo muscular, del calor y otros factores (Humberto Tapia Escalante, 2018).

Resumiendo, el monitoreo de la frecuencia cardiaca es el procedimiento de menor grado de complejidad puesto que para su registro utiliza tecnología accesible, no invasiva, aporta información que sola o incorporada a ecuaciones o tablas permite obtener cifras referenciales del gasto energético, consumo de oxígeno, carga cardiaca, tiempos de recuperación, etc. Además, que es un componente importante al realizar estimaciones sobre otras capacidades vitales y poder establecer con ellas acciones para retrasar estados de fatiga y acortar periodos de recuperación antes, durante y después de la jornada de actividades (Humberto Tapia Escalante, 2018). En su inicio el monitoreo de la frecuencia cardiaca se desarrolló en el campo de la medicina del deporte, en la actualidad muchas de las técnicas usadas en el ámbito deportivo han sido implementadas en estudios ergonómicos.



Zapata Hernán, Arango Gloria y Estrada Luz (2011) en su estudio de la valoración de carga física en estibadores proponen el uso del monitoreo de la frecuencia cardiaca; para con los resultados obtenidos aplicar criterios Frimat puesto que son los adecuados para estudios en labores de tipo dinámico y para fases cortas de trabajo, determinando así los niveles de exposición a carga física según el índice de penosidad como es explicado en la NTP 295 y la NTP 323 del Instituto Nacional de Seguridad y Salud de España. Para su estudio contribuyeron un total de 41 estibadores que desarrollan sus actividades en una planta de producción de concentrados para animales en Colombia. La población objeto de estudio tenía una edad de $32,2 \pm 2.2$ años y el índice de penosidad de Frimat promedio fue de 18 ± 2.4 que equivale niveles entre soportable y penoso tomando en cuenta de manera general los puestos de trabajo como se lo puede observar en la Tabla 1. Los autores concluyeron que factores como el tabaquismo, consumo de alcohol, sedentarismo y el índice de masa corporal, “no tienen incidencia significativa con el índice de penosidad de Frimat”

Tabla 1. Puntuación promedio por puesto de trabajo desempeñado por el estibador.

Puesto de trabajo	No. Estibadores	Puntuación Frimat promedio	Nivel de penosidad
Paleador (descargue a granel)	3	273	Extremadamente duro
Arrumador y desarrumador	22	197	Entre soportable y penoso
Bodeguero (Alimentador materia prima)	12	142	Entre ligero y soportable
Cosedor de sacos	4	103	Entre carga física mínima y muy ligero

Fuente: (Hernán Zapata, 2011)

Cabe recalcar que los autores de la investigación mencionada anteriormente, demuestran que el índice de penosidad de Frimat es el ideal en labores de tipo dinámico; además, recalcan la importancia del desarrollo de sistemas de vigilancia epidemiológica para la exposición al factor de riesgo de exigencia física. Dichos sistemas deben tener en cuenta factores como: perfiles de riesgo, actividades de entrenamiento, evaluaciones de carga laboral, rotaciones de horarios y áreas de trabajo, evaluaciones médicas y seguimientos.

Narváez, Manjarrés, Preybrooks y Calle (2019) en el estudio “Physical Workload Traking Using Human Activity Recognition with Wereable Device” estiman la carga física de trabajo mediante el uso de tecnología portátil, el sistema consta de un hardware como reloj y teléfono inteligente, además el software es una aplicación móvil que almacena y monitorea variables fisiológicas e indicadores cardiacos, con el objetivo de proveer una herramienta de apoyo a especialistas en higiene ocupacional y ergonomía. Además de evaluar en tiempo real con criterios Frimat, la aplicación muestra los valores galvánicos con respuesta de la piel (GSR), relacionada con la sudoración, las calorías y el número de



pasos. Estas variables son necesarias para confirmar que las variaciones del ritmo cardíaco se deben a la actividad física y no a otras causas como enfermedades. Mediante un análisis de varianza (ANOVA) los investigadores verificaron que si el tipo de actividad (barrer, trapear y limpiar) o el género (masculino y femenino) afectan significativamente la evaluación de la carga de trabajo. Sus resultados expusieron que el tipo de actividad tiene un efecto significativo estadísticamente en el puntaje Frimat con un nivel de confianza de 95%. Por otro lado, el p valor de 0.075 muestra que no hay evidencia del efecto del género en los valores de Frimat. Su estudio se fundamenta en el monitoreo de personal de conserjería en el momento de mayor exigencia. Concluyen que el tipo de actividad afecta significativamente la carga física con un 95% de confianza. Además, se evidencia que las actividades de los conserjes no presentan un posible riesgo en el lugar de trabajo. El estudio de variables complementarias como GSR, calorías y pasos numéricos muestra que los métodos empleados para realizar la tarea son muy similares entre sujetos. Aunque las tareas eran muy similares, las mujeres requerían más energía en promedio para cumplir con todas sus tareas.

