

TIEMPO MÁXIMO ACEPTABLE DE TRABAJO COMO ESTIMADOR DEL EFECTO DE UNA
INTERVENCIÓN TECNOLÓGICA Y ORGANIZACIONAL SOBRE LA RESPUESTA FISIOLÓGICA DE
TRABAJADORES DE LA ACTIVIDAD ECONÓMICA DE COQUIZACIÓN EN EL ALTIPLANO
CUNDIBOYACENSE.

KAREN JULIETH MARÍN HERRERA

1703832

Investigadora principal

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Magíster en
Salud Ocupacional.

Director.

JUAN CARLOS VELÁSQUEZ.

MD. Mg. PhD.

Codirector

CLAUDIA PATRICIA MORA AGUIRRE

Estadística Mg.

UNIVERSIDAD DEL VALLE

FACULTAD DE SALUD

ESCUELA DE SALUD PÚBLICA

MAESTRÍA EN SALUD OCUPACIONAL

CALI

2019

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS	4
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	5
ÍNDICE DE ANEXOS	6
RESUMEN	7
INTRODUCCIÓN	10
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
1.1. Pregunta de investigación	14
1.2. Hipótesis	14
2. ESTADO DEL ARTE	15
2.1. Investigaciones Internacionales	15
2.2. Investigaciones Nacionales	18
2.3. Investigaciones Locales	19
3. MARCO TEÓRICO	22
Carga física de trabajo	22
3.1. Métodos para la medición de carga física de trabajo	24
• Trabajo Estático	25
• Trabajo Dinámico	25
3.1.1. Consumo de oxígeno y consumo de oxígeno máximo como medidores de la carga física de trabajo.	27
3.1.2. Frecuencia cardíaca y carga física de trabajo	29
3.1.3. Índice de costo cardíaco relativo (ICCR) como indicador de la carga física de trabajo	31
3.1.4. Tiempo máximo aceptable de trabajo (TMAT) como indicador del diseño de trabajo /descanso y carga física	32
3.2. Marco conceptual	37
3.2.1. Ergonomía	37
3.2.1.1. Ergonomía física	38
3.2.1.2. Ergonomía y diseño	39
3.2.2. Diseño y control de la carga física de trabajo	40
3.2.3. Diseño de trabajo / Descanso	41
3.2.3.1. Descanso funcional (descanso mientras se trabaja) y descanso sin	

trabajar	44
3.2.4. Análisis de la actividad	45
3.2.4.1. Niveles de análisis	47
3.2.4.2. Efectos de la actividad	48
3.2.5. Termorregulación y trabajo	50
3.2.5.1. Mecanismos	51
3.2.5.2. Métodos para la medición	52
3.2.6. Sudoración y medición de la sudoración en el trabajo.	52
3.3. Marco contextual	53
3.3.1. Carbón coque	53
3.3.2. Descripción de los peligros en la producción de coque en hornos de colmena.	54
3.3.3. Descripción global del proceso de producción de coque	56
3.3.3.1. Descripción de la actividad de horneo	57
3.3.4. Descripción de la intervención	60
4. OBJETIVOS	65
4.1. Objetivo general	65
4.2. Objetivos específicos	65
5. METODOLOGÍA	66
5.1. Tipo de estudio	66
5.2. Área de estudio	66
5.3. Población y muestra	66
5.4. Variables	68
5.5. Recolección de Datos	70
5.6. Plan de análisis	71
6. CONSIDERACIONES ÉTICAS	73
7. RESULTADOS	74
8. DISCUSIÓN	91
9. CONCLUSIONES	95
10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	97

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Consecuencias de la actividad para el trabajador y para el sistema	49
Tabla 2 Índice WBGT en la empresa productora de coque año 2014.	56
Tabla 3. Descripción de la actividad de los horneros antes de la intervención tecnológica y organizacional	58
Tabla 4. Descripción de la actividad de los horneros después de la intervención tecnológica y organizacional	62
Tabla 5 Criterios de inclusión y exclusión del estudio original	67
Tabla 6 Variables del estudio	68
Tabla 7. Comportamiento de las variables fisiológicas antes y después de la intervención	75
Tabla 8. Clasificación del trabajo en función del ICCR	76
Tabla 9. Comportamiento del TMAAT antes y después de la intervención	78
Tabla 10. Resumen variables dependientes e independientes usadas en el modelo antes de la intervención	83
Tabla 11. Resumen del modelo de regresión lineal múltiple antes de la intervención	84
Tabla 12. Análisis de varianza para el modelo de regresión lineal múltiple antes de la intervención	85
Tabla 13. Coeficientes del modelo de regresión lineal múltiple antes de la intervención	86
Tabla 14. Resumen variables dependientes e independientes usadas en el modelo después de la intervención	87
Tabla 15. Resumen del modelo de regresión lineal múltiple después de la intervención	87
Tabla 16. Análisis de varianza para el modelo de regresión lineal múltiple después de la intervención	88
Tabla 17. Coeficientes del modelo de regresión lineal múltiple después de la intervención	89

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Modelo de predicción de la relación entre el ICCR Y el TMAT. Tomado de Wu y Wang (2002)	34
Ilustración 2. Flujograma para el estudio del tiempo máximo aceptable de trabajo, adaptado del flujograma para el estudio de la carga física de trabajo del Dr. Juan Carlos Velásquez.....	36
Ilustración 3. Cadena Productiva del carbón mineral. Fuente: Informe sectorial Aktiva. UPME	53
Ilustración 4. Hornos de colmena. Fuente Ergos Health S.A.S	54
Ilustración 5. Proceso de producción de coque.....	57
Ilustración 6. Intervención organizacional sobre la actividad de horneado	61
Ilustración 7. Flujograma de población trabajadora participante del estudio	74
Ilustración 8. Gráfico de barras de la clasificación del trabajo con base en el ICCR antes y después de la intervención	77
Ilustración 9. Diagrama de cajas de frecuencia cardiaca antes y después de la intervención	79
Ilustración 10. Diagrama de cajas de consumo energético del trabajo antes y después de la intervención	79
Ilustración 11. Diagrama de cajas ICCR antes y después de la intervención	80
Ilustración 12. Diagrama de cajas de pérdida de peso antes y después de la intervención	81
Ilustración 13. Diagrama de cajas de sudoración antes y después de la intervención	81
Ilustración 14. Diagrama de cajas de Tiempo promedio de extracción antes y después de la intervención	82
Ilustración 15. Diagrama de cajas de TMAT antes y después de la intervención ..	83
Ilustración 16. Gráfico de regresión de la variable ICCR antes de la intervención	84
Ilustración 17. Gráfico de regresión de la variable ICCR después de la intervención	88

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Acta Aval definitivo Comité de ética

RESUMEN

Introducción: Uno de los temas típicos de estudio en ergonomía es la carga de trabajo especialmente la derivada del trabajo físico cuyo propósito es identificar la capacidad de desempeño físico del trabajador y con base en estos resultados evaluar su capacidad con los requerimientos laborales lo que permitirá tomar decisiones para transformar la dualidad del proceso de trabajo-trabajador. En Colombia, los estudios y sistemas de vigilancia epidemiológica asociados a los desórdenes musculo esqueléticos realizan evaluaciones que identifican y valoran los factores de riesgo biomecánico del trabajador en su oficio mediante análisis de puestos de trabajo; sin embargo, se han incrementado los estudios de tipo cardio-fisiológico para determinar la carga física de trabajo, por esta razón, se encuentran estudios o publicaciones para la determinación indirecta de la carga física a través de la medición de la frecuencia cardíaca en diferentes tipo de oficios, no obstante, pocos estudios han tenido como objetivo evaluar el tiempo máximo aceptable de trabajo (TMAT), el cual es uno de los estimadores de la carga física del trabajo y que establece el tiempo al que un individuo debe estar sometido a una carga física de trabajo dinámico. Durante un periodo de tiempo de 4 años se llevó a cabo una intervención tecnológica y organizacional en horneros en una empresa del sector minero energético. A partir de esta intervención se realizó un estudio en el 2014 sobre el efecto de esta intervención sobre la carga física mediante el análisis del gesto energético del trabajo. Se desea determinar si el tiempo máximo aceptable de trabajo (TMAT) tuvo un cambio con la intervención. **Objetivo:** Evaluar el efecto de una intervención tecnológica y organizacional sobre la carga física de trabajo en los horneros de una empresa productora de coque usando variables fisiológicas para calcular el tiempo máximo aceptable de trabajo (TMAT). **Materiales y métodos:** Se realizó el análisis de la base de datos de 61 horneros, en el análisis univariado se calculó promedios y desviación estándar para las variables cuantitativas que presentaron distribución normal; mediana y rango intercuartilico para las que no presentaron dicha distribución. Finalmente se realizó la interpretación de la variable Índice de Costo Cardíaco Relativo (ICCR) y se calculó la variable TMAT. En el

análisis bi-variado se realizó la comparación de las variables fisiológicas, el ICCR y TMAAT antes y después de la intervención mediante promedios y medianas utilizando las pruebas de T-student pareada y Wilcoxon con el fin de determinar cambios significativos antes y después de la intervención. En el Análisis multivariado mediante un modelo de regresión lineal múltiple, se evaluó la relación entre las variables independientes y la variable ICCR. **Resultados:** Posterior a la intervención se logra disminuir el tiempo de extracción del carbón del horno pasando de 90 minutos (RIC=86,0 - 93,5) a 71 minutos (RIC=70,00 - 75,00) por horno lo que evidencia un mayor desempeño en el sistema de trabajo. El TMAAT tuvo un cambio significativo posterior a la intervención, puesto que se logra incrementar el tiempo máximo aceptable de trabajo total en los horneros pasando de 3,5 horas (DE=1,01029) a 8,3 horas (DE=2,13). La intervención organizacional permitió reducir la fatiga dado que se involucran actividades diferentes que permiten descansar las partes del cuerpo fatigadas realizando descansos por tiempos cortos de 15 a 20 minutos y frecuentes. Las variables fisiológicas muestran cambios estadísticamente significativos mediante la prueba de Wilcoxon T-student pareada (P-valor <0.000). Al clasificar el trabajo antes y después de la intervención de acuerdo con el ICCR se encuentra que el trabajo realizado por los horneros pasó de ser Extremadamente pesado a moderado (ICCR 51,16% RIC= 46,4283%-54,1612%; y 28,57% RIC=24,8113% - 32,4140% respectivamente. El modelo de regresión lineal múltiple evidenció que el cambio en el ICCR y por ende en el TMAAT antes y después de la intervención se ve afectado significativamente por la variable consumo energético del trabajo (P-valor=0,00). Se logró controlar la influencia de la edad sobre el ICCR mediante la intervención tecnológica y organizacional. Por lo tanto, el ser un trabajador con una edad menor o superior a 32,15 años no afectará en el cambio del ICCR y por ende en el TMAAT para los horneros.

Conclusiones: Las variables fisiológicas presentaron cambios estadísticamente significativos posterior a la intervención tecnológica y organizacional para sudoración, peso al final de la jornada, pérdida de peso, consumo energético del trabajo, frecuencia cardiaca promedio. En esta línea, el ICCR y el TMAAT se

presentan como herramientas para la evaluación de intervenciones y modificaciones en los sistemas de trabajo.

Palabras clave: Maximum acceptable work time / Tiempo máximo aceptable de trabajo, Physical workload /Carga física de trabajo, Work time/ tiempo de trabajo, Acceptable work time/ Tiempo de trabajo aceptable.

INTRODUCCIÓN

Uno de los temas típicos de estudio en ergonomía es la carga de trabajo especialmente la derivada del trabajo físico cuyo propósito es identificar la capacidad de desempeño físico del trabajador y con base en estos resultados evaluar su capacidad frente a los requerimientos laborales lo que permitirá tomar decisiones para transformar la dualidad del proceso de trabajo-trabajador.

En Colombia, los estudios y sistemas de vigilancia epidemiológica asociados a los desórdenes musculo esqueléticos realizan evaluaciones que identifican y valoran los factores de riesgo biomecánico del trabajador en su oficio mediante el análisis de puestos de trabajo; sin embargo, se han incrementado los estudios de tipo cardio-fisiológico para determinar la carga física de trabajo, por esta razón, se encuentran estudios o publicaciones para la determinación indirecta de la carga física a través de la medición de la frecuencia cardíaca en diferentes tipo de oficios, no obstante, pocos estudios han tenido como objetivo evaluar el tiempo máximo aceptable de trabajo (TMAT), el cual es uno de los estimadores de la carga física del trabajo y que establece el tiempo al que un individuo debe estar sometido a una carga física de trabajo dinámico.

Durante un periodo de tiempo de 4 años se llevó a cabo una intervención tecnológica y organizacional en horneros en una empresa del sector minero energético. A partir de esta intervención ergonómica se realizó un estudio en el 2014 con una muestra de 20 trabajadores sobre el efecto de esta intervención sobre la carga física mediante el análisis del gasto energético del trabajo. Posteriormente se recolectaron datos de 61 horneros después de la intervención y se desea determinar si el tiempo máximo aceptable de trabajo (TMAT) permite evaluar el efecto de esta intervención tecnológica y organizacional sobre la carga física de trabajo.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Uno de los temas típicos de estudio en ergonomía es la carga de trabajo especialmente la derivada del trabajo físico, para cuya evaluación han sido propuestos diversos procedimientos y criterios, algunos de los cuales, los propuestos para la evaluación de trabajo dinámico, tienen ya años de existencia y no por ello han dejado de tener validez.(1)

Se puede definir la carga física del trabajo como el conjunto de requerimientos físicos a los que se ve sometida la persona a lo largo de su jornada laboral. Estos requerimientos conllevan una serie de esfuerzos por parte del trabajador que supondrán un mayor consumo de energía cuanto mayor sea el esfuerzo.(2) El propósito de la evaluación de la carga física de trabajo es identificar la capacidad de desempeño físico del trabajador y con base en estos resultados evaluar su capacidad frente a los requerimientos laborales, es decir, medir el trabajador y el trabajo que realiza con el fin de comparar las exigencias del trabajo con las posibilidades del trabajador, para así tomar decisiones que permitan transformar la dualidad del proceso de trabajo-trabajador. No resta decir que en la medida en que se ajustan el uno al otro (trabajo al trabajador y viceversa) las condiciones de riesgo disminuirán y las potencialidades del trabajador se materializarán e incrementarán revirtiéndose en el proceso de trabajo, en el producto (bien material o servicio) y calidad de vida para el trabajador.(3)

Como resultado de una exposición a una carga física alta se encuentran los desórdenes musculo-esqueléticos (DME) relacionados con el trabajo, los cuales son entidades comunes y potencialmente discapacitantes, pero aun así prevenibles, que comprenden un amplio número de formas clínicas específicas que incluyen enfermedades de los músculos, tendones, vainas tendinosas, síndromes de atrapamientos nerviosos, alteraciones articulares y neurovasculares (4)

Según la GATISST de DME publicada por el Ministerio de la Protección Social en el año 2006, cuando se agrupan los diagnósticos por sistemas se hace evidente que los DME son la primera causa de morbilidad laboral en el régimen contributivo del Sistema General de Seguridad Social en salud (SGSSS)(4); datos de Fasecolda muestran que en 2015 se registraron 9.583 enfermedades laborales calificadas. Las lesiones músculo esqueléticas representan casi el 90% de padecimientos en los que se destacan la tendinitis en hombros, codos y manos, síndrome de túnel del carpo y dolores de espalda(5). Adicionalmente, algunos investigadores como Clays et al.; Allesoe et al. Y Holtermann et al(6–8). Han considerado la carga física en el estudio de la enfermedad cardiovascular, en los cuales encuentran que la alta demanda física del trabajo puede aumentar el riesgo de enfermedad cardiovascular.

Por tal motivo, se hace necesario continuar profundizando más en el estudio de los factores de riesgo biomecánico y más específicamente en la carga física en los lugares de trabajo, con el fin de fortalecer la gestión en los programas de promoción de la salud y prevención de la enfermedad y accidentalidad laboral que conlleven a la propuesta de soluciones a la problemática y a una toma de decisiones efectiva en pro de la salud de los trabajadores y la productividad de las empresas.

La carga física de trabajo puede ser controlada y prevenida mediante acciones tecnológicas y organizacionales, sin embargo, pocos estudios en Colombia demuestran objetivamente el efecto de estas acciones sobre la carga física y la productividad en los trabajadores y las empresas. A nivel nacional se encuentran estudios o publicaciones para la determinación indirecta de la carga física a través de la medición de la frecuencia cardíaca en diferentes tipo de oficios tales como el de conductores de vehículos de carga en el país, trabajadores de aspersión de plaguicidas en cultivo florícola en Suesca- Cundinamarca, en operarios de hornos de coquería en Cucunubá-Cundinamarca, en trabajadores de un supermercado en la ciudad de Cali.(9–11) Donde se evaluó la carga física mediante la medición de la frecuencia cardíaca y se analizaron las condiciones de trabajo, sin embargo, sólo

un estudio tuvo como objetivo evaluar el tiempo máximo aceptable de trabajo (TMAT), el cual es uno de los estimadores de la carga física del trabajo y que establece el tiempo al que un individuo puede estar sometido a una carga física de trabajo dinámico y define niveles fisiológicos a partir de los cuales el trabajo se puede tornar fatigante. (12,13).

En la industria petrolera se transforma la hulla¹ y los residuos pesados del petróleo en coque mediante la acción del calor, esta actividad llamada “Coquización” representa una alta carga física la cual es un factor crítico en la génesis de desórdenes osteomusculares en el sector minero en general y en la coquería en particular. En el estudio de Hernández(11) se expuso que en una empresa del sector minero del centro y norte del país presentó un alto índice de accidentalidad entre el año 2007 y 2008 donde ocurrieron 176 y 215 accidentes de trabajo respectivamente con mayor frecuencia en el área de coquización con un 61.39%, ocasionados en un 30,99 % durante la manipulación de herramientas, el 26,06% durante la ejecución del proceso más crítico de coquización. Las zonas del cuerpo más afectadas fueron la espalda en un 30% seguido de un 28,1% y 21,1% en miembros superiores e inferiores respectivamente.

De igual forma, en el estudio realizado por Díaz y Velásquez en el año 2009 en operarios de horno de coquería, se realizó un ensayo con dos trabajadores que simulaban una banda de transporte del coque, con la cual se eliminaría la tarea de trinchado. Al realizar esta simulación, se estimó la carga física de trabajo y se observó que esta presentaba una disminución. Así mismo, se encontró que de acuerdo con la estadística de medicina y fisioterapia el área de horneado presentó mayor número y gama de desórdenes músculo esqueléticos.(14)

Durante un periodo de tiempo de 4 años se llevó a cabo una intervención

¹ Carbón mineral de color negro y brillo mate o graso, que procede de sedimentos enterrados de grandes masas vegetales; se emplea como combustible y para la obtención de gas.

tecnológica y organizacional en horneros de una empresa del sector minero energético. A partir de esta intervención se realizó un estudio en el 2014 por Hernández(11) en 20 trabajadores sobre el efecto de esta sobre la carga física mediante el análisis del gesto energético de trabajo, sin embargo, se desea determinar si el tiempo máximo aceptable de trabajo (TMAT) permite evaluar el efecto de esta intervención tecnológica y organizacional sobre la carga física de trabajo.

1.1. Pregunta de investigación

¿Cuál es el efecto de una intervención tecnológica y organizacional sobre la carga física de trabajo en los horneros de una empresa productora de coque usando variables fisiológicas para calcular el tiempo máximo aceptable de trabajo (TMAT)?.

1.2. Hipótesis

Ho: Las variables fisiológicas de los trabajadores no cambiaron con la intervención tecnológica y organizacional.

Ha: Las variables fisiológicas de los trabajadores cambiaron con la intervención tecnológica y organizacional.

2. ESTADO DEL ARTE

La búsqueda de estudios relacionados con el Tiempo Máximo Aceptable de Trabajo (TMAT) (MAWT por sus siglas en inglés) se realizó a través de motores de búsqueda como PubMed, Scielo y Google Scholar, con los siguientes descriptores en inglés y español “Maximum acceptable work time” (MAWT) / “Tiempo máximo aceptable de trabajo”, “Physical workload” / “Carga física de trabajo”, “Work time” / “tiempo de trabajo”, “Acceptable work time” / “Tiempo de trabajo aceptable”.

2.1. Investigaciones Internacionales

Afshari, D., & Shirali, G. (2019)(15), Realizaron un estudio en seis unidades operativas de una industria petrolera anónima con 86 trabajadores aclimatados de seis sitios diferentes, ubicada en el suroeste de Irán con un clima tan cálido y seco donde la temperatura ambiente en los meses cálidos (fines de la primavera y el verano) superaba los 50°C, considerada como una de las regiones más cálidas del mundo. En este contexto, los trabajadores tienen que desempeñar parte la actividad laboral al aire libre. El objetivo principal de este estudio fue evaluar el efecto de la exposición al calor sobre la carga física de trabajo (CFT) y el tiempo máximo aceptable de trabajo (TMAT) en un clima cálido y seco. Para este propósito, se tomó como índice ambiental la temperatura del bulbo húmedo (WBGT), la frecuencia cardíaca (FR) y la temperatura corporal central (TCC), como parámetros fisiológicos. Luego, el WBGT se midió en más de 170 puntos en el lugar de trabajo al aire libre de acuerdo con ISO 7243. La FC y TCC también se midieron con base en esta norma. Los resultados mostraron que el índice WBGTmax promedio supera el valor límite de umbral (TLV) en todas las estaciones. Además, los resultados también indicaron la presencia de un aumento significativo en la FC y la TCC debido al estrés térmico. En esta línea, el FCR (Frecuencia cardíaca relativa) y el TMAT también se estimaron para varias unidades. Los resultados de TMAT llevaron a la modificación de los regímenes de trabajo-descanso utilizados en estas unidades. En

consecuencia, se sugiere que se establezcan e implementen medidas de control de calor como el programa de alerta de calor (HAP) para garantizar el estado de salud de los trabajadores contra los riesgos probables.

En el año 2018, Kim et al. (16) Realizaron un estudio en 16 conductores de autobuses comerciales en corea con el objetivo de evaluar el riesgo de fatiga y accidente. Los conductores tenían diversos horarios de trabajo. En el estudio se midió la frecuencia cardíaca de los sujetos en su lugar de trabajo durante su trabajo y se calculó la frecuencia cardíaca relativa (ICCR) (RHR por sus siglas en ingles) y el tiempo de trabajo máximo aceptable (TMAT). Hay dos resultados principales en este estudio; En primer lugar, las horas de trabajo reales en el programa trabajo-descanso eran más largas que las de TMAT, el ICCR osciló entre el 9,7% y el 21,8%. En segundo lugar, el índice de fatiga y riesgo del programa trabajo-descanso era muy alto, lo que significa que los sujetos con el programa trabajo-descanso tenían una alta posibilidad de somnolencia y un alto riesgo de accidentes durante el trabajo.

Kadoya M et al.(17) en el año 2009 realizaron un estudio donde examinaron las diferencias de la variación de la frecuencia cardíaca en el tiempo de recuperación después de trabajar considerando las capacidades aeróbicas individuales VO₂ máx. de diez sujetos masculinos con cargas de trabajo de 50W y 100W en una bicicleta ergométrica y se establecieron tres patrones de carga basados en la duración y el tiempo de las pausas: "sin pausas", "una pausa" y "pausas pequeñas regulares". Encontraron que cuando se consideró la capacidad aeróbica individual, la condición de "pequeños descansos regulares" mostró la recuperación más rápida al nivel de la frecuencia cardíaca en reposo a una carga de trabajo de 50 W en el grupo de baja capacidad aeróbica (VO (2) max media 42.2 + / - 3.7 ml / kg / min). Sin embargo, en el grupo de alta capacidad aeróbica (VO (2) max media 54.5 +/- 4.1 ml / kg / min), la condición de "pequeños descansos regulares" resultó en la recuperación más rápida del nivel a la frecuencia cardíaca en reposo a una carga de trabajo de 100W. Concluyeron que la evaluación del nivel de la carga de actividad física y la

distribución de los tiempos de descanso adecuados durante el trabajo, además de las capacidades aeróbicas individuales, son importantes en consideraciones de recuperación rápida de la tensión y fatiga después del trabajo.

En el estudio de Wu HC, Wang MJ. (2002)(12) realizado a 12 adultos jóvenes a quienes se les realizó pruebas de ciclismo en el laboratorio a 6 cargas de trabajo diferentes. El objetivo fue establecer la relación entre el tiempo máximo aceptable de trabajo (TMAT) y la carga física de trabajo. Las variables del estudio fueron el consumo de oxígeno (VO_2), el porcentaje de consumo máximo de oxígeno ($\%\text{VO}_{2\text{max}}$), la frecuencia cardíaca relativa (ICCR) y el consumo de oxígeno relativo (RVO_2) que se recogieron a lo largo de la prueba. El tiempo máximo aceptable de trabajo TMAT se determinó observando los datos de frecuencia cardíaca durante la prueba. Como resultado WU y Wang, determinaron que el TMAT se correlacionó negativamente con él $\%\text{VO}_2$ Max, ICCR y RVO_2 . Los modelos de regresión exponencial sugirieron que los turnos de una hora larga (>10 h) deben asignar una intensidad de trabajo más baja que en un día laboral de 8 h. También es lógico que el límite de carga de trabajo para un turno de trabajo de 4 h pueda establecerse en un 10% $\text{VO}_{2\text{máx}}$. Más alto que el límite sugerido para una jornada laboral de 8h.

De igual forma, Wu HC, Wang MJ (2001)(18) Realizaron un estudio a 30 jóvenes para determinar la duración máxima aceptable del trabajo (MAWD) para el trabajo de alta intensidad. Evaluaron el consumo máximo de oxígeno ($\text{VO}_{2\text{max}}$) y la tasa máxima de trabajo (MWR). Luego, cada sujeto realizó dos pruebas de ciclismo (60% y 70% MWR) en dos días separados. Se recogieron datos de absorción de oxígeno y frecuencia cardíaca a lo largo de la prueba. Como resultado obtuvieron que los trabajadores deben tomar un descanso después de 18.8 minutos de trabajo cuando la carga de trabajo promedio es aproximadamente 65% RVO_2 y un descanso después de 6.5 minutos de trabajo cuando la carga de trabajo promedio es aproximadamente 80% de RVO_2 . Estas recomendaciones para los trabajadores sugieren debido a que la carga de trabajo con una frecuencia cardíaca promedio de

más de 150 latidos por minuto es demasiado pesada para ser aceptable para un individuo no capacitado. Adoptar un TMAT específico como límite superior de tiempo de trabajo continuo en un grado de trabajo específico puede confirmar si el trabajador es capaz de hacer este trabajo sin cargas cardiovasculares muy altas. Los resultados de este estudio pueden proporcionar información útil para el diseño de trabajos de alta intensidad.

2.2. Investigaciones Nacionales

En el año 2010, Zapata B et al.(19), realizaron un estudio a 41 estibadores que laboran en una planta de producción de concentrados para animales en el municipio de Itagüí-Antioquia, el objetivo del estudio fue determinar el nivel de exposición a carga física de trabajo en esta población que les permitiera proponer medidas de control en el ambiente de trabajo. A los participantes del estudio se les aplicó una encuesta sociodemográfica, luego se les realizó el monitoreo de frecuencia cardíaca y posteriormente, se aplicó el método Frimat para determinar los niveles de exposición a carga física, según el índice de penosidad. Obtuvieron como resultados que, de los cuatro puestos de trabajo, dos asocian la mayor carga física para el personal. De los 3 estibadores (el 100%) que se desempeñaban como paleadores y 14 (el 63.6%) de los 22 que laboraban como arrumadores y desarrumadores, se ubicaron en niveles altos de exposición, entre penoso y extremadamente duro para carga física según Frimat; 11 (el 91.7%) de los bodegueros y 4 (el 100%) de los cosedores de sacos, se ubicaron en niveles de exposición baja entre carga física mínima y soportable.

Castillo JA, Cubillos A. (2014)(20), realizaron un estudio en la ciudad de Bogotá, Colombia; con el fin de evaluar la frecuencia cardíaca (FC), utilizando la técnica de registro de la frecuencia del pulso (FP), el consumo de oxígeno (VO₂) y la observación de la actividad de trabajo para la estimación de la carga de trabajo en

una tarea de manipulación de carga para tres situaciones: levantar/trasladar/depositar; antes, durante y después de la tarea, se registra la frecuencia del pulso para 24 jóvenes voluntarios (10 mujeres y 14 hombres) en condiciones de laboratorio. Simultáneamente, se realizó un registro del gesto de trabajo y de las estrategias de levantamiento, movilización y depósito de la carga. Como resultados, se observó un incremento entre la FP inicial y final en los dos grupos y para las dos tareas; se registra, igualmente, una diferencia en el aumento de las pulsaciones para la carga de 17,5 kg. El 75% de los participantes experimenta un incremento de la FP por encima de 100 lat./min. Para los 25 kg, los valores registrados indican valores superiores a 114 lat./min y, para los 17,5 kg, valores superiores a 128 lat./min. Finalmente, lograron determinar que la FP es un método que se recomienda por su simplicidad de uso para el personal operativo, supervisores y gerentes, así como para los ingenieros industriales no entrenados en el método fisiológico, también puede ser utilizado por higienistas industriales.

2.3. Investigaciones Locales

En el año 2005, Ariza e Idrovo(9), realizaron un estudio con 30 trabajadores masculinos de un supermercado en la ciudad de Cali, Colombia, correspondientes a 63 % de la población trabajadora dedicada a estas labores en el supermercado estudiado. El objetivo del estudio fue determinar la relación entre la carga física, expresada como frecuencia cardiaca relativa (ICCR), y el tiempo máximo aceptable de trabajo (TMAT) en esta población. El estudio de tipo observacional se llevó a cabo durante una jornada laboral típica en las bodegas del supermercado. Se midió la frecuencia cardiaca de reposo y de trabajo durante la actividad laboral y se determinó la ICCR mediante el modelo de Wu & Wang. Los resultados arrojaron correlaciones significativas entre el TMAT y la ICCR y otras variables fisiológicas. El 43 % de los trabajadores no cumplieron con el TMAT. La única variable individual que estuvo asociada con el cumplimiento fue el índice de masa corporal menor de

18,5 Kg/m²; las otras variables asociadas fueron algunas condiciones específicas del ambiente laboral. Los resultados mostraron que las variables fisiológicas se correlacionaron negativamente con el TMAT y que el 43% de los trabajadores no cumplían con TMAT. Por lo tanto, la ICCR mostró su potencial utilidad en la práctica de la salud ocupacional empresarial.

Velásquez en el año 2015(21), realizó un estudio con 30 individuos expuestos a cargas máximas ejecutadas con todo el cuerpo, miembros inferiores y miembros superiores. El estudio tuvo como objetivo determinar la relación entre el consumo de oxígeno por segmentos corporales y la frecuencia cardíaca. En el método se estableció la relación entre frecuencia cardíaca, el consumo de oxígeno y el porcentaje de consumo máximo de oxígeno mediante ergoespirometría y pulsometría a los 30 individuos. Dentro de los resultados más relevantes se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre el consumo de máximo oxígeno por género y por segmentos corporales. No hubo diferencias representativas entre las proporciones de consumo de oxígeno por géneros. La relación entre frecuencia cardíaca y consumo de oxígeno por segmentos y por género fue lineal. Finalmente, pudo concluir que es posible predecir el consumo de oxígeno de miembros superiores y de miembros inferiores y el VO₂ máximo a partir de los valores de la frecuencia cardíaca, la cual puede ser usada como estimador del consumo de oxígeno para los segmentos corporales.

De igual forma, Velásquez en el año 2015(13),Realizó un estudio cuyo objetivo fue determinar el tiempo máximo aceptable de trabajo (TMAT) cuando el trabajo se ejecuta con todo el cuerpo, con los miembros superiores o los miembros inferiores. En el estudio, se realizó medición de consumo de oxígeno mediante ergoespirometría y monitorización de la frecuencia cardiaca en 30 trabajadores expuestos a diversas cargas ejecutadas con todo el cuerpo, miembros inferiores y miembros superiores. Se determinó el umbral anaeróbico por coeficiente respiratorio, el cual sirvió de base para de determinación del TMAT. El estudio

permitió establecer como resultado que los TMAAT fueron similares para tareas con todo el cuerpo y con miembros inferiores, pero significativamente menores para tareas realizadas con miembros superiores. Adicionalmente, establece que el mejor indicador para medir el TMAAT en trabajo en campo es la frecuencia cardiaca.

3. MARCO TEÓRICO

El tipo de trabajo desarrollado representa una de las variables más importantes a la hora de valorar la aparición de fatiga muscular. El trabajo físico puede desarrollarse bien de forma estática o dinámica, la fisiología de ambos tipos de trabajo es diferente, por este motivo la evaluación de los mismo con condición de trabajo requiere de criterios distintos.(22)

La evaluación de los riesgos derivados del esfuerzo muscular se realiza:

- En los trabajos estáticos se valora si la exigencia del trabajo es superior a la capacidad del trabajador de manera puntual.
- En los trabajos dinámicos se valora el consumo de energía necesaria para realizar el trabajo, analizándose la actividad completa o por segmentos corporales.(13)

Gonzáles(22) menciona que la carga de trabajo es el elemento que dentro de las condiciones de trabajo permite valorar la aparición de daños para la salud como consecuencia de la falta de adecuación y adaptación de los puestos de trabajo a los trabajadores. En general las consecuencias que la carga de trabajo tiene sobre el operador del sistema de trabajo se manifiestan inicialmente en efectos no patológicos, locales o generales, reversibles completamente mediante el descanso adecuado, es el denominado estado de fatiga física, mental o psicológica. Una vez traspasado el umbral de recuperación comienzan a aparecer efectos patológicos que provocan pérdidas de salud en los operadores.

Carga física de trabajo

La carga de trabajo es definida como el “conjunto de requerimientos psico-físicos a los que el trabajador se ve sometido a lo largo de la jornada laboral”(2); particularmente, la exigencia física de trabajo puede ser comparada con las

demandas fisiológicas durante el desarrollo de una práctica deportiva o ejercicio de alto rendimiento.(19)

Los niveles de trabajo en los que se debe desempeñar un operario humano deben estar claramente dentro de las capacidades cognitivas y físicas de éste, porque de lo contrario, el operario no estaría trabajando en límites seguros de su carga física de trabajo. No obstante, a menudo se olvida que los músculos mismos están restringidos en su habilidad para desarrollar algún tipo de trabajo. Esto se debe, en primer lugar, a los límites de su fuerza y, de manera secundaria, a su habilidad para mantener esa fuerza (en otras palabras, la tolerancia de ella y la resistencia a la fatiga).(23)

Astrand et al.(24) manifiestan que la experiencia práctica ha demostrado que no se puede desarrollar más del 30-40% de la potencia aeróbica máxima durante una jornada de 8 horas sin sufrir signos y síntomas de fatiga, uno de los problemas más evidentes es determinar la relación entre carga de trabajo y capacidad de trabajo. Si la carga impuesta al trabajador es demasiado alta en relación con su capacidad para aguantar el trabajo físico, la fatiga aparecerá inevitablemente.

Los efectos de la carga física se concentran, principalmente, en la generación de fatiga muscular. Éste fenómeno se considera como la incapacidad para mantener la potencia desarrollada; es decir, la intensidad del esfuerzo durante un determinado tipo de ejercicio, otros autores la describen como la “sensación general de cansancio y la consiguiente reducción del rendimiento muscular”. Las manifestaciones objetivas, subjetivas y fisiológicas de la fatiga apuntan a que, la disminución de la capacidad o rendimiento físico, la sensación de cansancio, la pérdida de interés y la alteración en la presión arterial, son los síntomas que pueden encontrarse más a menudo. De igual forma, se destacan las alteraciones musculares que incluyen el aumento del tiempo de reacción, modificaciones electromiográficas, el aumento en el riesgo de lesión y de dolores musculares. (19)

3.1. Métodos para la medición de carga física de trabajo

Para establecer la carga física de una actividad se puede realizar el cálculo de consumo de energía mediante la observación de las actividades desarrolladas por el trabajador. Para esto, se hace necesario realizar un análisis de la actividad que permita descomponer las tareas que realiza el trabajador en movimientos elementales. Estos movimientos son llevados a su valor energético, que se hace con ayuda de tablas. Inicialmente se obtiene el consumo energético promedio de cada actividad y posteriormente se puede obtener el consumo energético total del trabajo o gasto energético de trabajo, si al gasto energético del trabajo se le suma el metabolismo basal, se obtiene el consumo o gasto energético total del trabajo. Existen muchas maneras de calcular el metabolismo basal, no obstante una manera sencilla es tener en cuenta el cálculo que realizó Guelaud, de 1,1 Kcal/min para hombres y mujeres.(3)

Otro método para la evaluación de la carga de trabajo se realiza midiendo el consumo de oxígeno durante la realización del trabajo, o indirectamente mediante el cálculo del consumo de oxígeno basándose en la frecuencia cardiaca registrada durante la realización del trabajo.(24) Por otra parte, Guelaud, Spitzer, Hettinger y Scherrer, diseñaron tablas para estimación del consumo energético del trabajo. El método consiste en descomponer el trabajo físico en dos grandes componentes: Trabajo (carga) estático y trabajo (carga) dinámico, a su vez el trabajo físico dinámico se descompone en carga de desplazamientos, carga de esfuerzos musculares y carga de manipulación.(3)

Sin embargo, para la medición de la carga física de trabajo y al realizar un análisis de la tolerancia y la resistencia a la fatiga (los límites de la fuerza y la habilidad para mantener a fuerza), se debe establecer una clara distinción en el tipo de trabajo que debe ejecutar el músculo, es decir, establecer la

diferencia que existe entre los trabajo dinámico y estático.