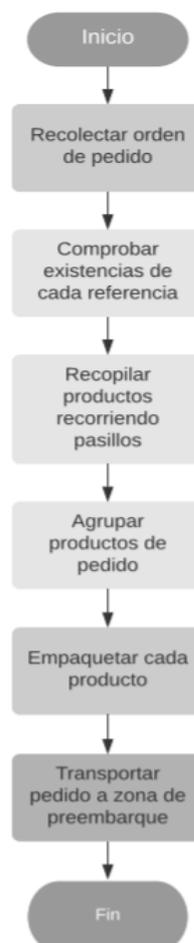
Martínez y Cubillos (2013) proponen la evaluación de la frecuencia cardíaca por medio del registro de la frecuencia de pulso, la observación de la actividad de trabajo y el consumo de oxígeno. Las actividades que involucraban la manipulación de cargas consistían en levantar, trasladar y depositar. Antes, durante y después de la tarea se registra la frecuencia de pulso para 24 voluntarios en condiciones de laboratorio, es importante acotar que el pulso de un individuo involucra la cantidad de pulsaciones por unidad de tiempo, que se manifiesta como una onda de presión que se moviliza alrededor de los vasos sanguíneos. Los autores además validan los valores de la frecuencia de pulso cuando se realizan actividades de media y alta intensidad de manera continua; recalcan que este método no es adaptado para trabajos que se los realiza de manera discontinua. Su estudio concluye que la aplicación de esta metodología es recomendada por su simplicidad y enfatiza por el uso de personal no entrenado en el método fisiológico.

En base a lo establecido anteriormente, el presente estudio plantea la comparativa entre el registro de la frecuencia de pulso, un método práctico, que no genera gastos en equipos ni requiere personal altamente capacitado en el ámbito fisiológico en contraste con el monitoreo de la frecuencia cardíaca mediante cinturón torácico que registra a partir de electrodos precordiales los latidos del corazón; en un intervalo de tiempo determinado, calcula el promedio y lo almacena en una memoria. Por tanto, es importante conocer la validez y precisión de dichos métodos y mediciones para una población establecida.

2. Materiales y Métodos

El estudio se realizó en una planta industrial dedicada a la producción de textiles y productos de hogar, específicamente en el puesto de trabajo denominado auxiliar de picking (preparación de pedidos). En el puesto laboraban 11 personas, siendo su principal actividad la de preparar pedidos recorriendo distancias y distintos niveles en la estantería de producto terminado para su posterior traslado hacia la zona de pre-embarque para la distribución hacia los distintos clientes, la Figura 7 demuestra el proceso en la que un auxiliar se desenvuelve dentro del almacén logístico. El objetivo principal del estudio fue realizar una comparativa entre dos técnicas de evaluación para la estimación de la carga física de trabajo, registro de la frecuencia de pulso en relación al monitoreo de la frecuencia cardiaca mediante cinturón torácico y determinar si los resultados arrojados por el estudio son similares, además del análisis de variables como: distancia recorrida y nivel de experiencia, influyen al momento de realizar la evaluación de carga física de trabajo.

Ilustración 1 Diagrama de proceso: Picking





Para la estimación de la carga física de trabajo mediante cinturón torácico, la metodología exige varias condiciones de aplicación según Mas (2015), de entre ellas prevalecen las siguientes:

- El trabajador no debe padecer enfermedades respiratorias o que afecten su ritmo cardíaco.
- No debe ser un trabajador eventual o de tiempo parcial.
- Llevar el puesto valorado al menos dos semanas.
- Los trabajadores no deben beber ni alcohol ni café durante la prueba.
- Los trabajadores bajo estudio no deben haber realizado actividades físicas altamente demandantes previo a la prueba.

El sensor utilizado para estimación mediante el frecuencímetro fue el Polar H9, el cual mediante una banda pectoral y el software Polar Beat, registra las pulsaciones de manera confiable y las almacena, una de las características más significativas de esta herramienta es su ligereza que permite el monitoreo sin incomodidades para el individuo testado.

Para la ejecución de este procedimiento los datos de interés además del sexo y la edad fueron los siguientes:

Tabla 2. Datos de interés

Datos de interés	
FCB	Frecuencia cardíaca de reposo
FCM	Frecuencia cardíaca media o de trabajo
FCMax	Frecuencia cardíaca máxima de trabajo

Fuente: (Mas, 2015)

La frecuencia basal o de reposo hace referencia a la moda de la frecuencia cardíaca medida sobre un trabajador durante un cierto tiempo de reposo. Para el caso de la frecuencia cardíaca de trabajo, es el valor medio de frecuencias que han sido testeadas durante las actividades, siendo recomendable un mínimo de cuatro horas. La frecuencia cardíaca máxima es el máximo valor de los registros medidos mientras el trabajador realiza la tarea (Mas, 2015).

Con los datos antes mencionados es preciso el cálculo de variables intermedias, que a continuación se presentan en la Tabla 3.



Tabla 3. Variables Intermedias

Variables intermedias	
FCMax _t	Frecuencia cardiaca máxima teórica
ΔFC	Incremento de la frecuencia cardiaca
CCA	Coste cardiaco absoluto
CCR	Coste cardiaco relativo

Fuente: (Mas,2015)

El índice de la frecuencia cardiaca máxima teórica hace referencia al nivel máximo de frecuencia cardiaca a la que un trabajador puede llegar y se la estima mediante la siguiente ecuación:

$$FCMax_t = 220 - \text{edad del trabajador}$$

Ecuación 1 Frecuencia cardiaca máxima teórica.