- **Trabajo Estático**

La carga estática hace referencia a la postura o posturas asumidas por el trabajador durante la actividad física a evaluar, si la actividad dura más de una hora, se debe observar y consignar por lo menos una hora de trabajo continuo, si la actividad dura menos de una hora se debe observar y registrar el tiempo total de la actividad. Se consignan todas las posturas observadas y el tiempo de duración de cada postura. Estos datos son llevados a una tabla de carga postural estática donde se realiza la conversión energética.(3)

Cuando la actividad es muy estática, o afecta a poca masa muscular (por ejemplo, sólo a la extremidad superior), la evaluación de la carga física derivada es más complicada, ya que no se ha hallado un parámetro que la describa con tanta precisión como en el caso de la dinámica. Esto es especialmente difícil cuando se presentan combinaciones de trabajos estáticos, por ejemplo, el mantenimiento de posturas junto al mantenimiento de pesos, lo cual no es tan infrecuente. Por ello, no existe un único método válido para todo tipo de situaciones, sino que vamos a tener que emplear distintos métodos o técnicas que se complementen entre sí. Los métodos propuestos para la estimación de la carga de un trabajo estático incluyen técnicas biomecánicas, mediciones de la actividad muscular (mediante electromiografía), mediciones de los ángulos articulares y otros métodos interpretativos desarrollados a partir de resultados obtenidos en estudios epidemiológicos (como los métodos que estiman los efectos derivados de las posturas de trabajo, o de la manipulación manual de cargas). (1)

- **Trabajo Dinámico**

Cuando la actividad es muy dinámica, los métodos más indicados son

los que estiman la energía consumida o demandada durante la actividad a partir de la medición de parámetros fisiológicos como el consumo de oxígeno durante la actividad o la frecuencia cardiaca. Cuanto más intensa sea la actividad, más elevada será la FC del ejercicio y, también, más largo será el periodo de recuperación (es decir, más tardará en recuperar los valores de reposo).(1)

Como se mencionó anteriormente, el trabajo dinámico se descompone en 3 subtipos de trabajo(3):

- Carga de esfuerzos musculares: el método evalúa con este concepto todos los esfuerzos realizados por el trabajador en función del movimiento, descompone los movimientos por segmentos del cuerpo y se registran los que estén implicados en la tarea, así como la intensidad y el tiempo de duración de los mismos. La carga de esfuerzos musculares será el resultado de la sumatoria de todos los esfuerzos realizados en la actividad observada.
- Carga física de desplazamientos: Aquí se evalúan todos los desplazamientos que el trabajador realiza (sin transporte de objetos). Es importante anotar que no se deben consignar los desplazamientos que el trabajador efectúa transportando objetos. Para tal efecto se toman en cuenta los desplazamientos en metros en el plano horizontal y en el plano vertical tanto de ascenso como de descenso sin carga.
- Carga física de transporte: En éste ítem, se consignan las cargas que representen manipulación de objetos pesados, es decir cuando se movilizan de un plano a otro, superior o inferior (levantar o bajar), transportar objetos en el plano horizontal o en el plano vertical (subir o descender). Para tal efecto se deben registrar los metros que implica cada esfuerzo, el número de veces que se repite la tarea. se le atribuye un valor energético al esfuerzo, dependiendo de la actividad de transporte que realice (llevar, elevar, bajar, subir o descender) el

cual está determinado por una tabla denominada consumo según la importancia de la carga desplazada.

Finalmente, La carga dinámica de trabajo será el resultado de la sumatoria de la carga de esfuerzos musculares, la carga de desplazamientos y la carga de manipulación. La carga de trabajo físico (CTF) (metabolismo del trabajo o gasto energético del trabajo) será el resultado de la sumatoria de la carga estática y la carga dinámica.

3.1.1. Consumo de oxígeno y consumo de oxígeno máximo como medidores de la carga física de trabajo.

El consumo de oxígeno (VO_2) representa el volumen de oxígeno consumido en la unidad de tiempo, generalmente en el minuto. El VO_2 en los tejidos depende del oxígeno (O_2) que es incorporado y transportado en sangre gracias al aporte ventilatorio y a la capacidad cardiovascular. La función del aparato respiratorio es suministrar O_2 a los tejidos y eliminar dióxido de carbono (CO_2). Ello depende de la ventilación pulmonar, o sea el flujo de aire entre la atmósfera y los alvéolos pulmonares, de la difusión de los gases entre los alvéolos y la sangre y de su transporte a las células y desde ellas. El transporte de oxígeno por la sangre y su extracción para ser utilizado está basado en la capacidad de eyección cardíaca y la frecuencia con que se produce. En reposo, el VO_2 es de alrededor de 300ml por minuto, equivalente a 3.5 ml/kg/min en valores relativos al peso corporal. Esto se conoce como MET o unidad metabólica. Refleja el gasto energético que precisa el organismo para mantener su metabolismo basal.(25)

Si se evalúa el VO_2 durante una actividad física, se tendrá información de la capacidad que tiene el organismo para utilizarlo durante ese nivel de esfuerzo. Si la intensidad de la actividad aumenta, el VO_2 aumenta

de manera proporcional hasta un punto en que tiende a estabilizarse. Eso se denomina consumo de oxígeno máximo (VO₂max). El VO₂max es el límite máximo de la habilidad de una persona para generar energía a través de las vías oxidativas. Es una medida de la capacidad para obtener oxígeno del aire para los músculos y utilizarlo metabólicamente. Es la manera más eficaz de medir la capacidad aeróbica de un individuo, ya que cuanto mayor sea el VO₂max, mayor será su capacidad cardiovascular, definiendo cuán apto se encuentra su sistema cardiorrespiratorio. Por lo tanto, el VO₂max es una variable que puede ser utilizada como un indicador de las posibilidades de performance de un sujeto ante esfuerzos prolongados. Entre el VO₂ de reposo y el VO₂max se encuentran una serie reconsumos de oxígenos relativos a las diferentes actividades de nuestra vida diaria(25)

La VO₂max está influenciada por factores propios del individuo como la edad, el género, estados patológicos, nutricionales, la composición corporal, y factores externos como la presión atmosférica, la humedad relativa del aire, la temperatura ambiental, y factores propios de la organización del trabajo como el tipo de contratación, salarios, tareas a realizar.(3,26)

El consumo de oxígeno se puede obtener mediante ergoespirometría o usando la técnica del saco de Douglas que es una técnica antigua de realizar la ergoespirometría, la cual establece una diferencia entre el volumen de oxígeno del aire inspirado menos el volumen de oxígeno del aire espirado. La proporción de oxígeno presente en el aire (aire inspirado) es del 20.96%, por lo tanto solo basta conocer el volumen de aire espirado y la proporción de oxígeno presente en el aire espirado para determinar el consumo de oxígeno del trabajador, este se establece en litros por minuto, (consumo de oxígeno absoluto) o en mililitro por kilogramo de peso del trabajador por minuto (consumo de oxígeno

relativo).(3)

Otra forma de obtener el consumo de oxígeno, es mediante la prueba escalonada que desarrolló el Dr. Rogelio Manero, Instituto Nacional de Salud de los Trabajadores de Cuba. Esta consiste en suministrar tres cargas de trabajo crecientes, de tres minutos de duración cada una, con un intervalo de reposo de un minuto entre cada carga. La carga se aplica sobre un escalón de 25 cm. de altura donde el trabajador evaluado debe subir y bajar a un ritmo constante marcado por un metrónomo. La frecuencia cardiaca se usa como indicador de trabajo (consumo de oxígeno) la cual se mide en reposo y al terminar la aplicación de cada carga de trabajo, mediante auscultación de la región precordial con fonendoscopio, o toma de la frecuencia del pulso a nivel radial. El “permiso” para la aplicación de una carga creciente está dado por el 65% de la frecuencia cardiaca máxima teórica, FC_{maxt} ($220 - \text{edad}$). Así pues, si la frecuencia cardiaca obtenida en el tiempo de reposo (Frecuencia cardiaca de la prueba FC_p) al terminar cada carga supera esta cifra (65% de FC_{maxt}) la prueba debe ser detenida. Este valor de frecuencia cardíaca (FC_p) es referido a una matriz donde se toman en cuenta el sexo y el peso del trabajador y se cruza con FC_p , a este resultado se debe aplicar un factor de corrección que está determinado por la edad, el valor obtenido será la VO_{2max} .(3)

3.1.2. Frecuencia cardiaca y carga física de trabajo

Durante la realización del ejercicio físico, participan la mayoría de los sistemas y órganos del cuerpo humano. Es así como, el sistema muscular es el efector de las órdenes motoras generadas en el sistema nervioso central, por lo cual, la participación de otros sistemas, como el cardiovascular, pulmonar, endocrino, renal y otros, es fundamental para el apoyo energético del tejido muscular que mantiene la actividad

motora. La contracción muscular, durante el ejercicio físico, es posible gracias a un proceso de transformación de energía. La energía química que se almacena en los enlaces de las moléculas de los diferentes sustratos metabólicos (el Adenosín trifosfato o ATP es la molécula intermediaria en este proceso) es transformada en energía mecánica. Dicha molécula, procede de las reservas energéticas del organismo o de la ingestión diaria de alimentos, como los hidratos de carbono y las grasas.(19)

Durante la actividad física, el aumento del gasto cardíaco se produce en forma lineal y directamente proporcional a la intensidad del trabajo realizado, hasta llegar a una intensidad entre el 60 y 70% del consumo máximo de oxígeno (VO_2 máx.); este es la cantidad máxima de O_2 que el organismo puede absorber, transportar y consumir por unidad de tiempo ($\text{ml.} \times \text{kg.} \times \text{min.}$). A partir de ese momento, tiende a la estabilidad hasta llegar al 80 y 90%, nivel que, incluso, puede disminuir por la taquicardia excesiva que reduce el llenado diastólico y, por lo tanto, el volumen sistólico. (19)

El conocimiento de la capacidad de trabajo físico mediante el VO_2 máx. se realiza mediante una prueba que se debe realizar bajo supervisión médica, sin embargo, tiene una alternativa más simple y práctica que no somete al sujeto a una prueba límite, que rebaja el peligro de colapso y la obligatoriedad de aplicarse con supervisión médica. Ésta alternativa consiste en la aplicación de una prueba submáxima, sustituyendo el consumo de oxígeno por la frecuencia cardíaca. Esto es muy fácil de realizar con una bicicleta ergométrica, en un banco o con una banda sin fin donde, al trabajador se le suministran cargas crecientes y se registra la frecuencia cardíaca correspondiente a dichas cargas; el tiempo mínimo de suministro de cada carga debe ser de 3 minutos y la frecuencia cardíaca se debe registrar al final de la misma carga, se

recomienda iniciar con cargas pequeñas, por ejemplo de 1,5 a 2 Kcal./min. Es importante tener en cuenta que no se debe llevar al trabajador a cargas máximas, por lo tanto, se debe trabajar con frecuencias cardíacas seguras, (65 – 75% de la Frecuencia cardíaca máxima teórica). Se construye una tabla donde se ha estandarizado la FC del trabajador en relación con cargas de trabajo conocidas. Posteriormente se monitorea la frecuencia cardíaca de la actividad laboral (en el proceso de trabajo). La frecuencia cardíaca obtenida se lleva a la tabla previamente construida, donde se puede transpolar a la carga de trabajo correspondiente. (3,27)

Pulsómetros convencionales, tienen incorporados sistemas de conversión de frecuencia cardíaca a kilocalorías, por lo tanto, la pulsometría se convierte en una alternativa, sencilla, práctica y económica para la estimación del gasto energético del trabajo.(3)

3.1.3. Índice de costo cardíaco relativo (ICCR) como indicador de la carga física de trabajo

El índice de costo cardíaco relativo es un indicador que valora el costo en latidos por minutos que implica a un individuo, realizar una actividad partiendo desde el reposo (costo cardíaco CC) y teniendo en cuenta la edad. Este índice nos da una idea de la adaptación del sujeto a su puesto de trabajo. Se utilizará como frecuencia máxima teórica el valor $FC_{M\acute{a}x} = (220 - \text{edad})$, con lo que se asume un error de un 5% con respecto a la real que se determinaría mediante una prueba de esfuerzo. El índice de costo cardíaco relativo está determinado por la siguiente fórmula:(3)

$$\text{ICCR} = \frac{\text{FC del trabajo} - \text{FC de reposo}}{\text{FCmaxt} - \text{FC de reposo}} \times 100$$

Donde:

- ICCR = porcentaje de carga cardiovascular (índice de costo cardiaco relativo)
- FC = frecuencia cardiaca
- FC reposo: Frecuencia cardiaca durante 5-10 minutos en posición sentado o, el valor alrededor del cual se estabiliza la frecuencia cardiaca durante al menos tres minutos durante un periodo de reposo en posición sentada
- FCmaxt = 220 - edad
- FC del trabajo: Es la frecuencia media de trabajo para las horas de registro; se tomará la media de todos los valores obtenidos durante el periodo determinado. El rango de dicha variable estará comprendido entre el percentil 5 (FCMmin) y el percentil 95 (FCMmáx).

Las condiciones de aplicación del estudio de la frecuencia cardiaca serán: El trabajador debe llevar como mínimo dos semanas trabajando en el puesto objeto de valoración, no deberá trabajar a tiempo parcial: su jornada será de como mínimo 8h/día, no debe padecer ninguna enfermedad cardiaca o respiratoria, incluyendo el resfriado común.

3.1.4. Tiempo máximo aceptable de trabajo (TMAT) como indicador del diseño de trabajo /descanso y carga física

La carga de trabajo aceptable se define como el equilibrio entre la carga de trabajo físico y la capacidad respiratoria y cardiovascular. Cuando se acerca este equilibrio, el consumo máximo de oxígeno (VO₂) y frecuencia cardiaca (FR) mantendrán el estado estable con una salida

de trabajo constante. Después de trabajar un tiempo muy prolongado, una acumulación de ácido láctico en la sangre pone una carga adicional en el sistema cardiovascular y provoca un aumento repentino en la frecuencia cardíaca. Por lo tanto, una frecuencia cardíaca notablemente más alta (aproximadamente 10 latidos min^{-1} por encima del estado estable) hacia el final de un turno de trabajo, en comparación con la frecuencia cardíaca en estado estable observada durante las primeras horas de trabajo, es un claro signo de fatiga.(12)

Del mismo modo, se puede aplicar para determinar el tiempo de trabajo máximo aceptable (TMAT), que puede considerarse como la cantidad máxima de tiempo durante el cual una persona puede soportar una carga de trabajo determinada sin fatiga. Esta medida es diferente del tiempo máximo de trabajo voluntario (o tiempo de agotamiento). Una vez que se determina el TMAT, la carga de trabajo realizada se considera la carga de trabajo aceptable para ese período. Para la población europea se recomendó que el 28%, 30.5%, 33% y 45 % del $\text{VO}_2\text{máx}$, fueran los límites de carga de trabajo que se debían aplicar a trabajos realizados durante 12, 10, 8 y 4 horas de duración. En trabajadores taiwaneses se recomendó el 28,5%, 31%, 34% y 43,5%, del $\text{VO}_2\text{ máx}$ para los mismos periodos de trabajo.(12,13)

Wu y Wang (2002)(12), establecen que para un diseño de trabajo seguro, es necesario conocer el tiempo de trabajo máximo aceptable (TAMT) para una carga de trabajo determinada para establecer márgenes de seguridad adecuados en trabajos físicamente exigentes y determinar la carga de trabajo máxima que podría sostenerse durante una jornada laboral de una manera segura y saludable. El tiempo de trabajo máximo aceptable se puede determinar observando datos de frecuencia cardíaca durante una prueba (ejemplo, con una bicicleta

ergométrica). Adicionalmente, % VO₂max, la frecuencia cardíaca relativa (RHR o ICCR) y el consumo de oxígeno relativo (RVO₂) también son buenos índices para representar la intensidad de la carga de trabajo. En su estudio, determinan que la relación entre TMAT y el ICCR en el modelo 2 “ $MAWT = 26.12 \times e^{-4.81 \times RHR}$, $R^2 = 0.87$ ” (ver ilustración 1) es particularmente valiosa para aplicaciones en el mundo real, ya que la recopilación de datos de frecuencia cardíaca en el trabajo es más conveniente y económica que la medición de la absorción de oxígeno.

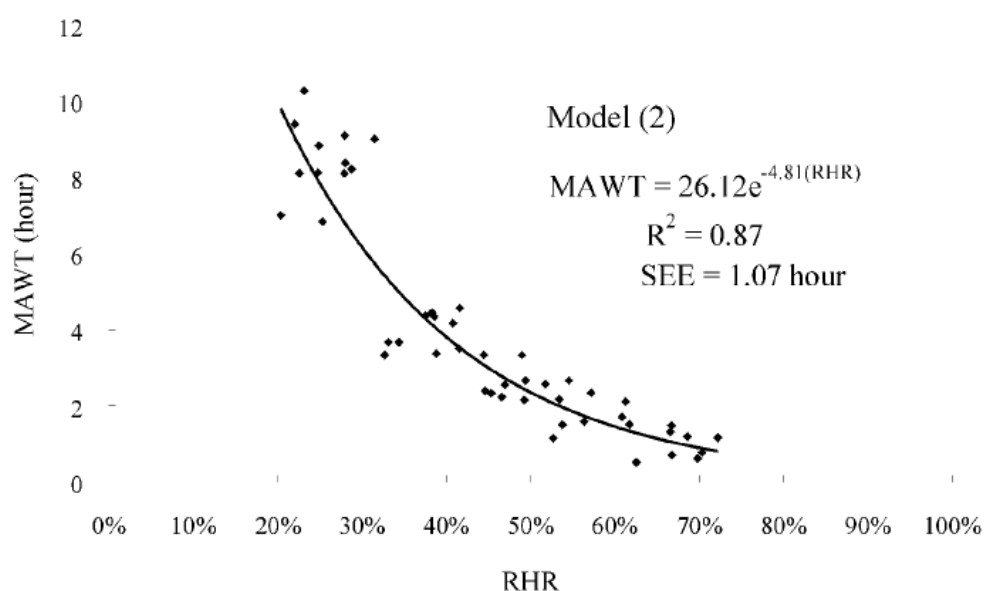


Figure 2. Relationship between MAWT and RHR.

Ilustración 1 Modelo de predicción de la relación entre el ICCR Y el TMAT. Tomado de Wu y Wang (2002)

El ICCR ha sido elegido frecuentemente como un indicador de la carga de trabajo físico asociada con el trabajo muscular dinámico debido a que la FC en el trabajo se puede medir más fácilmente y es menos costosa que el VO₂, pero la FC puede verse afectada por varios factores distintos a los relacionados con el trabajo físico (como el calor, las emociones, la nutrición y el estado físico). Estos factores deben considerarse y controlarse al recopilar los datos de frecuencia cardíaca

en el trabajo.

A continuación, se presenta el flujograma para el estudio de la carga física de trabajo, donde se muestra el proceso por medio del cual se hace uso de la FC para el cálculo de variables como el ICCR, con la cual se determinará el TMAP y se realizará una toma de decisiones de acuerdo a los resultados obtenidos.

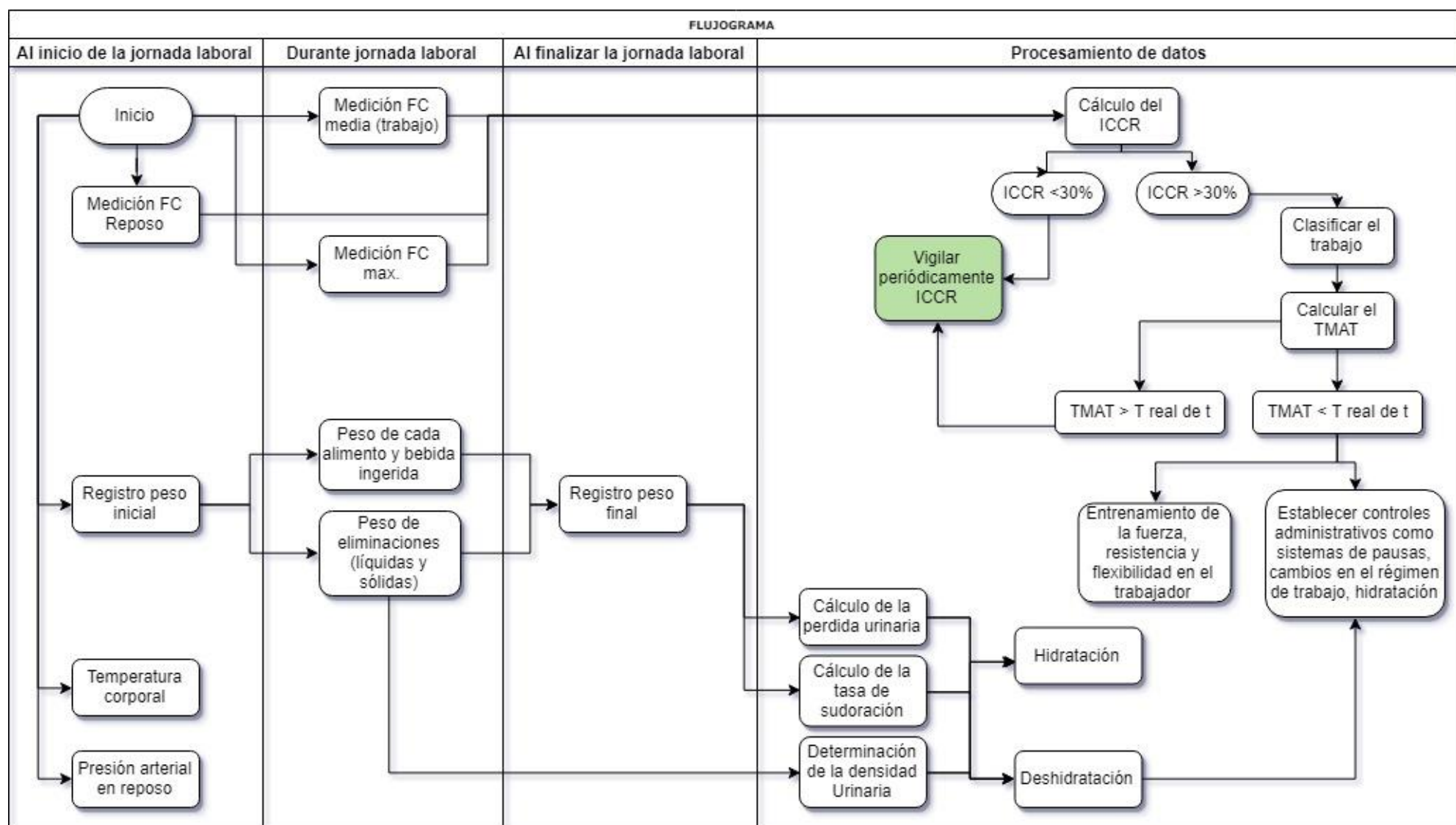


Ilustración 2. Flujograma para el estudio del tiempo máximo aceptable de trabajo, adaptado del flujograma para el estudio de la carga física de trabajo del Dr. Juan Carlos Velásquez.

3.2. Marco conceptual

3.2.1. Ergonomía

El término ergonomía proviene de las palabras griegas *ergon* (trabajo) y *nomos* (ley o norma); la primera referencia a la ergonomía aparece recogida en el libro del polaco Wojciech Jastrzebowski (1857) titulado *Compendio de Ergonomía o de la ciencia del trabajo basada en verdades tomadas de la naturaleza*.(27)

La Asociación internacional de Ergonomía (IEA por sus siglas en inglés)(28) define la ergonomía (o factores humanos) como la disciplina científica que se ocupa de la comprensión de las interacciones entre los seres humanos y otros elementos de un sistema, y la profesión que aplica la teoría, los principios, los datos y los métodos para diseñar con el fin de optimizar el bienestar humano y el rendimiento general del sistema. Los profesionales de la ergonomía y la ergonomía contribuyen al diseño y evaluación de tareas, trabajos, productos, entornos y sistemas para hacerlos compatibles con las necesidades, habilidades y limitaciones de las personas.

Mondelo et al.(27) sintetizan la definición de ergonomía y proponen que es una actuación que considera los siguientes puntos:

- a. Objetivo: Mejora la interacción persona-sistema (P-M), de forma que la haga más segura, más cómoda, y más eficaz; esto implica selección, planificación, programación, control y finalidad.
- b. Procedimiento pluridisciplinar de ingeniería, medicina, psicología, economía, estadística, etc..., para ejecutar una actividad.
- c. Intervención en la realidad exterior, o sea, alterar tanto lo natural como lo artificial que nos rodea; lo material y lo relacional.
- d. Analizar y regir la acción humana: incluye el análisis de actitudes, ademanes, gestos y movimientos necesarios para poder ejecutar una actividad; en un sentido más figurado implica anticiparse a los

propósitos para evitar los errores.

- e. Valoración de limitaciones y condicionantes del factor humano, con su vulnerabilidad y seguridad, con su motivación y desinterés, con su competencia e incompetencia.
- f. y por último, un factor que debemos ponderar a su justo valor: el económico, sin el cual tampoco se concibe la intervención ergonómica.

Oborne et al.(23) plantea que la ergonomía es la ciencia que “ajusta el ambiente al hombre”. Por esto, busca aumentar la seguridad, lo cual debería dar como resultado la reducción de tiempo perdido a través de la enfermedad y (tal vez) un incremento correspondiente de la eficiencia (del trabajador); no obstante, del mismo modo, la seguridad en sí misma dependería de la eficiencia. Otra meta de la ergonomía es reducir la impredecibilidad de la ejecución del operario, o sea, incrementar su confiabilidad. Así, el operario debería ser no solo rápido y eficiente, sino también confiable.

En resumen, El objetivo que persigue la ergonomía es el de mejorar “la calidad de vida” del usuario, tanto en la interacción con una máquina o herramienta como en la interacción en una cocina doméstica, y en todos estos casos este objetivo se concreta con la reducción de los riesgos de error, y con el incremento de bienestar de los usuarios teniendo en cuenta las capacidades de la persona para así después intentar construir un sistema de trabajo en el que se basen estas capacidades. (23,27)

3.2.1.1. Ergonomía física

Los practicantes de la ergonomía deben tener un amplio entendimiento de su alcance, puesto que, la ergonomía promueve un enfoque holístico en el que se tienen en cuenta consideraciones de factores físicos, cognitivos, sociales, organizativos, ambientales y otros factores relevantes. Los ergónomos a menudo trabajan en sectores económicos particulares o dominios de aplicación. Los dominios de aplicación no son mutuamente excluyentes y evolucionan constantemente; Se crean

nuevos y los viejos adoptan nuevas perspectivas.

La ergonomía física se refiere a las características anatómicas, antropométricas, fisiológicas y biomecánicas del ser humano en lo que respecta a la actividad física. (Los temas relevantes incluyen posturas de trabajo, manejo de materiales, movimientos repetitivos, trastornos musculo esqueléticos relacionados con el trabajo, diseño del lugar de trabajo, seguridad y salud).(29) Debido a lo anterior, este dominio de la ergonomía se ocupa de la exposición a cargas física y sus efectos potenciales en el cuerpo humano. El humano en el trabajo está externamente expuesto a una situación de trabajo (demandas de trabajo, ambiente de trabajo) y métodos de trabajo (las actividades de trabajo a realizar). Esto da como resultado la adopción de posturas específicas del cuerpo humano y la ejecución de movimientos, así como algunas fuerzas externas sobre el cuerpo humano. Además, la adopción de posturas, movimientos y la fuerza conduce a la exposición a fuerzas internas en las estructuras corporales y a niveles elevados de gasto de energía (es decir, exposición interna). Las respuestas mecánicas y fisiológicas ocurren a corto plazo (es decir, respuestas agudas). Los trastornos musculo esqueléticos se encuentran entre los posibles efectos a largo plazo que siguen las respuestas agudas. Los trastornos musculo esqueléticos se encuentran entre los posibles efectos a largo plazo que siguen a las respuestas agudas. Las respuestas dependen también de las capacidades individuales del trabajador (incluidas las dimensiones del cuerpo, el bienestar físico y la condición física, entre otros.)(30)

3.2.1.2. Ergonomía y diseño

Una de las aplicaciones de la ergonomía es el de diseño de puestos de trabajo y sistemas de trabajo para que la mayor parte de la fuerza laboral

potencial pueda desempeñarse bien. El objetivo final es facilitar el trabajo de calidad sin riesgos innecesarios de lesiones o enfermedades debido a la sobrecarga biomecánica, fisiológica o psicológica.

Comprender los mecanismos fisiológicos y bioquímicos de los movimientos humanos es útil por dos razones: a) el diseño del trabajo y del equipo apropiado se puede desarrollar para reducir el número de situaciones en las que la restricción de suministro sanguíneo (y, por tanto, la fatiga) puedan ocurrir, y b) los principios fisiológicos se pueden utilizar para incrementar la capacidad de trabajo físico humano mediante el entrenamiento y otras técnicas. (23)

La CCOHS (Canadian center of health and safety)(31). Especifica que, el diseño del trabajo se refiere a la forma en que se organiza un conjunto de tareas, o un trabajo completo. El diseño del trabajo ayuda a determinar: qué tareas se realizan, cómo se realizan las tareas, cuántas tareas se realizan, en qué orden se realizan las tareas. Toma en cuenta todos los factores que afectan el trabajo y organiza el contenido y las tareas para que el trabajo en general sea menos riesgoso o pueda causar un daño al empleado. El diseño del trabajo involucra factores administrativos u organizaciones tales como: Rotación de trabajo, ampliación del trabajo, tarea / ritmo de la máquina, descansos de trabajo y horas laborales. Un trabajo bien diseñado fomentará una variedad de posiciones corporales adecuadas, requerirá una ejecución de fuerza razonable, requerirá actividad cognitiva razonable y ayudará a fomentar sentimientos de logro y autoestima. El diseño del trabajo se puede utilizar para adaptarse a las capacidades y la diversidad de las personas, incluidos aquellos que regresan al trabajo después de una lesión o enfermedad.

3.2.2. Diseño y control de la carga física de trabajo

La eficacia mecánica del cuerpo humano no rebasa en el mejor de los

casos en ejercicios muy dinámicos el 20% (según algunos autores, pudiera llegarse al 25-30%). Esto significa que de la energía que se consume para realizar un trabajo físico solo la cuarta parte, en contadas ocasiones, se aprovecha como trabajo útil y el resto se pierde en forma de calor. Si se diseña un sistema hombre-máquina que exija determinado consumo energético al hombre ignorando cual es este consumo y la cantidad límite de energía que puede consumir, se habrá diseñado un sistema a ciegas, pues si el consumo energético está por encima de las posibilidades del hombre, éste será incapaz de cumplir habitualmente la tarea, o la cumplirá durante un tiempo hasta que alcance su valor límite o modifique su actividad, consciente o inconscientemente, disminuyendo su ritmo o modificando sus métodos de trabajo, quizás en detrimento de la productividad o de la calidad, lo cual sucede con frecuencia; ése es el momento en que los operarios generan pausas de trabajo encubiertas o disfrazadas.(27)

3.2.3. Diseño de trabajo / Descanso

Tanto como sea posible, toda actividad muscular debe ser intermitente, de manera que la sangre fluya a través del músculo, para reducir la posibilidad de que falte oxígeno o para facilitar su flujo.(27)

La fatiga se vuelve excesiva si un operador está continuamente de pie durante más de 30 minutos (caminar es menos fatigoso que estar de pie). Ramsey, Halcomb y Mortagy (1974) informaron que las sesiones cortas de trabajo (de 0 a 24 min) dan un mejor rendimiento de los inspectores que las sesiones largas (de 50 a 74 min). Los operadores rindieron menos cuando elegían ellos mismos la duración de sus sesiones de trabajo, porque no se daban cuenta de cuando comenzaba a disminuir su capacidad. De manera que las sesiones cortas de trabajo determinadas de antemano parecen ser mejor que dejar que los inspectores continúen trabajando hasta que pidan un descanso.(23)

Es poco probable que los informes de enfermedades o lesiones sean el impulso para una investigación. Sin embargo, puede haber un accidente grave y luego de la investigación, la fatiga y las condiciones de trabajo/descanso pueden ser reconocidas como un problema. La fatiga probablemente estará relacionada con largas horas de trabajo diarias, especialmente si hay falta de sueño. Ocasionalmente, la fatiga se debe a largas horas de trabajo semanales, quizás combinadas con el trabajo por turnos. Es más probable que los efectos de la fatiga en el rendimiento se reflejan en errores que en cambios en unidades/ h.(32)

De acuerdo con Konz(32), hay tres tipos de descansos en el trabajo:

1. micro descanso (descansos breves de un minuto o menos)
2. Descansos informales (interrupciones del trabajo, capacitación)
3. Descanso del trabajo (tareas diferentes usando una parte diferente del cuerpo, como contestar el teléfono en lugar de digitar en el teclado).

Sin embargo, implementar un régimen que involucre trabajo/descanso requiere un análisis del trabajo profundo en el que se puedan estimar las variables fisiológicas para así determinar los tiempos de actividad que el trabajador pueda tolerar y los tiempos de descanso que deba tomar para evitar la fatiga.

La fatiga puede afectar diferentes partes del cuerpo:

- El sistema cardiovascular: que se ve afectado principalmente por el trabajo pesado, como el manejo manual de materiales
- El sistema músculo-esquelético: que se ve afectado principalmente por el trabajo estático postural (por ejemplo, estar de pie), el trabajo VDT y el trabajo manipulador.
- El cerebro: que se ve afectado por trabajos de sobrecarga de

información (concentración y atención). Sin embargo, un problema grave es la poca carga de información (aburrimiento). Otro problema grave para el cerebro es la falta de sueño.

Se debe tener en cuenta que los trabajos (por ejemplo, enfermeras, conductores de camiones, operadores de máquinas, operadores de VDT) generalmente tienen una combinación de fatiga física y mental.

Para reducir la fatiga, Konz(33) propone unos lineamientos para su uso:

- Descansos de trabajo: que involucre realizar una tarea diferente que involucre una parte del cuerpo diferente para descansar la parte fatigada. La rotación laboral, además de reducir la fatiga, reduce la sensación de inequidad entre los trabajadores, ya que todos comparten los trabajos buenos y malos. la rotación laboral requiere personas con entrenamiento cruzado (capaces de hacer más de una cosa); el entrenamiento cruzado permite flexibilidad de programación y de gestión, etc.
- Descansos cortos frecuentes: El problema es cómo dividir el tiempo de descanso. La clave de la solución es que la recuperación de la fatiga es exponencial; Si la recuperación se completa en 60 minutos, solo demora 4 minutos bajar de 100% de fatiga a 75% de fatiga, pero toma 42 minutos bajar de 25% de fatiga a no fatiga. Por lo tanto, dar tiempo de descanso en pequeños segmentos. Como beneficio adicional de las pausas frecuentes, el descanso frecuente puede reducir el crecimiento exponencial de la fatiga.
- Maximizar la tasa de recuperación: El problema es recuperarse lo más rápido posible. En términos técnicos, reducir la vida media de la fatiga. Para los estresores ambientales, reducir el contacto con el estresor. Para los estresores musculares, la

buena circulación sanguínea arrastra los productos de la fatiga y aporta nutrientes. El descanso activo parece mejor que el descanso pasivo. El descanso activo puede ser simplemente caminar hacia el área del café (la circulación de la sangre en la pierna mejora dramáticamente en 20 a 30 pasos).

- Aumentar la relación recuperación / trabajo: El problema es tiempo insuficiente para recuperarse. La solución es aumentar el tiempo de recuperación o disminuir el tiempo de trabajo.

3.2.3.1. Descanso funcional (descanso mientras se trabaja) y descanso sin trabajar

Un grupo específico de músculos, o un órgano corporal, pueden requerir descanso, aunque no se sienta fatiga corporal general. Un cambio de tarea puede disminuir la fatiga psicológica (aburrimiento) lo mismo que la fisiológica, un cambio es tan bueno como un descanso. También es posible intercambiar tareas con otros trabajadores (rotación de labores), la rotación de labores dentro de los equipos de trabajadores es más simple que la rotación entre equipos. La rotación de labores también puede disminuir la exposición a un ambiente específico, es decir, en un trabajo puede haber temperatura elevada, mucho ruido y altas concentraciones de productos químicos, hacer que dos trabajadores se expongan a ese medio durante 4 horas cada uno es mejor que permitir que uno solo se exponga durante 8 horas. (34)

Puede convenir descansar todo el cuerpo lo mismo que secciones específicas del mismo. La desventaja es la perdida inmediata en la producción. Con los niveles actuales de carga metabólica, se tiene poca certeza de que haya una gran necesidad de aliviar la fatiga fisiológica general. En el trabajo repetitivo cuyo paso lo marcan las máquinas, los descansos sin trabajar son probablemente

necesarios. La recuperación después de la fatiga disminuye exponencialmente con relación al tiempo, de modo que los descansos breves y frecuentes son los más eficaces. Es decir, que, si se trata de un periodo de 4 horas, los descansos de 5 minutos después de la primera, la segunda y la tercera hora son más eficaces que aliviar la fatiga que unos descansos de 15 minutos después de la segunda hora. (34)

3.2.4. Análisis de la actividad

De acuerdo con Willard y Spackman (2005)(35), se ha intentado distinguir entre actividad, tarea y ocupación. Un enfoque es crear una jerarquía en la cual tareas y actividades se incluyen dentro de la categoría más amplia de la ocupación. Otro es diferenciar entre tarea y actividad, señalando que la actividad está libre de contexto, mientras que la tarea se refiere al desempeño real de una persona en el contexto. El análisis de la actividad es una forma de pensar en las actividades, este análisis engloba las exigencias normales típicas de una actividad, el rango de habilidades involucrado en su desempeño y los distintos significados culturales que podrían adjudicarse.