Fuente:(Joao C. Bouzas Marins & Manuel Delgado Fernández, 2010)

El incremento de la frecuencia cardiaca se calcula mediante la diferencia entre la máxima y media de las frecuencias cardiacas registradas durante la realización de la tarea (Mas, 2015).

$$\Delta FC = FCMax - FCM$$

Ecuación 2 Incremento de la frecuencia cardiaca.

Fuente: (Mas,2015)

El coste cardiaco absoluto, estima el coste físico que supone la tarea realizada independientemente de las características del trabajador y consiste entre la diferencia entre de la media y de la de reposo hablando de frecuencia cardiaca. (Mas, 2015)

$$CCA = FCM - FCB$$

Ecuación 3 Coste cardiaco absoluto

Fuente: (Mas,2015)



El coste cardíaco relativo permite estimar el grado de adaptación del trabajador al puesto de trabajo, además de su demanda energética (Mas, 2015).

$$CCR = \frac{CCA}{FCMax_t - FCB}$$

Ecuación 4 Coste cardíaco relativo Fuente: (Mas,2015)

En donde: *CCA* corresponde al coste cardíaco absoluto, *FCMax_t* hace referencia a la frecuencia cardíaca máxima y *FCB* a la frecuencia cardíaca de reposo.

Cada una de las variables intermedias son importantes ya que son necesarias para valorar la demanda energética de los puestos y clasificarlos en función de la penosidad que supone la tarea para el trabajador. Para la valoración y la clasificación se tomó en cuenta el criterio Frimat debido a que se evalúa a fases cortas del trabajo.

Para emplear el criterio de Frimat es necesario tomar en cuenta las cinco variables presentadas en la Tabla 4 y con ello asignar un coeficiente de penosidad cuyo valor oscila entre 1 y 6 en orden de penosidad ascendente.

Tabla 4. Coeficiente de penosidad Frimat

Variable	Coeficiente de penosidad				
	1	2	4	5	6
FCM	90-94	95-99	100-104	105-109	≥110
ΔFC	20-24	25-29	30-34	35-39	≥40
FCMax	110-119	120-129	130-139	140-149	≥150
CCA	10	15	20	25	30
CCR	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30

Fuente: (Mas,2015)



La sumatoria de los coeficientes permite valorar la tarea según la Tabla 5.

Tabla 5. Valoración de la tarea

Valoración de la tarea (Frimat)	
Puntos	Valoración
25	Extremadamente dura
24	Muy dura
22	Dura
20	Penosa
18	Soportable
14	Ligera
12	Muy ligera
≤10	Carga física mínima

Fuente: (Mas, 2015)

Para el procedimiento de la técnica de monitoreo de la frecuencia de pulso, se lo ejecutó tomando en cuenta el estudio de Castillo Juan (2007), basado en once participantes se registró la primera toma de frecuencia de pulso, los participantes se mantuvieron en reposo durante una posición bipedestal antes de iniciar sus actividades. Posteriormente se levantaron los cuatro nuevos registros, con una secuencia de tres minutos durante doce minutos, es importante recalcar que para la prueba se lo realizó contabilizando el número de latidos durante un minuto a nivel de la arteria carótida durante la realización de las actividades. La Tabla 6 presenta la clasificación de la carga de trabajo en función de los latidos por minuto, en contraste con la primera metodología planteada la estimación de la carga de trabajo se divide en seis tipos de estimación.

Tabla 6. Clasificación de la carga de trabajo

Clasificación de la carga de Trabajo					
Muy fácil	Fácil	Medio	Pesado	Muy pesado	Inusualmente pesado
+ de 75 latidos/min	75-100 latidos/min	100-125 latidos/min	125-150 latidos/min	150-175 latidos/min	Encima de 175 latidos/min
2,5-1 kcal/min	2,5-5 kcal/min	5-7,5 kcal/min	7,5-10 kcal/min	10-12,5 kcal/min	Encima de 12,5 kcal/min

Fuente: (Castillo Juan Alberto, 2007)



Con el fin de contrastar empíricamente los resultados de la investigación se entrevistó a 3 especialistas, expertos en el área de: salud ocupacional, ergonomía, deporte; y cuyos títulos se detallan a continuación:

- Msc., Médico Ergónomo y Coordinador general revista de salud Clinicasa.
- Msc., Docente e Investigadora de la Facultad de Filosofía, Letras y Ciencias de la Educación de la Universidad de Cuenca.
- Médico Ocupacional en el Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social.

3. Resultados y discusión

La Tabla 7 representa un resumen de todas las variables de importancia para la valoración de la tarea con la metodología Frimat mediante el uso del cinturón torácico.

Tabla 7 Variables levantadas en el estudio de campo mediante dispositivo portátil.

	EDAD	FCREPOSO	FCMAX	FCMEDIA	CCR	CCA	INCREMENTO FC	IMC	INTERPRETACION ICM	GRADO DE EXPERIENCIA(MESES)	DISTANCIA RECORRIDA KM	FCMAXTEO	PUNTAJE FRIMAT	VALORACION DE LA TAREA
A1	25	52	119	70	0,13	18	49	22,64	PESO NORMAL	7	8	195	15	SOPORTABLE
A2	22	84	153	106	0,19	22	47	17,70	BAJO PESO	7	5	198	25	EXTREMADAMENTE DURA
A3	23	84	140	101	0,15	17	39	18,29	BAJO PESO	9	13	197	20	DURA
A4	20	73	131	90	0,13	17	41	19,05	PESO NORMAL	36	10	200	21	PENOSA
A5	23	84	142	98	0,12	14	44	19,83	PESO NORMAL	6	7	197	19	PENOSA
A6	24	64	116	83	0,14	19	33	20,41	PESO NORMAL	36	9	196	10	CARGA FISICA MINIMA
A7	20	84	101	92	0,07	8	9	19,42	PESO NORMAL	12	5	200	5	CARGA FISICA MINIMA
A8	22	65	121	98	0,25	33	23	22,48	PESO NORMAL	48	11	198	9	CARGA FISICA MINIMA
A9	24	77	136	93	0,13	16	43	25,26	SOBRE PESO	9	7	196	17	SOPORTABLE
A10	21	54	107	85	0,21	31	22	18,78	PESO NORMAL	12	11	199	19	PENOSA
A11	20	61	131	81	0,14	20	50	21,71	PESO NORMAL	24	9	200	14	LIGERA

Los datos de la Tabla 8 demuestran las distintas frecuencias cardíacas de pulso para cada uno de los participantes, muestras levantadas con un intervalo de tres minutos mediante la toma del pulso a nivel de la arteria carótida como se mencionó anteriormente, además demuestran datos sobre la frecuencia cardíaca media, máxima y mínima, variables importantes para la estimación y comparativa.

*Tabla 8 Datos levantados mediante el seguimiento de la frecuencia de pulso*

	MIN3	MIN6	MIN9	MIN12	FCM	MAX	MIN
A1	64	67	66	61	64	67	61
A2	80	96	96	90	90	96	80
A3	84	93	91	87	88	93	84
A4	55	64	67	76	65	76	55
A5	85	90	86	88	87	90	85
A6	61	75	78	91	76	91	61
A7	86	91	88	95	90	95	86
A8	76	89	88	80	83	89	76
A9	59	88	88	82	79	88	59
A10	60	65	75	85	71	85	60
A11	59	65	71	76	67	76	59

La Tabla 9 refleja una valoración comparativa de los once auxiliares con cada una de las metodologías, la metodología de la frecuencia de pulso tiene valores aceptables de carga física, mientras que por parte de la valoración Frimat

Tabla 9. Valoración de la carga física

Auxiliares/ Valoraciones	Frecuencia de Pulso	Frecuencia Cardiaca Frimat
A1	Muy fácil	Soportable
A2	Fácil	Extremadamente Dura
A3	Fácil	Dura
A4	Muy fácil	Penosa
A5	Fácil	Penosa
A6	Fácil	Carga Física mínima
A7	Medio	Carga Física mínima
A8	Fácil	Soportable
A9	Fácil	Soportable
A10	Fácil	Penosa
A11	Muy fácil	Ligera



3.1 Análisis ANOVA

Para el análisis estadístico principal, se tomó en cuenta variables como la frecuencia cardiaca de reposo, la frecuencia cardiaca media y la frecuencia cardiaca máxima para la comparación de las metodologías, objetivo fundamental del estudio. En el caso del análisis de la variable **frecuencia cardiaca de reposo**, se realizó una comparación de medias (ANOVA) mediante el programa estadístico SPSS versión 23.

Planteamiento de la hipótesis

Hipótesis nula: No existe diferencia significativa de los datos en los grupos.

Hipótesis alterna: Existe diferencia significativa de los datos en los grupos.

Tomando en cuenta el nivel de significancia resultado de la prueba de $0,825 > 0,05$ se acepta la hipótesis nula evidenciando que no existe diferencia significativa entre el análisis de la frecuencia cardiaca mediante cinturón torácico y el análisis de pulso para el caso de la frecuencia cardiaca de reposo.

Tabla 10. Relación de la frecuencia cardiaca de reposo entre la metodología de cinturón torácico y frecuencia de pulso.

ANOVA					
Frecuencia Cardiaca de Reposo					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	7,682	1	7,682	,050	,825
Dentro de grupos	3047,818	20	152,391		
Total	3055,500	21			

El estudio de la variable de la **frecuencia cardiaca media**, se realizó de manera similar que el análisis anterior, a continuación, en la Tabla 11 se presentan los resultados de la comparación de medias. Se refleja un grado de significancia de $0,010 < 0,05$ (p valor) aceptando la hipótesis alterna cuya interpretación es que existe diferencia significativa de los datos en los grupos.

Tabla 11. Relación de la frecuencia cardiaca media entre la metodología de cinturón torácico y frecuencia de pulso.

ANOVA					
Frecuencia Cardiaca de trabajo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	853,136	1	853,136	8,117	,010
Dentro de grupos	2102,182	20	105,109		
Total	2955,318	21			

Tabla 12. Relación de la frecuencia cardiaca máxima entre la metodología de cinturón torácico y frecuencia de pulso.

ANOVA					
Frecuencia Máxima	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	9245,500	1	9245,500	55,595	,000
Dentro de grupos	3326,000	20	166,300		
Total	12571,500	21			

En el caso de la frecuencia máxima tomando en cuenta el resultado del análisis ANOVA y siguiendo el mismo lineamiento de los dos casos anteriores, con las mismas premisas de hipótesis alterna, nula y con el idéntico nivel de significancia, se acepta la hipótesis alterna, dando como resultado la evidencia que existe variación de los datos para la comparativa de las metodologías.