El conjunto de las condiciones de trabajo que intervienen en la actividad constituye la tarea, que se define, también, como una finalidad que se ha de alcanzar en determinadas condiciones. La actividad no se puede deducir de la tarea de forma simple, pues hay varias formas según los sujetos, y para un mismo sujeto según los momentos. Tarea y Actividad están en estrecha interacción. La actividad adquiere sentido con relación a la tarea: si se ignora todo con respecto a esta, la actividad se convierte en un enigma. Inversamente, la tarea verdadera, es decir, las finalidades y exigencias tomadas efectivamente en cuenta por el operador, solo se puede determinar a través del estudio de la actividad.(36) La tarea no equivale al trabajo, si no a aquello que la empresa prescribe al operador. El análisis ergonómico de la

actividad es una análisis de las estrategias (regulación, anticipación, etc.) puestas en marcha por el operador para manejar esta divergencia, es un análisis del sistema hombre-tarea.(37)

En el ámbito de la terapia ocupacional, el análisis de la actividad es utilizado para conocer los problemas del desempeño de una persona y determinar estrategias de intervención adecuadas que permitan favorecer la ejecución de esta actividad por parte de la misma, minimizando los errores, permitiendo la eficiencia durante la actividad e incrementando la autonomía. Del mismo modo, en un estudio ergonómico, es primordial realizar un análisis detallado del trabajo realizado, por esto, el objetivo del análisis de la actividad es identificar las demandas, habilidades y significados potenciales de esa actividad lo que permitirá tener un conocimiento más a profundidad de la actividad en general y determinar los factores a considerar en el estudio, concretar los aspectos que van a requerir un análisis más preciso, definir el procedimiento a seguir para la obtención de datos, para la selección de métodos, instrumentos y equipos.

El trabajo se considera como una actividad y será analizado en calidad de tal. Analizar una actividad o una conducta consiste, en primer lugar, en describirla, luego en determinar los mecanismos de su producción y, finalmente, en estudiar sus efectos sobre el individuo.(36)

Leplat (1985)(36), establece que el análisis de la actividad empieza por una descripción minuciosa de esta. Efectivamente, no se trata de describirlo todo sino de describir las actividades o componentes de la actividad que están implicadas más directamente en el problema que hay que resolver. Analizar el trabajo equivale a hacer un análisis de este sistema y de su funcionamiento. En consecuencia, habría que rechazar la separación de las diferentes realidades que lo componen, y reclamar que el analista del trabajo tenga las competencias necesarias para abordarlas todas. Las entrevistas y los cuestionarios serán una herramienta útil para situar el problema y proporcionarán indicaciones útiles sobre la naturaleza de las actividades, sin

embargo, es preciso complementar con otros métodos como la observación, que constituye un método más satisfactorio. La descripción de los aspectos observables bien elegidos de la actividad es indispensable al principio y al final de todo estudio: al principio para orientar, al final para verificar las hipótesis a las que conduce.(36,37)

3.2.4.1. Niveles de análisis

La actividad del trabajador está determinada por condiciones denominadas precisamente condiciones de trabajo, que son internas o externas al trabajador. Las condiciones internas, se refieren al estado del trabajador con relación a su tarea características antropométricas, estado orgánico, sexo, así como cualificación, experiencia, competencia, rasgos de personalidad, etc. Las condiciones de trabajo externas son, también muy diversas. Se puede proponer la siguiente clasificación(36):

- Condiciones físicas: caracterizadas frecuentemente bajo el nombre de ambiente o de entorno laboral (ruido, iluminación, vibraciones, etc.).
- Condiciones técnicas o tecnológicas: el trabajo pone en marcha instrumentos, herramientas, e imposiciones técnicas a las cuales ha de responder el trabajador (ejemplos: un tractor se conduce con un volante de un diámetro determinado, tiene una determinada tasa de desmultiplicación, asistida o no, inclinado un número determinado de grados, a una distancia determinada del asiento, etc.)
- Condiciones organizativas: el trabajo se ejerce en instituciones (fábricas, almacenes, administraciones, etc.), gestionadas según determinadas reglas que definen la división de las tareas, la organización temporal (cadencias, horarios, etc.), los tipos de control y mando.

- Condiciones socioeconómicas: Estas condiciones, propias de la sociedad global, están más o menos moduladas por la institución: reparto de poderes, relaciones de fuerzas sociales, salarios, legislación social, coyuntura económica, etc.

Se habrá de observar que estas condiciones están en estrecha interacción. En especial los aspectos técnicos y organizativos están estrechamente vinculados y constituyen un objeto de discusión que está lejos de haber concluido: saber cómo se determinan mutuamente. Con vistas a Señalar esta interacción, hablaremos con frecuencia del sistema socio-técnico para designar el conjunto de estas condiciones.

La tarea se define como una finalidad que hay que alcanzar en determinadas condiciones, su análisis coincide en su principio con el de las condiciones externas de trabajo, puesto que nos lleva a preguntarnos sobre los factores que influyen en la actividad del trabajador.

3.2.4.2. Efectos de la actividad

Los efectos de la actividad se pueden considerar con relación al sistema o con respecto al propio trabajador. En el primer caso nos interesamos por el rendimiento, que se traducirá en términos de eficacia con respecto a los fines asignados de la actividad sobre el trabajador con respecto a su salud física y mental y a sus expectativas. La ergonomía se refiere, fundamentalmente, a este tipo de consecuencias, incluso en el caso de que también haya de tener en cuenta el rendimiento.(36)

Tabla 1 Consecuencias de la actividad para el trabajador y para el sistema

Trabajador	Sistema
Carga de trabajo	Cantidad de artículos producidos
Fatiga	Calidad de los artículos producidos
Satisfacción	Rapidez de ejecución
Confort	Regularidad de la producción
Sentimiento de monotonía	Mantenimiento del material de producción en buen estado
Alteraciones psicopatológicas	Absentismo
Accidente	Incidentes técnicos

Fuente: Leplat J. La Psicología ergonómica. Vilassar de Mar: Oikos-Tau; 1985

La evaluación de las consecuencias de la actividad se realiza con relación a criterios elegidos en funciones de los objetivos. Por lo tanto, para evaluar el efecto de la actividad se deben evaluar aspectos como, el rendimiento, la carga de trabajo, y los efectos a largo plazo.

- Evaluación del rendimiento: el rendimiento está vinculado a la actividad propiamente dicha y de igual forma está estrechamente relacionado con las condiciones de la misma como los materiales, instrucciones, herramientas, etc. La hipótesis generalmente implícita a estos estudios, es que una mejora de los rendimientos con relación a los criterios, traduce una mejor adaptación del acoplamiento entre el operador y sus instrumentos.
- La evaluación de la carga de trabajo: En este aspecto, se abordan los criterios que expresan los efectos del funcionamiento del sistema sobre el trabajador. La evaluación de la carga es esencial para la ergonomía, puesto que uno de

los objetivos de esta es, precisamente, la optimización de esta carga.

- La evaluación de los efectos a largo plazo: Los efectos de la actividad se pueden dar también en un término mucho más largo y extenderse a lo largo de una vida. La fatiga constituye uno de los efectos a largo plazo al que se alude con mayor frecuencia, pero es difícil controlarla por completo. Otras consecuencias a más largo plazo son los efectos psicopatológicos (crisis de nervios, depresión, ansiedad, sentimientos de desvalorización, etc.) que ha evocado con frecuencia.

3.2.5. Termorregulación y trabajo

Los cambios en la temperatura corporal afectan a las estructuras celulares, sistemas enzimáticos y numerosas reacciones químicas dependientes de la temperatura, así como a procesos físicos corporales.(24) La respuesta del hombre al ambiente termal depende, primordialmente, de un equilibrio muy complejo entre su nivel de producción de calor y su nivel de pérdida de calor. El calor que resulta del metabolismo natural del cuerpo, sobre todo durante el trabajo, mantiene el cuerpo a una temperatura superior a la que lo rodea en el ambiente común. Al mismo tiempo, el calor se pierde constantemente del cuerpo por la radiación, la convección y la evaporación, de manera que en condiciones normales de descanso, la temperatura del cuerpo se mantiene en su estrecho rango de los 36.1 a los 37.2 grados Celsius.(23)

Los trabajadores(as), tienden a mantener constante su temperatura corporal, esta constante, no es una cifra exacta, existiendo un ritmo circadiano con pico de temperatura entre las 18 y 22 horas del día, siendo mínima entre las 2 y las 4 de la madrugada, se evidencian igualmente diferencias entre distintos puntos del cuerpo y en algunos estados fisiológicos.(3)

3.2.5.1. Mecanismos

El equilibrio térmico del cuerpo es mantenido por un sistema de autorregulación muy complejo, controlado por el hipotálamo. Cada vez que el cuerpo necesita perder calor, esta área hace que se dilaten los vasos sanguíneos, que las glándulas sudoríparas produzcan un sudor frío, que se incremente el ritmo de respiración y que disminuya el ritmo del metabolismo del cuerpo. Sin embargo, en condiciones de frío, cuando el cuerpo necesita conservar y aun generar calor, el hipotálamo hace que los vasos se constriñan y que la sangre se desaloje de la superficie cutánea de las extremidades causando un color azulado, e incrementa el ritmo metabólico por medio de la inducción de actividades incontroladas de los músculos, las cuales son descritas como escalofríos. así, pues, por medio de estos procesos, la temperatura óptima del cuerpo se mantiene en las condiciones ambientales externas más adversas.(23)

Una función muy importante de la circulación de la sangre es transportar energía térmica, para enfriar o calentar los tejidos según sea necesario, y trasladar el exceso de calor corporal del interior a la superficie, es decir, la piel. La conductancia del tejido es la cantidad de calor emanado por metro cuadrado de superficie corporal por hora y por grado de diferencia térmica entre el interior del cuerpo y el medio ambiente. Cuando aumenta la irrigación de la piel, la temperatura cutánea se eleva y también su conductancia. Cuando se reduce el riego sanguíneo de la piel, la temperatura cutánea disminuye y también su conductancia, es decir, el valor aislante de la piel se incrementa.(24)

La aclimatación de los seres humanos al calor se consigue con más perfección si se realiza un trabajo ligero que se aumente de manera progresiva. Tras la aclimatación, hay menos molestias subjetivas a la exposición del calor. El incremento de la frecuencia cardíaca es menor, las respiraciones son moderadas, existe mayor estabilidad

cardiovascular, la producción de sudor empieza tras una exposición más breve al calor y disminuye la concentración de sodio en orina y en sudor (que será de 5 mEq/l). La aclimatación completa ocurre entre los 4-10 días y se mantiene durante semanas aunque cese la exposición al calor.(3)

3.2.5.2. Métodos para la medición

La temperatura central del cuerpo se mide con la ayuda de termómetros de mercurio, **termocuplas o reóstatos térmicos (termistores)**. El lugar clásico para las mediciones es el recto. Durante un esfuerzo físico o durante la exposición a calor, la temperatura de la porción del encéfalo donde se localiza el centro termorregulador aumenta con más rapidez que la de la temperatura rectal. El incremento o descenso de la temperatura en el encéfalo y en el recto son, sin embargo, de la misma magnitud. La temperatura rectal es, por tanto, apropiada para evaluar cambios en la temperatura central del cuerpo, siempre que se mida en condiciones de lactato estable (es decir pasados unos 30-40 min).(24)

3.2.6. Sudoración y medición de la sudoración en el trabajo.

La sudoración en la persona aclimatada aparece más precozmente que en la no aclimatada. El aumento del índice de sudoración permite un enfriamiento más eficaz de la piel a través de la pérdida de calor por la evaporación, y la reducción resultante de la temperatura cutánea permite un mejor enfriamiento de la sangre que fluye por la piel. La magnitud de la pérdida de sudor se calcula simplemente pesando a la persona desnuda o vestida con ropa seca, antes y después del experimento, y pesando los alimentos y líquidos ingeridos y las heces y orina excretadas durante el periodo de observación.(3,24)

3.3. Marco contextual

3.3.1. Carbón coque

El coque como un producto o residuo obtenido del procesamiento (estrés térmico controlado) de algunos carbones. Es un sólido de color gris negruzco, poroso y poco denso, que arde sin llama y tiene gran poder calorífico. Contiene, en su mayor parte, carbono (92%) y el resto ceniza (8%) y se emplea principalmente como reductor en la industria siderúrgica para la fabricación de acero.

De acuerdo al informe sectorial realizado por AKTIVA, el carbón mineral en Colombia es usado a nivel interno principalmente para producción de energía térmica, así como también en cementeras, industria y producción de coque, en el país se extraen dos tipos de carbón:

El carbón térmico, que se usa principalmente para la generación de energía y el Carbón metalúrgico, destinado a la producción de coque y acero.(38)

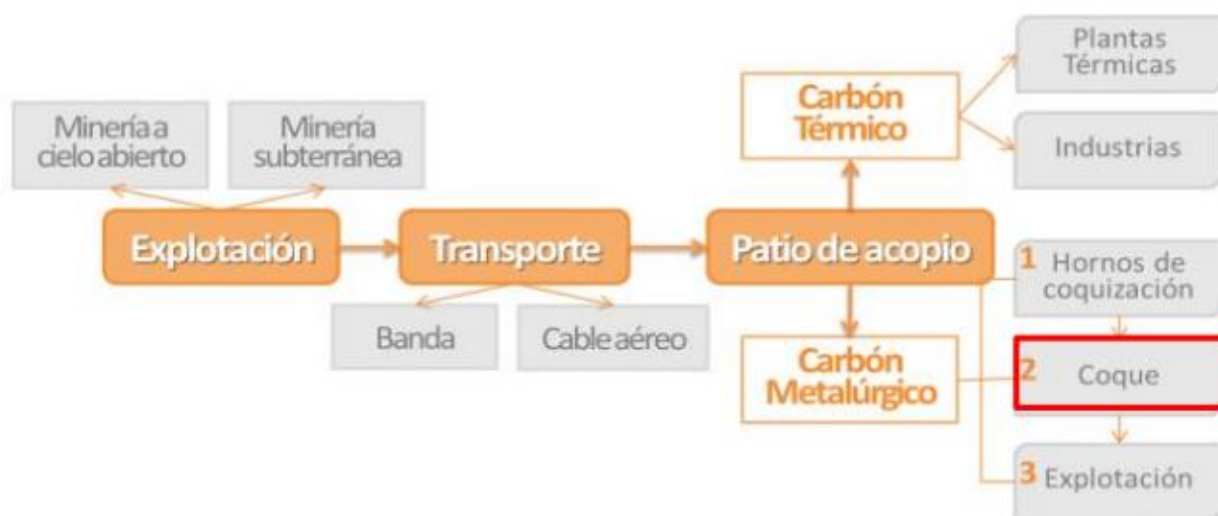


Ilustración 3. Cadena Productiva del carbón mineral. Fuente: Informe sectorial Aktiva. UPME

3.3.2. Descripción de los peligros en la producción de coque en hornos de colmena.

La mayor parte del coque que se produce se obtiene a partir del carbón. El carbón se carga en un horno de colmena (ver ilustración 4) que posteriormente se sella. Una batería de hornos de coque contiene veinte o más hornos ya sean estrechos, anchos o altos, colocados uno junto al otro, como las rebanadas de un pan. Una vez cargado, el horno de coque se calienta durante 12 horas o más, tiempo en el que se desprende una gran variedad de productos químicos. En una batería de hornos de coque dichos productos se recogen y se refinan, lo que da lugar a la fabricación de una amplia gama de subproductos.



Ilustración 4. Hornos de colmena. Fuente Ergos Health S.A.S

Los peligros para la salud que se derivan de la producción de coque provienen de los productos químicos volátiles que se desprenden del carbón durante el proceso de cocción. Las emisiones de los hornos de coque están constituidas por hidrocarburos aromáticos poli-cíclicos, que son cancerígenos, además de otros gases y vapores tóxicos como el benceno, el sulfido de hidrógeno, el monóxido de carbono y el amoníaco. En una instalación donde se produce carbón, los trabajadores están expuestos al polvo de carbón, que puede dañar los pulmones. Los hornos de coque deben mantenerse calientes a fin de no dañar su estructura. Como

consecuencia de ello las operaciones de producción y de mantenimiento de los hornos implican el riesgo de estrés térmico.

Los peligros para la seguridad que presenta la producción de coque son las quemaduras por contacto con el equipo móvil, el fuego y las explosiones. Las baterías de hornos de coque se alimentan utilizando un equipo que se desplaza sobre rieles anchos e incluye los vagones utilizados para cargar el horno, esta actividad puede repercutir en lesiones a los trabajadores por atrapamientos. Adicionalmente se hace uso de rastrillos para nivelar el carbón dentro de los hornos antes de la cocción y posteriormente palas y rastrillos para retirar el coque del horno una vez finalizado el horneado. La visibilidad suele ser mala si no se han controlado convenientemente las emisiones, en particular, si “el lado del coque” (de donde se extrae el coque caliente) está en un lugar cerrado. Los trabajadores pueden sufrir quemaduras graves si tocan el coque caliente, las compuertas o los marcos, o si tropiezan con alguna tapadera suelta del horno de batería. El gas producido en los hornos de coque es inflamable y explosivo, como lo son muchos de los productos químicos que recogen las instalaciones que fabrican otros subproductos

Durante la producción de coque el riesgo de sufrir lesiones del aparato locomotor es frecuente. El transporte y la elevación manuales de objetos grandes, voluminosos o pesados son habituales. Los movimientos de trabajo repetitivo y prolongado, así como las posturas inadecuadas, pueden provocar lesiones del aparato locomotor. Mantener la misma postura durante periodos prolongados provoca una fatiga excesiva. El trabajo repetitivo y las tareas poco variadas o en las que ocurren escasos acontecimientos pueden dar lugar a aburrimiento y a que se cometan errores. Así mismo, una carga física demasiado alta puede provocar una fatiga excesiva, sobre todo en un ambiente caliente. Los trabajadores están expuestos a un intenso calor radiante; los niveles de temperatura y de

humedad o de ambas son elevados y se trabaja con ropa de protección o a un ritmo intenso; la temperatura es inusualmente baja y predominan velocidades de viento altas (>5m/s) junto con temperaturas bajas.(39)

En el año 2014, la empresa Ergos Health S.A.S. realizó mediciones de temperatura de globo, bulbo húmedo y bulbo seco en cuatro días diferentes en la empresa dedicada a la producción de coque para determinar el estrés térmico. Estas mediciones dieron como resultado el índice WBGT que se presenta en la tabla 2:

Tabla 2 Índice WBGT en la empresa productora de coque año 2014.