3.1.1 Análisis ANOVA variables complementarias

El incremento de la frecuencia cardiaca, variable importante para la estimación de carga física bajo criterio Frimat, se contrasta con la variable grado de experiencia que se categorizó por meses que fluctúa en un rango de entre 5-48 meses como se puede apreciar en la ilustración 1. Con un P valor de $0,029 < 0,05$ establecido para la prueba se demuestra que existe evidencia del efecto del grado de experiencia con el incremento de la frecuencia cardiaca con un nivel de confianza del 95%.

Ilustración 2 Grado de experiencia en contraste con incremento de la Frecuencia Cardiaca.

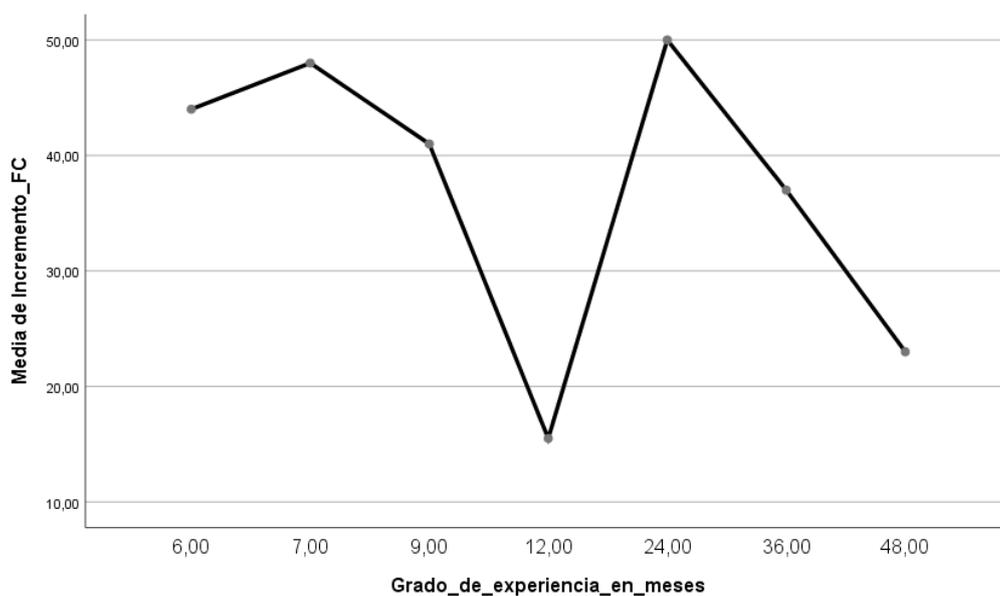


Tabla 13. Relación Incremento de la Frecuencia Cardiaca vs Grado de experiencia.

ANOVA					
Incremento FC vs Grado de experiencia					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	1608,045	6	268,008	8,475	,029
Dentro de grupos	126,500	4	31,625		
Total	1734,545	10			

3.1.2 Coste cardiaco absoluto en contraste con distancia recorrida.

Los datos del coste cardiaco absoluto y la distancia recorrida durante la prueba se representan en la siguiente ilustración, cabe recalcar que durante la prueba se recorrieron distintas distancias debido a que las actividades de los auxiliares no son constantes. La prueba ANOVA correspondiente para este análisis arroja un grado de significancia de $0,182 > 0,05$ (P valor) establecido anteriormente, instaurando la premisa que no existe mayor variación en los datos. Por lo tanto, la distancia recorrida por un trabajador no afecta significativamente la evaluación del Coste cardiaco Absoluto.

Ilustración 3. Costo Cardiaco Absoluto en contraste con la distancia recorrida.

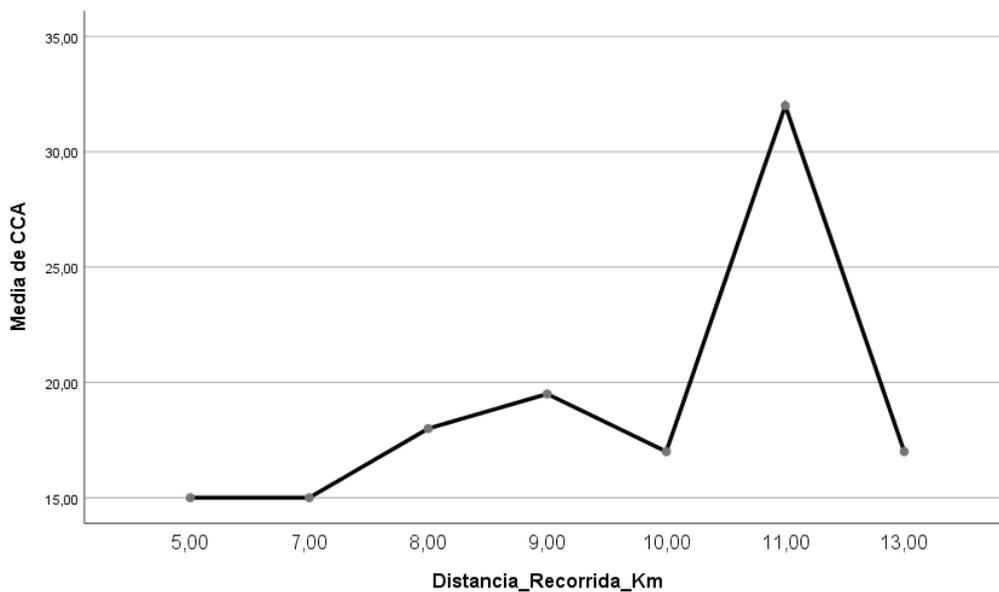


Tabla 14. Relación Incremento de la Coste cardiaco absoluto vs Distancia recorrida. Resultados prueba ANOVA.

ANOVA					
Coste cardiaco absoluto vs distancia recorrida					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	408,227	6	68,038	2,655	,182
Dentro de grupos	102,500	4	25,625		
Total	510,727	10			

Otro de los análisis que se realizó fue el Costo cardiaco relativo en contraste con el grado de experiencia, los resultados ANOVA, arrojan un P valor de 0,681 demostrando que no hay evidencia en que el grado de experiencia afecte significativamente en los valores del coste cardiaco relativo, por lo tanto, el grado de experiencia en este caso no es un valor que inflencie directamente sobre el Coste Cardiaco Relativo, variable que mide el grado en que el trabajador está adaptado al puesto.

Tabla 15. Relación Incremento del Coste cardiaco relativo vs Grado de experiencia.

ANOVA					
Coste Cardiaco Relativo vs Grado de experiencia.					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	,012	6	,002	,677	,681
Dentro de grupos	,012	4	,003		
Total	,024	10			

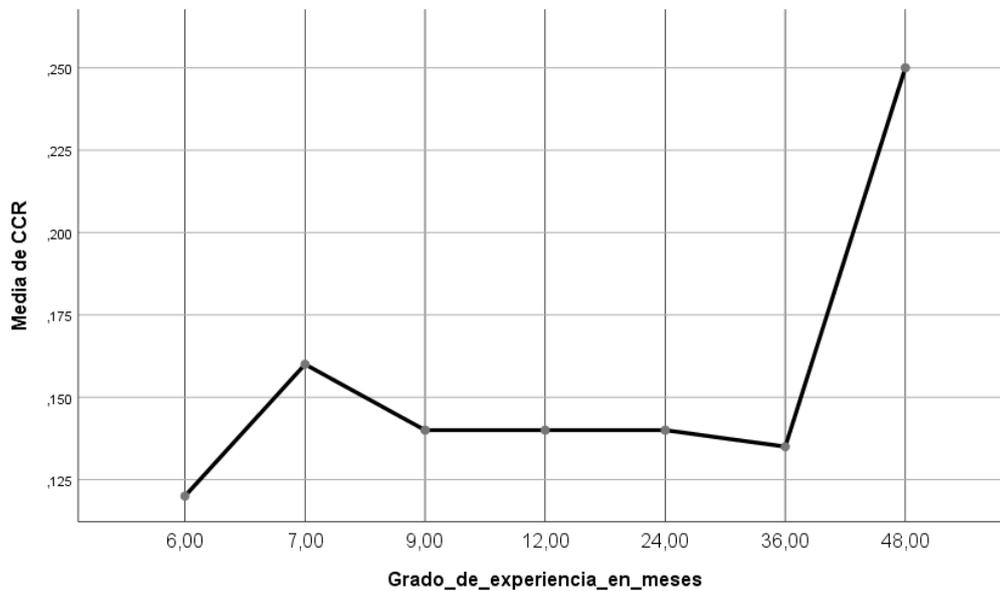


Ilustración 3. Costo Cardiaco Relativo en contraste con el grado de experiencia



3.2 Discusión de los resultados

Para el análisis principal de la presente investigación se dio seguimiento a variables como la frecuencia de reposo, media y máxima; las tres variables citadas anteriormente forman parte de las variables intermedias utilizadas para la estimación de carga física bajo criterios Frimat, y se las considera debido a que poseen la capacidad de brindar información mediante el estudio de campo con ambas metodologías planteadas para la comparativa. En el primer caso, el seguimiento de la frecuencia cardíaca de reposo, con los resultados del análisis estadístico fundamentado en el ANOVA; tomando en cuenta el nivel de significancia, no existe diferencia significativa, evidenciando que los datos generados a partir de ambas técnicas son estadísticamente similares. Sin embargo, para el estudio de la frecuencia cardíaca media, el grado de significancia es menor al p valor, dando como resultado que existe diferencia entre cada grupo de datos; algo similar sucede con el análisis estadístico de la frecuencia cardíaca máxima, con un nivel de significancia menor al p valor; por lo tanto, se acepta la hipótesis alterna que afirma la variación entre la comparativa.

En el estudio de Pino Josué et al. (2019) se comprobó la similitud de resultados de la comparativa de la frecuencia cardíaca entre la camiseta técnica vs banda torácica, en esta ocasión para un grupo de jóvenes deportistas, los resultados demuestran que los electrodos integrados de la camiseta técnica presentan una correlación perfecta para el primer grupo de estudio y casi perfecta para el segundo y tercer grupo. En consecuencia, cuando se realiza estudios entre dispositivos portátiles existe tendencia de presentar resultados similares, no obstante, los resultados difirieron al comparar un dispositivo portátil y la frecuencia de pulso. Marins et al. (2010) acota que con el desarrollo de la técnica de control de la frecuencia cardíaca mediante frecuencímetro se avanzó en temas de control de este parámetro fisiológico, además recalca la lectura inmediata de la frecuencia cardíaca durante el ejercicio o actividad, dando resultados más confiables que la técnica manual mientras se está en actividad. La docente especializada en el ámbito deportivo concuerda en que para conocer el nivel de carga física en ciertas actividades se puede utilizar la frecuencia de pulso, y para determinar el desgaste físico en un día de trabajo/entrenamiento se puede emplear el uso del frecuencímetro.