DÍA	TS	TH	TG	WBGT
Día 1	26	25	43	28,7
Día 2	27	25	44	29
Día 3	26	26	43	29,4
Día 4	25	25	45	29

De acuerdo con la norma NTP 322 “Valoración del riesgo de estrés térmico: índice WBGT en cuenta la norma”(40) del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo INSHT se encuentra que el valor límite permisible de WBGT para una persona aclimatada con un consumo calórico de 492 Kcal/h (Consumo calórico de los horneros antes de la intervención ergonómica y organizacional de acuerdo con la base de datos del estudio realizado) es de 23, valor que sobrepasa el valor actual de los resultados obtenidos en los días de medición. El presente trabajo no tiene en cuenta el índice WBGT para el análisis de los resultados ya que este se mantiene estable o presenta leves variaciones que no son significativas durante los días que se realizó la evaluación fisiológica.

3.3.3. Descripción global del proceso de producción de coque

La producción de coque inicia cuando se extrae el carbón de la mina y este

es llevado a la planta para su clasificación (en carbón metalúrgico o carbón térmico). Una vez clasificado, el carbón este se descarga en tolvas y es conducido mediante bandas transportadoras hacia unos trituradores y molinos que buscan disminuir el tamaño del carbón. Una vez el carbón es triturado se dosifica en vagones que posteriormente distribuirán el carbón en las baterías (hornos de colmena) para iniciar el horneado del carbón.

La intervención tecnológica y organizacional se llevó a cabo el proceso de horneado, por lo tanto, se describirá con más detalle la actividad en esta parte del proceso de coquización.

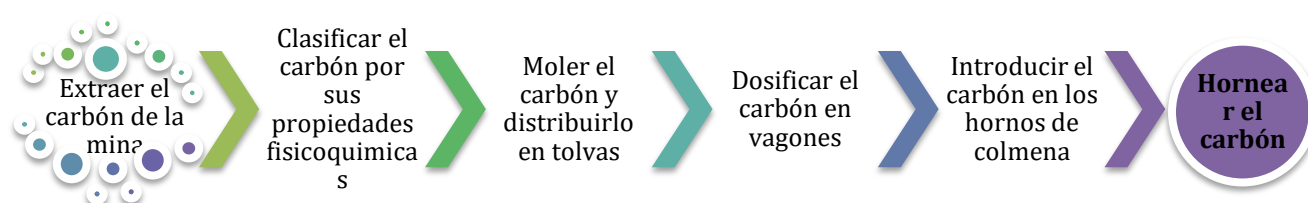


Ilustración 5. Proceso de producción de coque

3.3.3.1. Descripción de la actividad de horneado

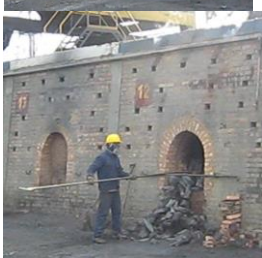
La actividad de los horneros inicia cuando el horno ha terminado el proceso de cocción del carbón coque. Los hornos pueden llenarse de dos formas, con 10 Toneladas el cual tendría una duración de horneado de 72 Horas y con 7 Toneladas el cual tendría una duración de horneado de 48 Horas. Dependiendo de la capacidad con la que se haya llenado el horno un trabajador podría sacar 2 hornos durante su jornada si este es de 10 toneladas o 3 Hornos durante su jornada si este es de 7 toneladas. El tiempo de trabajo aproximado de los horneros es de 8 horas en adelante hasta terminar los hornos que le correspondan. La intervención tecnológica y organizacional se realizó en la actividad de horneado con hornos que se llenaban con 7 toneladas. Adicional a la actividad de sacar el carbón del horno, los horneros deben vigilar los procesos de cocción de otros hornos. A continuación, se realiza la

descripción de las tareas de la actividad del hornero:

Tabla 3. Descripción de la actividad de los horneros antes de la intervención tecnológica y organizacional

Tarea	Descripción	Requerimientos biomecánicos	Imagen de Referencia (Fuente: Ergos Health S.A.S)
1	Vigilancia del horno durante el proceso de horneado para verificar que el carbón se esté horneando y no se queme	Desplazamientos continuos y discontinuos.	
2	2.1 Tumbar la mitad de la puerta de la puerta del horno	Movimiento de halar para arrastrar los ladrillos y tumbarlos hacia el exterior del horno, manipular carga (barra larga) Hombros: movimientos de flexo extensión entre 30 y 60°. Brazo derecho: abducción brazo izquierdo aducción + rot. Interna. Postura bípeda. Mano: Agarre cilíndrico, con requerimientos de fuerza prensil. Esfuerzo físico.	
3	3.1 Apagar el horno: conectar la manguera, abrir la llave, mover la manguera dentro del horno. (esta tarea permite que el carbón se fracture)	Manipular carga (barra larga con extensión de manguera) Hombros: movimientos de flexo extensión entre 30 y 60° para mover la manguera dentro del horno. Postura bípeda. Tronco: movimiento de flexión para el levantamiento de la manguera. Mano: Agarre cilíndrico. Esfuerzo físico.	

Tarea	Descripción	Requerimientos biomecánicos	Imagen de Referencia (Fuente: Ergos Health S.A.S)
	4.1 Tumbar la otra mitad de la puerta del horno	Movimiento de halar para arrastrar los ladrillos y tumbarlos hacia el exterior del horno, manipular carga (barra larga) Hombros: movimientos de flexo extensión entre 30 y 60°. Brazo derecho: abducción brazo izquierdo aducción + rot. Interna. Postura bípeda. Mano: Agarre cilíndrico, con requerimientos de fuerza prensil. Esfuerzo físico.	
4	4.2 Organizar ladrillos al lado del horno para su reutilización posterior.	Manipular cargas (ladrillos y pala) Hombros: movimientos de flexo extensión entre 40 y 80° para tomar los ladrillos que quedan en la puerta del horno y en el piso. Movimientos de aducción flexión, rotación externa e interna en hombro para manipular la pala. Postura bípeda, desplazamientos cortos continuos. Tronco: movimiento de flexión para el levantamiento de ladrillos. Mano: Agarre cilíndrico (pala) y a mano llena (ladrillos) con requerimientos de fuerza prensil. Esfuerzo físico	

Tarea	Descripción	Requerimientos biomecánicos	Imagen de Referencia (Fuente: Ergos Health S.A.S)
5	5.1 Rastrillado: Sacar carbón del horno con el rastrillo	Movimiento de halar para arrastrar el carbón fuera del horno, manipular carga (barra con rastrillo). Hombros: movimientos de flexo extensión entre 40 y 80°. Postura bípeda. Mano: Agarre cilíndrico, con requerimientos de fuerza prensil. Esfuerzo físico.	 
	5.2 Trinchado: Palear el carbón y amontonarlo en otra zona.	Manipular cargas (pala con carbón) Hombros: movimientos de flexo extensión entre 40 y 80° + aducción rotación externa e interna en hombros para recoger el carbón con la pala. Postura bípeda, desplazamientos cortos continuos. Tronco: movimiento repetitivo de flexión de tronco para tomar el carbón con la pala. Movimiento repetitivo de rotación de tronco para lanzar el carbón hacia un espacio determinado. Mano: Agarre cilíndrico (pala) con requerimientos de fuerza prensil. Esfuerzo físico	 

3.3.4. Descripción de la intervención

La intervención realizada a la actividad de horneo se realizó principalmente en la tarea de trinchado la cual demandaba mayores requerimientos biomecánicos.

- **Tecnológica:**

La intervención tecnológica consistió en la adaptación de una banda transportadora fija paralela a todos los hornos del área y una banda transportadora móvil que permite el desplazamiento del carbón desde la puerta del horno hacia la banda transportadora fija, esta banda transportadora móvil puede llevarse a todos los hornos. Esto elimina la actividad de trinchado.

- **Organizacional:**

- La intervención organizacional consistió en realizar cambios en la distribución del trabajo entre los horneros. Por lo tanto, toda la actividad de horneo la debían ejecutar entre dos trabajadores distribuido de la siguiente manera:

Trabajador	Ciclo 1				Trabajador	Ciclo 2			
A	Mayor	Menor	Mayor	Menor	A	Menor	Mayor	Menor	Mayor
B	Menor	Mayor	Menor	Mayor	B	Mayor	Menor	Mayor	Menor
Tiempo	15'	15'	15'	15'	Tiempo	15'	15'	15'	15'

Ilustración 6. Intervención organizacional sobre la actividad de horneo

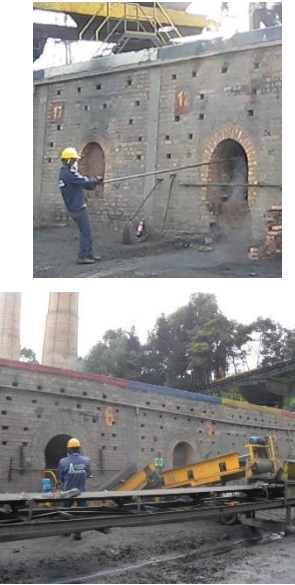
- Cada pareja de dos horneros debía sacar el carbón de 6 hornos durante la jornada laboral.
- La duración total de la tarea del trinchado es de 1 hora, por lo tanto, se determinó que tuvieran un régimen de actividad-reposo durante esta actividad. El trabajador A debía trabajar 15 minutos trinchando (Mayor carga) mientras que el trabajador 2 debía realizar en esos mismos 15 minutos una actividad de Menor carga (apagar horno, supervisar otros hornos, tumbar media puerta). Al finalizar los 15 minutos, los trabajadores cambian de actividad, el que estaba haciendo mayor carga pasa a hacer menor carga y viceversa.
- Adicionalmente se realizó un cambio en la composición de la

hidratación de los trabajadores.

Tabla 4. Descripción de la actividad de los horneros después de la intervención tecnológica y organizacional

Tarea	Descripción	Requerimientos biomecánicos	Imagen de Referencia (Fuente: Ergos Health S.A.S)
1	Vigilancia del horno durante el proceso de horneado para verificar que el carbón se esté horneando y no se queme	Desplazamientos continuos y discontinuos.	
2	2.1 Tumbar la mitad de la puerta de la puerta del horno	Movimiento de halar para arrastrar los ladrillos y tumbarlos hacia el exterior del horno, manipular carga (barra larga) Hombros: movimientos de flexo extensión entre 30 y 60°. Brazo derecho: abducción brazo izquierdo aducción + rot. Interna. Postura bípeda. Mano: Agarre cilíndrico, con requerimientos de fuerza prensil. Esfuerzo físico.	
3	3.1 Apagar el horno: conectar la manguera, abrir la llave, mover la manguera dentro del horno. (esta tarea permite que el carbón se fracture)	Manipular carga (barra larga con extensión de manguera) Hombros: movimientos de flexo extensión entre 30 y 60° para mover la manguera dentro del horno. Postura bípeda. Tronco: movimiento de flexión para el levantamiento de la manguera. Mano: Agarre cilíndrico.	

Tarea	Descripción	Requerimientos biomecánicos	Imagen de Referencia (Fuente: Ergos Health S.A.S)
		Esfuerzo físico.	
4	4.1 Tumbar la otra mitad de la puerta del horno	Movimiento de halar para arrastrar los ladrillos y tumbarlos hacia el exterior del horno, manipular carga (barra larga) Hombros: movimientos de flexo extensión entre 30 y 60°. Brazo derecho: abducción brazo izquierdo aducción + rot. Interna. Postura bípeda. Mano: Agarre cilíndrico, con requerimientos de fuerza prensil. Esfuerzo físico.	
	4.2 Organizar ladrillos al lado del horno para su reutilización posterior.	Manipular cargas (ladrillos y pala) Hombros: movimientos de flexo extensión entre 40 y 80° para tomar los ladrillos que quedan en la puerta del horno y en el piso. Movimientos de aducción flexión, rotación externa e interna en hombro para manipular la pala. Postura bípeda, desplazamientos cortos continuos. Tronco: movimiento de flexión para el levantamiento de ladrillos. Mano: Agarre cilíndrico (pala) y a mano llena (ladrillos) con requerimientos de fuerza prensil. Esfuerzo físico	 

Tarea	Descripción	Requerimientos biomecánicos	Imagen de Referencia (Fuente: Ergos Health S.A.S)
5	5.1 Rastrillado: Sacar carbón coque del horno con el rastrillo	Movimiento de halar para arrastrar el carbón hacia la banda transportadora, manipular carga (barra con rastrillo). Hombros: movimientos de flexo extensión entre 40 y 80°. Postura bípeda. Mano: Agarre cilíndrico, con requerimientos de fuerza prensil. Esfuerzo físico.	

4. OBJETIVOS

4.1. Objetivo general

Evaluar el efecto de una intervención tecnológica y organizacional sobre la carga física de trabajo en los horneros de una empresa productora de coque usando variables fisiológicas para calcular el tiempo máximo aceptable de trabajo (TMAT).

4.2. Objetivos específicos

- Determinar el comportamiento de variables fisiológicas de los horneros de una empresa productora de coque en el altiplano Cundiboyacense antes y después de la intervención tecnológica y organizacional.
- Establecer el tiempo máximo de trabajo aceptable de trabajo (TMAT) para estimar las variaciones fisiológicas ocasionadas por la jornada laboral.
- Comparar el cambio inducido por la intervención tecnológica y organizacional sobre las variables fisiológicas de los horneros de una empresa productora de coque en el altiplano Cundiboyacense.

5. METODOLOGÍA

5.1. Tipo de estudio

Investigación de tipo cuantitativo debido a la naturaleza de las variables y las técnicas estadísticas empleadas para su análisis con un diseño de estudio analítico cuasi experimental, dado que se tiene información emparejada de los trabajadores en dos momentos de tiempo, antes y después de una intervención tecnológica y organizacional.

El estudio tiene una fuente de información secundaria de las variables fisiológicas recopiladas en la base de datos de una intervención realizada por la empresa ERGOS HEALTH durante un periodo de 4 años (2011-2015).

5.2. Área de estudio

La información de la base de datos en el presente estudio proviene de una intervención realizada en una empresa dedicada a la minería en el Altiplano Cundiboyasense de Colombia, en trabajadores en el área de horneo, pertenecientes al proceso de transformación del carbón coque.

5.3. Población y muestra

La población de trabajadores del proceso de transformación del carbón coque en el área de horneo cuenta con aproximadamente 300 trabajadores.

5.3.1. Muestreo

Los datos que se registraron en la base de datos suministrada por la empresa Ergos Health S.A.S mediante un muestreo por conveniencia del estudio original cuenta con información antes y después de la intervención tecnológica y organizacional de 61 trabajadores del área de horneo. Se

tomó una muestra emparejada del 20% del total de trabajadores que aceptaron participar y cumplían todos los criterios de inclusión y exclusión del estudio original.

5.3.2. *Criterios de inclusión y exclusión*

A continuación, se describen los criterios de inclusión del estudio original y se detallan los criterios de inclusión del estudio actual.

Tabla 5 Criterios de inclusión y exclusión del estudio original

<i>Criterios de inclusión del estudio original</i>	<i>Criterios de exclusión del estudio original.</i>
1. Pertenecer al cargo de hornero de la empresa 2. Tener más de 6 meses de antigüedad en la empresa como hornero 3. Cualquier genero 4. Ser mayor de edad 5. Debe completar todas las fases del estudio 6. No haber sufrido enfermedad general (hipertensión, hipertiroidismo, cardiopatía, diarrea, vómito, deshidratación, enfermedad febril, entre otros), enfermedad laboral o accidentes que afecten los resultados de las mediciones fisiológicas. 7. Haber dormido adecuadamente la noche anterior a la recolección de los datos. 8. No estar bajo los efectos de sustancias psicoactivas.	1. Retirarse voluntariamente del estudio. 2. No firmar consentimiento informado.

5.3.2.1. *Criterios de inclusión del estudio actual*

1. Todos los trabajadores de la base de datos.

5.3.2.2. Criterios de exclusión del estudio actual.

1. Registros de los trabajadores que tengan datos faltantes.

5.4. Variables

Considerando los objetivos de la investigación se propusieron las siguientes variables:

Las variables dependientes del estudio son el tiempo máximo aceptable de trabajo (TMAT) y el índice de costo cardiaco relativo (ICCR).

Tabla 6 Variables del estudio

Variables	Definición operacional	Tipo de variable/ Escala de medición	Valores posibles	Método de recolección.
Tiempo máximo aceptable de trabajo (TMAT) antes y después de la intervención	Número de horas de trabajo aceptadas de acuerdo al índice de costo cardiaco relativo (ICCR) $MAWT = 26.12 \times e^{-4.81 \times RHR}$, $R^2 = 0.87$ (12,13)	Cuantitativa a razón	1,2, 3...horas	Para la obtención del TMAT se debe hallar el ICCR (RHR) y Posteriormente se incluye el resultado de ICCR dentro de la formula.
Índice de costo cardiaco relativo (ICCR)	El índice de costo cardiaco relativo es un indicador que valora el costo en latidos por minutos que implica a un individuo, realizar una actividad partiendo desde el reposo (costo cardiaco CC) y teniendo en cuenta la edad $ICCR = FC \text{ del trabajo} - FC \text{ de reposo} / FC \text{ max} - FC \text{ de reposo}$.(3)	Cuantitativa a continua/ Razón	1% al 100%	Para la obtención del ICCR se tomará en el trabajador la FC _{reposo} , FC _{max} teórica, FC de trabajo y se multiplicará por 100 para obtener el porcentaje.
Clasificación del Índice de costo cardiaco	Es la interpretación cualitativa del resultado del ICCR es un indicador que valora el costo en	Cualitativa / Ordinal	1= Muy ligero (ICCR de 0% a 9%) 2= Ligero	Es una recodificación a partir de la variable ICCR

Variables	Definición operacional	Tipo de variable/ Escala de medición	Valores posibles	Método de recolección.
relativo (ICCR)	latidos por minutos que implica a un individuo, realizar una actividad partiendo desde el reposo (costo cardiaco CC) y teniendo en cuenta la edad.(3)		(ICCR de 10% al 19%) 3= Moderado (ICCR del 20% al 29%) 4= Pesado (ICCR de 30% al 39%) 5= Bastante pesado (ICCR de 40% al 49%) 6= Extremadamente pesado (ICCR de 50% y más)	
Edad	Tiempo cronológico de vida cumplido por el trabajador en el momento de realizar la prueba.	Cuantitativa continua/ Razón	Para género masculino: entre 18 y 62 años.	Bases de datos de estudio anterior
Peso inicial	Resultado de pesar a una persona en la báscula antes de ingresar a laboral	Cuantitativa continua/ Razón	40Kg en adelante	Bases de datos de estudio anterior
Peso final antes y después de la intervención	Resultado de pesar a una persona en la báscula después de terminar la jornada laboral.	Cuantitativa continua/ Razón	40Kg en adelante	Bases de datos de estudio anterior
Frecuencia cardiaca de reposo (FC reposo)	Se refiere a las pulsaciones que una persona tiene por minuto en estado de reposo	Cuantitativa discreta/ razón	60 bpm en adelante	Bases de datos de estudio anterior
Frecuencia cardiaca promedio del trabajo	Se refiere al número de pulsaciones promedio que una persona tiene por minuto durante la actividad laboral.	Cuantitativa discreta/ razón	60 bpm en adelante	Bases de datos de estudio anterior, estudio inicial mediante Instrumento tecnológico

Variables	Definición operacional	Tipo de variable/ Escala de medición	Valores posibles	Método de recolección.
				(Pulsómetro Polar rs800cx)
Tiempo total de extracción del horno	Se refiere al número de minutos que le toma a un trabajador extraer el coque de un horno.	Cuantitativa continua /razón	1 hasta 120 minutos	Bases de datos de estudio anterior
Sudoración	Mide la pérdida de líquidos a través de la sudoración del trabajador durante la jornada laboral	Cuantitativa continua /razón	150 ml/h en adelante	Bases de datos de estudio anterior
Pérdida de líquidos	Mide la pérdida de líquidos a través de sudoración, orina, heces y cálculo de pérdidas insensibles del trabajador durante la jornada laboral	Cuantitativa continua /razón	160 ml/h en adelante	Bases de datos de estudio anterior

5.5. Recolección de Datos

El presente estudio proviene de una fuente de datos secundaria obtenida en una intervención de ergonomía llevada a cabo por la empresa Ergos Health en empresas dedicadas al proceso de transformación de carbón coque. En el estudio inicial la recolección de los datos se realizó de la siguiente manera:

1. La frecuencia cardíaca de reposo (FC reposo) se midió con el trabajador antes de ingresar a la jornada laboral en un espacio cómodo, adecuadamente ventilado, con una temperatura aproximada entre los 16 y 20°C. Posterior a 15 minutos de haber ingresado al espacio se tomó la frecuencia cardíaca (FC) por un 1 minuto y esta variable se tomó como *Frecuencia cardíaca de reposo* (FC reposo).
2. Se realizó una prueba para medir el consumo máximo de oxígeno (VO2max), con la prueba del escalón de Manero (prueba escalonada,

método indirecto), la cual consistió en 3 cargas consecutivas y a partir de ahí se midió la FC obtenida y se estimó el VO₂max.

3. Se tomó el peso inicial de trabajador en ropa interior, temperatura corporal de forma oral, presión arterial en reposo.
4. Se instaló un pulsómetro Polar RS800CX al trabajador el cual midió la FC durante toda la jornada laboral, y con éste método se determina la FC máxima y la FC promedio de la jornada laboral en la actividad de horneo.
5. Se pesaron cada uno de los alimentos y bebidas que ingirieron.
6. Se pesaron las eliminaciones (líquidas y sólidas) que el trabajador realizó durante la jornada laboral.
7. Al finalizar la jornada, se tomó el peso del trabajador. Con base en las diferencias de peso se calculó la pérdida urinaria y la tasa de sudoración contemplando el cálculo de las medidas sensibles de evaporación a través de vía pulmonar.
8. A partir de estos valores se calculó la tasa de sudoración en la jornada laboral

Finalmente, con los datos recolectados se pretende calcular el índice de costo cardiaco relativo (ICCR) y posteriormente calcular el TMA_T.

5.6. Plan de análisis

La empresa Ergos Health S.A.S proporcionó la base de datos de la intervención tecnológica y organizacional incluyendo las mediciones antes y después de la misma en formato de hoja electrónica.

Se creó la una base de datos en el programa estadístico SPSS versión 25 en el cual se realizó el análisis exploratorio y control de calidad de los datos con el fin de minimizar los errores de digitación que pudiera tener la información. El análisis estadístico que se consideró para el presente estudio se desarrolló en las siguientes fases:

Fase 1. Análisis uni-variado

Sé realizó el análisis de las variables por separado. Se aplicó estadísticos descriptivos, tablas de distribución de frecuencia para las variables cualitativas, se calculó los promedios y desviación estándar para las variables cuantitativas que presentaron una distribución normal, y mediana y rango intercuartilico para las que presentaron dicha distribución. Finalmente se realizó la interpretación de la variable ICCR y se calculó la variable TMAP.

Fase 2. Análisis bi-variado

Se realizó la comparación de las variables fisiológicas, el ICCR y TMAP antes y después de la intervención mediante promedios y medianas utilizando las pruebas de T-student pareada y Wilcoxon con el fin de determinar cambios significativos antes y después de la intervención.

Fase 3. Análisis multivariado

Mediante un modelo de regresión lineal múltiple, se evaluó la relación entre las variables independientes y la variable ICCR.

6. CONSIDERACIONES ÉTICAS

Acorde con las disposiciones sobre normas éticas internacionales para las investigaciones biomédicas con sujetos humanos publicadas en 1996 por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización Panamericana de la Salud (OPS) respaldadas en la declaración de Helsinki y a las Normas Científicas, Técnicas y Administrativas para la Investigación en Salud establecidas en la Resolución No.008430 de 1993 del Ministerio de Salud de Colombia, la investigación biomédica debe realizarse de conformidad con los principios de respeto por las personas, beneficencia y justicia, especialmente en casos de ensayos clínicos.

La presente investigación se considera con riesgo mínimo según la resolución 8430 de 1993, debido al riesgo de confidencialidad de los participantes, sin embargo, la base de datos fue proporcionada con códigos reemplazando los datos de identificación de los participantes. Éste código, permitió emparejar las dos mediciones en los tiempos t1 y t2. La información de la base de datos se entregó en formato Excel y es guardada por la investigadora principal en el computador personal. Una vez la base de datos fue entregada por la empresa se guardó con contraseña con caracteres alfanuméricos. Se hará uso de la base de datos hasta que el trabajo de investigación sea aprobado por los jurados y finalmente será eliminada del computador de la investigadora principal. El presente proyecto tiene en cuenta las pautas éticas de la declaración de Helsinki y CIOMS, al igual que fue presentado para su aprobación ante el comité de ética de la Universidad del Valle.

El estudio cuenta con la autorización de la empresa ERGOS HEALTH, quienes autorizaron el acceso a la información.

7. RESULTADOS

Características sociodemográficas

La empresa objeto de estudio es catalogada como una gran empresa ya que cuenta con más de 250 trabajadores. Se encuentra ubicada en el Altiplano Cundiboyacense, pertenece al sector formal de la economía y al sector de producción primario y secundario, cuya actividad económica es la extracción, obtención de carbón y posterior transformación del carbón mineral en carbón coque.

Los trabajadores del proceso de horneo en total son (N=300) de los cuales aceptaron y cumplían con los criterios de inclusión el 20,3% (n=61). El 100% de la población son hombres con un promedio de edad de 32,15 años (DE=5,486), donde el 78,7% de los horneros se encuentran en la etapa del ciclo vital de la Adultez de acuerdo con la clasificación propuesta por el Ministerio de Salud y la Protección Social de Colombia(41).

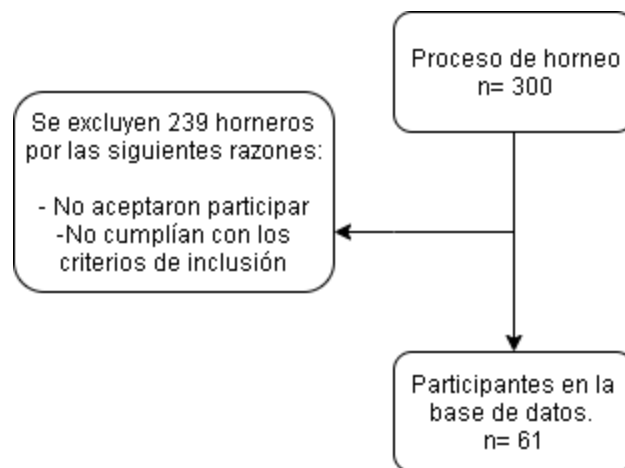


Ilustración 7. Flujograma de población trabajadora participante del estudio

Objetivo1. Comportamiento de variables fisiológicas de los horneros

Antes de realizar la intervención el grupo de horneros presentó una mediana del peso al final de la jornada de 65000 gramos, un tiempo de extracción del horno de 90 minutos, FC promedio de 120 lpm, un consumo energético del trabajo de 8,2Kcal, un ICCR de 51,1%, una pérdida de peso al final de la jornada de 1500gr y una pérdida de sudor de 3500ml/h y posterior a la intervención se registró un cambio en las medianas de las variables donde se encuentra que el peso al final de la jornada aumentó a 6530gr, el tiempo de extracción del horno disminuyó a 71 minutos, la FC promedio disminuyó a 90 lpm, el consumo energético del trabajo disminuyó a 4,6Kcal, el ICCR disminuyó a 28,5. La pérdida de peso al final de la jornada disminuyó a 400gr y la pérdida de sudor disminuyó a 2520ml/h.

Para el análisis comparativo de antes y después de la intervención y considerado un nivel de significancia $\alpha=0.05$, mediante la prueba Wilcoxon se encuentra que las variables peso final, tiempo de extracción del horno, frecuencia cardiaca promedio, Consumo energético del trabajo (Kcal), ICCR, pérdida de peso diario y sudoración tuvieron cambios estadísticamente significativos, lo cual confirma la efectividad de la intervención realizada.

Tabla 7. Comportamiento de las variables fisiológicas antes y después de la intervención

<i>Variables</i>		<i>Antes</i>	<i>Después</i>	<i>cambio</i>	<i>P-valor</i>	<i>Prueba</i>
Peso final (gramos)	Mediana	65000,00	65300,00	Aumentó	0,000	Wilcoxon
	RIC	59759,00 - 67950,00	61610,00 - 68900,00			
Tiempo de extracción del horno (minutos)	Mediana	90,00	71,00	Disminuyó	0,000	Wilcoxon
	RIC	86,0 - 93,5	70,00 - 75,00			
Fc. Promedio (latidos por minuto)	Mediana	120,00	90,00	Disminuyó	0,000	Wilcoxon
	RIC	116,00-126,00	85,00 - 101,00			
Consumo energético de trabajo (Kcal)	Mediana	8,2	4,6	Disminuyó	0,000	Wilcoxon
	RIC	7,1583 -9,2	4,0 - 5,3			

<i>Variables</i>		<i>Antes</i>	<i>Después</i>	<i>cambio</i>	<i>P-valor</i>	<i>Prueba</i>
ICCR	Mediana	51,1628%	28,5714%	Disminuyó	0,000	Wilcoxon
	RIC	46,4283%- 54,1612%	24,8113% - 32,4140%			
Pérdida de peso diario (gramos)	Mediana	-1500,00	-400,00	Disminuyó	0,000	Wilcoxon
	RIC	(-1800 -925)	(-850,00 - 0,00)			
Sudoración (mililitros)	Mediana	3500,00	2520,00	Disminuyó	0,000	Wilcoxon
	RIC	2852,50 - 3875,00	2100,00 - 2980,00			

Con relación al ICCR, se calcula esta variable para cada hornero antes y después de la intervención mediante la fórmula:

$$\text{ICCR} = \frac{\text{FC del trabajo} - \text{FC de reposo}}{\text{FCmaxt} - \text{FC de reposo}} \times 100$$

Posteriormente, teniendo en cuenta la mediana de la muestra se puede clasificar el trabajo realizado antes y después de la intervención de acuerdo con los criterios de Chamoux y Frimat(42) en la cual se puede identificar que el trabajo realizado por los horneros pasó de ser “Extremadamente pesado” (ICCR 51,16%) a “Moderado” (ICCR 28,57%).

Tabla 8. Clasificación del trabajo en función del ICCR

Clasificación del trabajo	Valor en % del ICCR
Muy ligero	0% a 9%
Ligero	10% al 19%
Moderado	20 al 29%
Pesado	30% al 39%
Bastante pesado	40% al 49%
Extremadamente pesado	50% y más

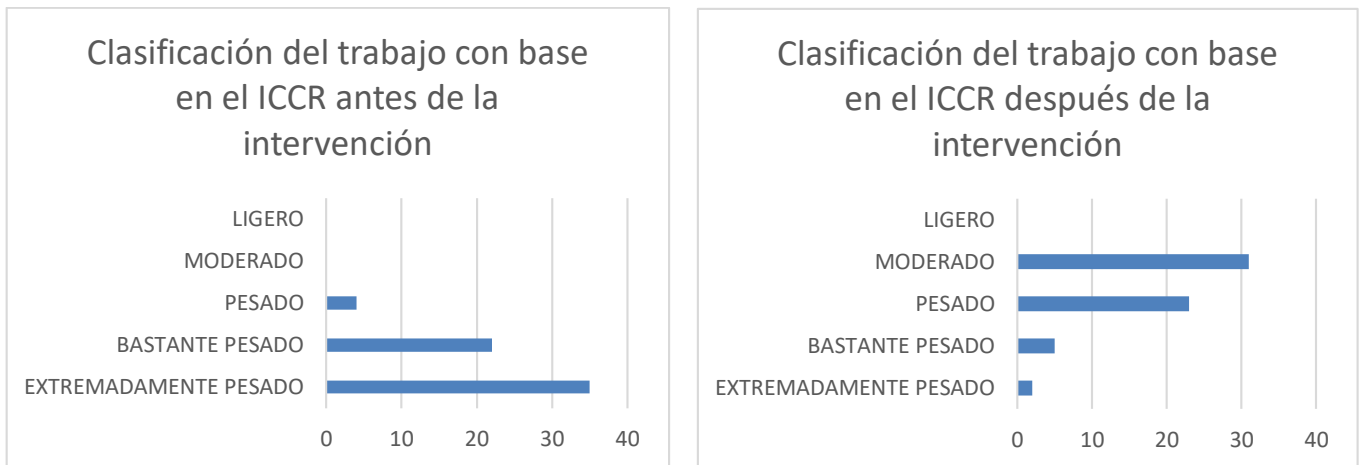


Ilustración 8. Gráfico de barras de la clasificación del trabajo con base en el ICCR antes y después de la intervención

Objetivo 2. Tiempo máximo de trabajo aceptable de trabajo (TMAT) para estimar las variaciones fisiológicas ocasionadas por la jornada laboral

De igual forma, se realizó el cálculo de la variable TMAT para cada hornero antes y después de la intervención mediante la fórmula:

$$MAWT = 26.12 \times e^{-4.81 \times RHR}$$

Posteriormente, teniendo en cuenta la formulación de la hipótesis como se muestra a continuación:

- Hipótesis nula: la media de la diferencia es igual a 0
- Hipótesis alterna: la media de la diferencia es diferente de 0

Se aplica la prueba T-Student para muestras pareadas sobre esta variable y se encuentra que la hipótesis nula indica que la diferencia de media en los tiempos máximos aceptables de trabajo (TMAT) antes y después de la intervención tecnológica y organizacional es 0. Puesto que el valor de p es 0.0000, que es menor que el nivel de significancia de 0.05, la decisión es rechazar la hipótesis nula y coincidir con que hay una diferencia en los tiempos máximos aceptables de trabajo

(TMAT) antes y después de la intervención tecnológica y organizacional. En la tabla 9 se puede evidenciar que el TMAT tuvo un incremento de 4,8 horas.

Tabla 9. Comportamiento del TMAT antes y después de la intervención

<i>Variable</i>		<i>Antes</i>	<i>Después</i>	<i>cambio</i>	<i>P-valor</i>	<i>Prueba</i>
TMAT (horas)	promedio	3,5024	8,3507	Aumentó	0,000	Prueba T
	DS	1,01029	2,13212			

Objetivo 3. Cambio inducido por la intervención tecnológica y organizacional sobre las variables fisiológicas de los horneros.

Como se puede evidenciar en la ilustración 9, la frecuencia cardiaca promedio disminuyó después de la intervención ya que la caja se encuentra más desplazada hacia abajo, sin embargo, después de la intervención se presenta mayor variación de la frecuencia cardiaca en los horneros, a pesar de esto, la frecuencia cardiaca para el 50% de la población se mantiene por debajo de 101 lpm. Hay presencia de datos extremos antes y después de la intervención, en la caja del momento “antes” se presentan dos valores extremos superiores para casos de horneros con mayor edad (40 y 41 años) y dos valores extremos inferiores para horneros con menor edad (24 y 25 años). En la caja del momento “después” se observa un valor atípico con respecto al grupo para un hornero de 34 años de edad quien presenta un valor de frecuencia cardiaca superior al resto.

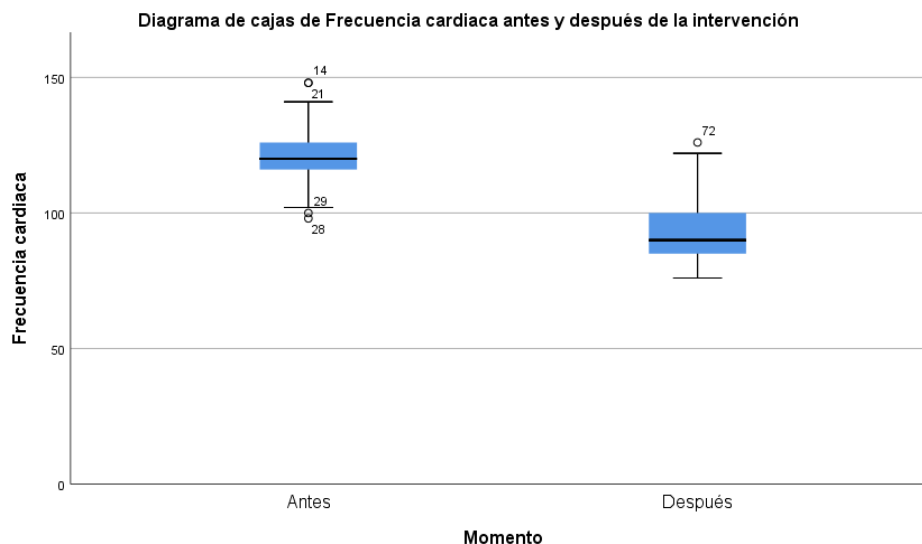


Ilustración 9. Diagrama de cajas de frecuencia cardiaca antes y después de la intervención

Con relación al consumo energético del trabajo en la ilustración 10, se puede observar una disminución posterior a la intervención, donde se logra identificar que en la caja del momento “después” hay menos variación de los datos, sin embargo, al realizar una comparación se encuentra que hay más datos extremos posterior a la intervención donde nuevamente se ubica el trabajador de 34 años con un consumo energético mayor al resto.