Según el ergónomo entrevistado, la diferencia en los resultados de los indicadores frecuencia cardíaca media y máxima tiene su fundamento en la manera en la que se toman los datos de la actividad cardíaca, mientras que con un dispositivo portátil no existe interrupción al momento de la medición, con la técnica de la frecuencia de pulso existe un cese momentáneo de la actividad lo que provoca una diferencia en los resultados. Además, acota que por la manera en la que se toma el pulso de un individuo a nivel de la arteria carótida puede existir cambios en el paciente produciendo el denominado reflejo vagal que produce un descenso en el pulso cardíaco y por ende resultados que reflejen disimilitud.



El médico ocupacional por otra parte indicó que la desigualdad de los resultados se debe a la capacidad de recuperación de cada individuo ya que con la interrupción de las actividades para la toma de la frecuencia de pulso puede haber casos donde el pulso se normalice dando un resultado irreal.

En el estudio de variables complementarias se considera la influencia de la experiencia laboral en contraste con el incremento de la frecuencia cardiaca; dando como resultado que existe influencia del grado de experiencia en el incremento de frecuencia cardiaca, constatando que las personas con menor grado de experiencia tienen un incremento de frecuencia cardiaca considerable en comparación con obreros ya con experiencia y mayor grado de entrenamiento o adaptación.

Puesto que la variable Coste Cardiaco Absoluto, estima el coste físico que supone la tarea realizada independientemente de las características del trabajador (Mas, 2015), se estudió la influencia que tenía con la distancia recorrida, considerando que es la principal actividad de los auxiliares de picking (preparación de pedidos), los resultados exponen que no hay influencia en el coste cardiaco absoluto, ya que no existe variación de los datos que arroja la prueba ANOVA; resultados que en el estudio de Manjarres et al., (2019) difieren al presentado, ya que los autores consideraron que la actividad es influyente; compararon actividades principales como barrer, trapear y limpiar; en sus resultados expusieron que barrer presenta rangos más altos en el Coste Cardiaco Absoluto, Relativo y Frimat que con otras actividades involucradas en su estudio. Romero & Alvarez Carlos, (2011) en su evaluación de carga física de trabajo con personal de la salud, específicamente en auxiliares de enfermería de una residencia geriátrica concluyen que hay actividades que demandan más esfuerzo físico para este caso en específico actividades como cambios de absorbentes, transferencias y la realización de camas representan un mayor puntaje en la evaluación de Frimat.

El médico ergónomo, concuerda con los autores de las investigaciones citadas anteriormente debido a que para un mismo puesto de trabajo existen actividades que demandan un mayor consumo calórico que otras y por ende una carga física mayor además que la distancia en que un auxiliar recorre influye en el ritmo cardiaco que está directamente relacionado con el coste cardiaco absoluto.

En el caso del seguimiento de la variable del coste cardiaco relativo y su resultado de no tener influencia en el grado de experiencia, el médico ergónomo aporta que la adaptación al puesto de trabajo no solo está en función al tiempo en que un trabajador se desenvuelva en un puesto de trabajo si no de factores como la edad, capacidad física o tolerancia al desgaste físico.

El aporte del médico ocupacional recalzó en que la edad es uno de los factores que más importan para estudiar y estimar la carga física de trabajo mediante la frecuencia cardiaca y recomienda que este tipo de estudios se los realice a individuos menores de 45 años debido a que a edades superiores a la indicada el pulso cardiaco tiende a alterarse debido a un proceso denominado arterioesclerosis; además aclara que conocer la capacidad máxima aeróbica mediante el estudio de la frecuencia cardiaca es ideal



para la ubicación laboral, la adaptabilidad del trabajador, readaptación laboral y permite reconocer niveles de rendimiento óptimo sin que los trabajadores se fatiguen, idea que también comparte Velásquez (2015) en su estudio que demuestra que el indicador de la frecuencia cardíaca puede ser un estimador del consumo de oxígeno para segmentos corporales.

4 Conclusiones

Utilizar como método la medición de la frecuencia cardíaca con el fin de identificar la carga física y como el principal indicador de la carga de trabajo, es actualmente considerado uno de los métodos más eficientes por su precisión y su facilidad en la toma de datos. En base a los resultados expuestos preliminarmente, para el caso de la estimación de carga física fundamentada en los criterios Frimat la actividad de la tarea se la catalogó como ligera con un promedio de 15.81; sin embargo, con la aplicación de la frecuencia de pulso la actividad se la denominó como fácil; al tratar estos índices de manera particular existen trabajadores estudiados en que la valoración se presenta como extremadamente dura o penosa en donde se tiene que trabajar en acciones correctivas como la implementación de tiempos de recuperación o su vez en la organización de planes preventivos donde se involucraría entrenamiento, división de tareas, etc.

La diferencia significativa en variables como la frecuencia máxima y media con las metodologías estudiadas fueron resultado de la diferencia netamente en la técnica en la que se toma la frecuencia cardíaca, idea fundamentada tanto en investigaciones presentadas anteriormente como en base a la experiencia de los profesionales de la salud, quienes participaron con su criterio y aporte en la sección de la discusión de los resultados. Se podría concluir que para conocer el nivel de carga física de una actividad se puede recomendar el uso de la frecuencia de pulso, mientras que cuando se requiere conocer el desgaste físico de una jornada o actividad específica el uso del frecuencímetro es la herramienta ideal en términos de operatividad.

La similitud en los resultados de la frecuencia mínima de reposo se puede comprometer a que prácticamente se lo hace en condiciones de laboratorio donde no intervienen factores secundarios que puedan alterar los resultados al momento de la toma de los datos con las dos metodologías, un aporte importante de esta variable basado en el criterio experimental de uno de los participantes que intervinieron con su análisis fue que se debe levantar esta información justo al momento después de levantarse para eliminar más aun las afecciones de factores secundarios.

La influencia del índice de incremento de la frecuencia cardíaca con la experiencia de un colaborador es importante ya que en base a este indicador se puede trabajar con planes de entrenamiento para colaboradores nuevos y tener una mejor adaptación al esfuerzo físico que demanda un puesto de trabajo. Después de haber culminado el estudio para una comparativa que relacione el costo cardíaco



absoluto con una actividad en un puesto de trabajo, se puede concluir que las actividades se las podría tratar de manera particular y no solo considerar la actividad con mayor tiempo de realización en la jornada y así lograr evidenciar que actividad es la más demandante dentro del puesto de trabajo.

5. Referencias bibliográficas

Castillo Juan Alberto, A. C. (2007). *Uso de la frecuencia del pulso en la estimación de la carga de trabajo Evaluación de una actividad de movilización de cargas.* 7. <https://doi.org/10.12804/10.12804/revsalud12.esp.2014.04>

Elías Apud, M. G., Fabiola Mureira, Felipe Meyer Silvia Lagos, & María Teresa Chiang. (2002). *Guía para evaluación de trabajos pesados, con especial referencia a sobrecarga física y ambiental.*

Humberto Tapia Escalante. (2018). *FRECUENCIA CARDIACA: EN VIGILANCIA Y CONTROL DE CARGA POR EL TRABAJO.* 4.

Juan Carlos Velásquez. (2015). *Carga física de trabajo bases fisiológicas para su estudio* (p. 100).

[https://www.researchgate.net/prCastillo Juan Alberto, A. C. \(2007\). *Uso de la frecuencia del pulso en la estimación de la carga de trabajo Evaluación de una actividad de movilización de cargas.* 7.](https://www.researchgate.net/prCastillo Juan Alberto, A. C. (2007). Uso de la frecuencia del pulso en la estimación de la carga de trabajo Evaluación de una actividad de movilización de cargas. 7.)

<https://doi.org/10.12804/10.12804/revsalud12.esp.2014.04>

Jhon Cesar Barrios, & Juan Diego Gómez. (2020). *Métodos de evaluación del umbral anaeróbico en deportistas jóvenes* [Unidades tecnológicas de Santander]. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=http%3A%2F%2Fdepositario.uts.edu.co%3A8080%2Fxmlui%2Fbitstream%2Fhandle%2F123456789%2F3559%2FR-DC-

125%2520Informe%2520Final.pdf%3Fsequence%3D1%26isAllowed%3Dy&cLen=921009

Joao C. Bouzas Marins, N. M. O. M., & Manuel Delgado Fernández. (2010). *Aplicaciones de la frecuencia cardiaca máxima en la evaluación y prescripción de ejercicio.*



Romero, M., & Alvarez Carlos, A. P. (2011). *Evaluación de la carga física de trabajo, mediante la monitorización de la frecuencia cardíaca, en auxiliares de Enfermería de una residencia geriátrica municipal.*

Velasquez, J. C. (2015). *¿Puede la frecuencia cardíaca ser un estimador del consumo de oxígeno para segmentos corporales?* 159-168.

Gómez, M. D. S. (1991). NTP 295: Valoración de la carga física mediante la monitorización de la frecuencia cardíaca. *Cent. Nac. de Cond. de Trab*, 1, 1-6.

Manjarres, J., Narvaez, P., Gasser, K., Percybrooks, W., & Pardo, M. (2019). Physical Workload Tracking Using Human Activity Recognition with Wearable Devices. *Sensors*, 20(1), 39. <https://doi.org/10.3390/s20010039>

Mas, J. A. (2015). *FRI - Valoración de la carga física del trabajo mediante la frecuencia cardíaca.* <https://www.ergonautas.upv.es/herramientas/frimat/frimat.php>

Pino Josué, Bastida Alejandro, Oliva José María, Rojas Daniel, Rechezoto Pedro, & Gómez Carlos David. (2019). *Comparación de dos métodos de detección para el registro de la frecuencia cardíaca: Banda torácica vs camiseta técnica.*

Zapata, H. D., Arango, G. L., & Estrada, L. M. (2011). Valoración de carga física en estibadores de una cooperativa de trabajo asociado. *Facultad Nacional de Salud Pública: El escenario para la salud pública desde la ciencia*, 29(1 (enero-abril)), 53-64.