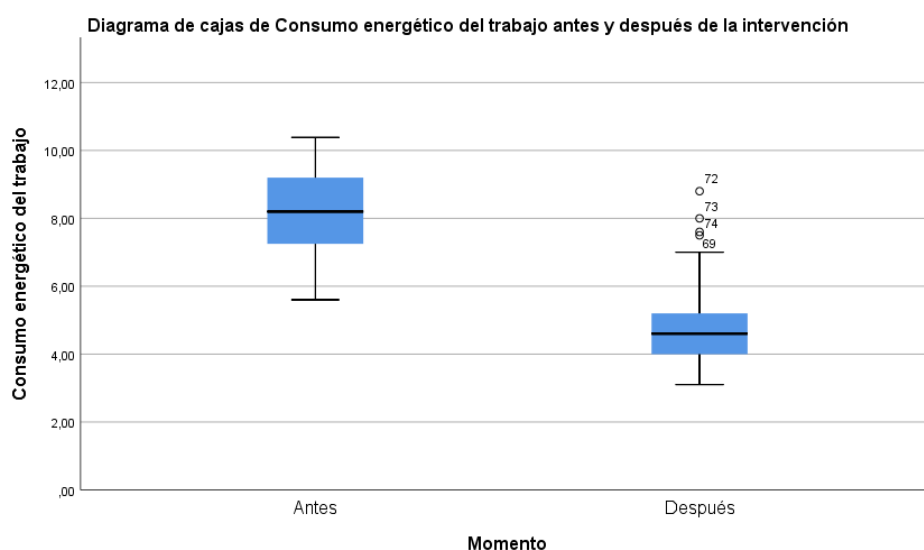


Ilustración 10. Diagrama de cajas de consumo energético del trabajo antes y

después de la intervención

En la variable índice de costo cardiaco relativo ICCR en la ilustración 11, se evidencia que en ambos momentos hay presencia de datos extremos atípicos. Sin embargo, se logra evidenciar el cambio posterior a la intervención ya que la caja en el momento “después” se encuentra más desplazada hacia abajo, con una mediana de 28,57% y con menor variación en los datos. El 50% de los horneros se encuentran clasificados en un tipo de trabajo “moderado” de acuerdo a la interpretación del ICCR.

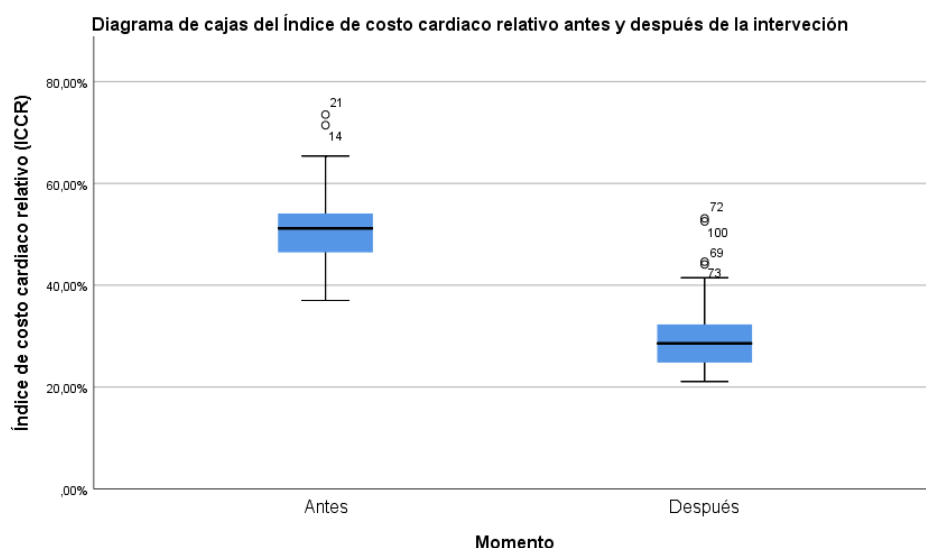


Ilustración 11. Diagrama de cajas ICCR antes y después de la intervención

En la ilustración 12 sobre la pérdida de peso al final de la jornada antes y después de la intervención, se identifica que posterior a la intervención la pérdida de peso fue menor para el 50% de los horneros quienes perdieron entre 0 y 850 gramos durante la jornada laboral, identificando solo un caso extremo quien perdió 2400 gramos y para las variables anteriores, también tuvo un ICCR y un consumo energético atípico.

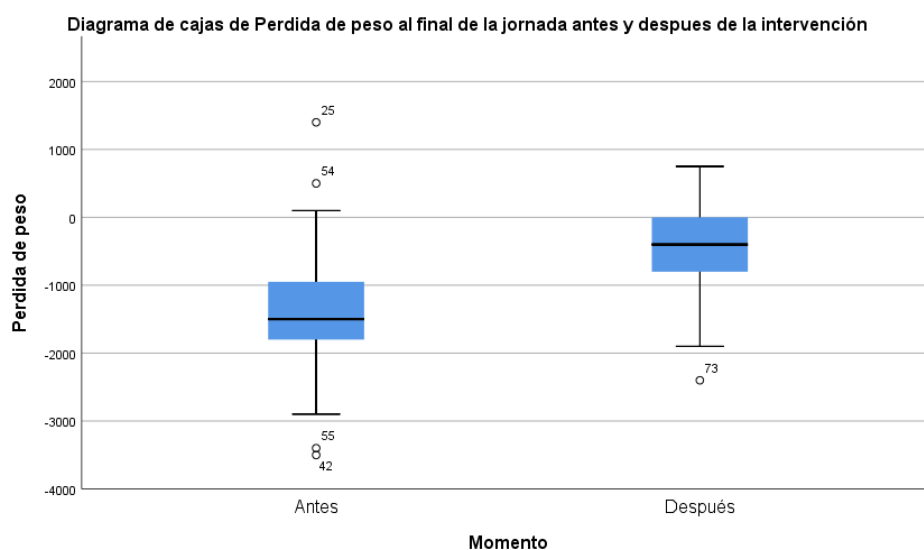


Ilustración 12. Diagrama de cajas de pérdida de peso antes y después de la intervención

En cuanto a la sudoración se logró disminuir la cantidad de sudor en los horneros al realizar el trabajo durante la jornada como se muestra en la ilustración 13, pasando de 3500 ml a 2520 ml, una diferencia de 980 ml. Adicionalmente, se observa una distribución más simétrica de los datos y menor variación posterior a la intervención.

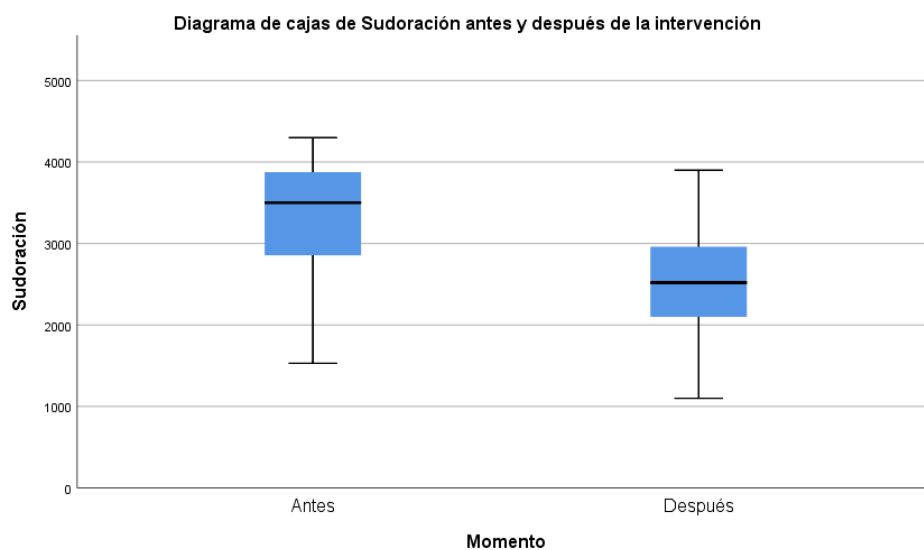


Ilustración 13. Diagrama de cajas de sudoración antes y después de la intervención

En cuanto al tiempo promedio de extracción por horno (ilustración 14), se encuentra que hay un mejor desempeño y productividad después de la intervención puesto que el tiempo requerido para extraer el carbón de un horno disminuyó en 19 minutos. Se encuentra que el rango de tiempo entre los horneros es similar ya que los tiempos no presentaron mucha variación; adicionalmente, se observa una distribución más simétrica de los datos.

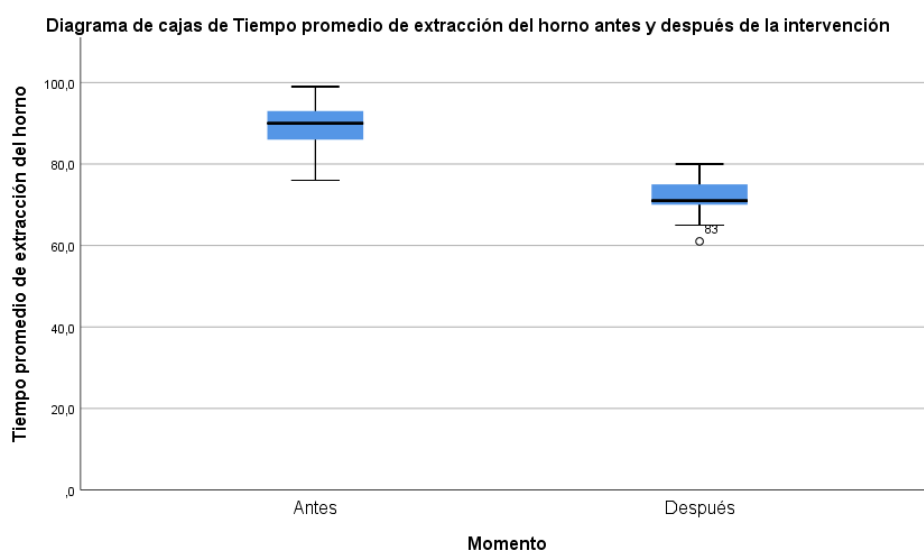


Ilustración 14. Diagrama de cajas de Tiempo promedio de extracción antes y después de la intervención

En cuanto a tiempo máximo aceptable de trabajo TMAT en la ilustración 15, se encuentra que el TMAT aumento después de la intervención ya que la caja se encuentra más desplazada hacia arriba logrando cumplir con aproximadamente el 50% de la población las 8 horas de trabajo estipuladas a nivel nacional. Adicionalmente, se encuentra que hay presencia de valores extremos posterior a la intervención, lo cuales presentan un TMAT muy inferior al resto de trabajadores con tiempos de trabajo aceptable de 3,07 horas y 3,14 horas. Se puede evidenciar que posterior a la intervención hay mayor variación de los tiempos en los horneros que se puede explicar por la adaptación al cambio realizado en el sistema de trabajo.

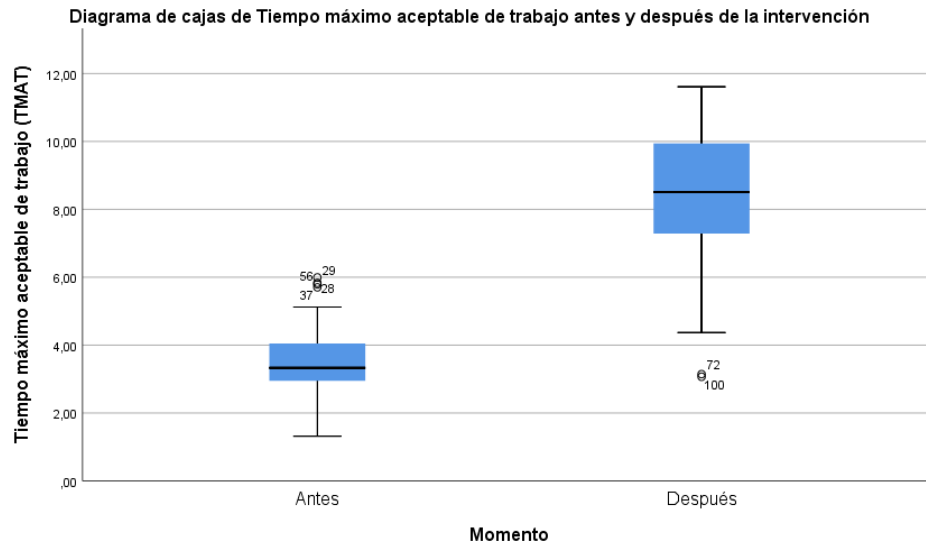


Ilustración 15. Diagrama de cajas de TMAT antes y después de la intervención

Modelo de regresión lineal múltiple

La regresión lineal múltiple nos permite entender la relación funcional entre la variable dependiente y las variables independientes y estudiar cuales pueden ser las causas de la variación de Y.

A continuación, se presentan los resultados de la regresión lineal múltiple que se realizó a las variables independientes y dependientes antes y después de la intervención.

Regresión lineal múltiple antes de la intervención

Tabla 10. Resumen variables dependientes e independientes usadas en el modelo antes de la intervención

Variable dependiente		Variables Independientes	
Y	ICCR	X ₁	Edad del trabajador
		X ₂	VO2 Max
		X ₃	Consumo energético del trabajo antes de la intervención KCAL
		X ₄	Peso al final de la jornada antes de la intervención
		X ₅	Pérdida de peso diario antes de la intervención
		X ₆	Sudoración en la jornada antes de la intervención
		X ₇	Tiempo medio de extracción del horno antes de la intervención

El Valor del coeficiente de determinación o r^2 se define como la proporción de variabilidad de la variable dependiente que es explicada por la regresión.(43) En la ilustración 16 se muestra que todas las observaciones están próximas a la recta de regresión, en la tabla 11 el r^2 calculado es del .759, lo cual indica que aproximadamente el 75% de la variación total en el ICCR es explicada por la regresión. Cuando r^2 es grande, entonces, la regresión ha explicado una gran proporción de la variabilidad total en los valores observados de Y, y se acepta la ecuación de regresión.

Tabla 11. Resumen del modelo de regresión lineal múltiple antes de la intervención

Resumen del modelo ^b					
<i>Modelo</i>	<i>R</i>	<i>R cuadrado</i>	<i>R cuadrado ajustado</i>	<i>Error estándar de la estimación</i>	<i>Durbin-Watson</i>
1	,871 ^a	,759	,727	3,84522%	1,881

a. Predictores: (Constante), Tiempo medio de extracción del horno antes de la intervención, Edad del trabajador, Consumo energético del trabajo antes de la intervención KCAL, Peso al final de la jornada antes de la intervención, Pérdida de peso diario antes de la intervención, Sudoración en la jornada antes de la intervención, VO2 MAX

b. Variable dependiente: ICCR antes de la intervención

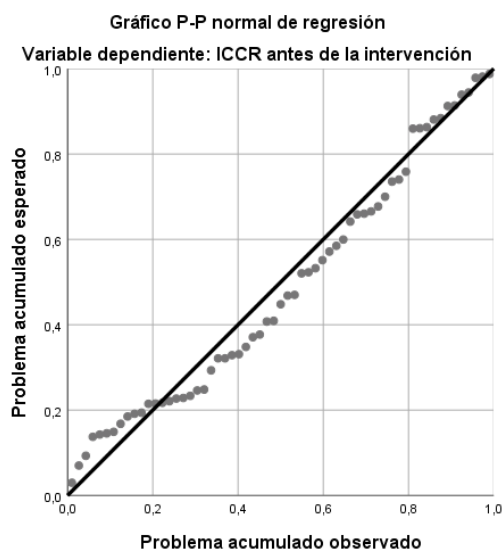


Ilustración 16. Gráfico de regresión de la variable ICCR antes de la intervención

Para determinar si la regresión en conjunto es significativa, se llevó a cabo un análisis de varianza como se presenta en la Tabla 12. En este análisis de varianza se prueba la hipótesis nula de que $\beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_k = 0$, es decir que ninguna variable independiente tiene valor al explicar la variación en los valores de Y.(43) En la tabla 12 se encuentra que este modelo de regresión es estadísticamente significativo con un p-valor de 0,00 que es menor que el nivel de significancia de $\alpha=0.05$ (es decir, $p<0.05$). Por lo tanto, se concluye que hay evidencia de que al menos una variable independiente se encuentra afectando a Y (ICCR antes de la intervención).

Tabla 12. Análisis de varianza para el modelo de regresión lineal múltiple antes de la intervención

ANOVA ^a						
		<i>Suma de</i>				
<i>Modelo</i>		<i>cuadrados</i>	<i>gl</i>	<i>Media cuadrática</i>	<i>F</i>	<i>Sig.</i>
1	Regresión	2470,078	7	352,868	23,865	,000 ^b
	Residuo	783,643	53	14,786		
	Total	3253,721	60			

a. Variable dependiente: ICCR antes de la intervención

b. Predictores: (Constante), Tiempo medio de extracción del horno antes de la intervención, Edad del trabajador, Consumo energético del trabajo antes de la intervención KCAL, Peso al final de la jornada antes de la intervención, Pérdida de peso diario antes de la intervención, Sudoración en la jornada antes de la intervención, VO2 MAX

Al analizar las variables independientes de forma individual como se observa en la tabla 13. Se encuentra que las variables Edad del trabajador y Consumo energético del trabajo (Kcal) son estadísticamente significativas puesto que p-valor es 0.045 y 0.00 respectivamente, que son menores al nivel de significancia de $\alpha=0.05$. Por lo tanto, hay evidencia de que estas variables afectan el ICCR.

Tabla 13. Coeficientes del modelo de regresión lineal múltiple antes de la intervención

Coeficientes ^a							
Modelo	Coeficientes				Estadísticas de co-		
	Coeficientes no estandarizados		estandarizados		linealidad		
	B	Desv. Error	Beta	t	Sig.	Tolerancia	VIF
1 (Constante)	23,770	19,011		1,250	,217		
Edad del trabajador	,296	,144	,221	2,052	,045	,393	2,542
VO2 MAX	-,943	1,162	-,091	-,811	,421	,365	2,743
Consumo energético del trabajo antes de la intervención KCAL	5,229	,426	,848	12,287	,000	,954	1,048
Peso al final de la jornada antes de la intervención	,000	,000	-,086	-1,183	,242	,865	1,156
Pérdida de peso diario antes de la intervención	4,664E-5	,001	,005	,063	,950	,614	1,627
Sudoración en la jornada antes de la intervención	-,001	,001	-,044	-,522	,604	,648	1,543
Tiempo medio de extracción del horno antes de la intervención	-,104	,109	-,069	-,954	,345	,861	1,162

a. Variable dependiente: ICCR antes de la intervención

Finalmente, se despeja la ecuación de regresión lineal múltiple con las variables independientes que arrojaron un p-valor < 0,05. Donde se encuentra que el ICCR aumentará en promedio 0,29% por cada unidad que incremente la edad, así mismo esta variable dependiente aumentará en promedio 5,229% por cada unidad que aumenten las Kcal/h.

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \dots + \beta_k x_{ik} + \varepsilon_i$$

$$\text{ICCR} = 23,770 + 0,29 (\text{Edad del trabajador}) + 5,229 (\text{Kcal})$$

Regresión lineal múltiple después de la intervención

Tabla 14. Resumen variables dependientes e independientes usadas en el modelo después de la intervención

<i>Variable dependiente</i>		<i>Variables Independientes</i>	
Y	ICCR	X ₁	Edad del trabajador
		X ₂	VO2 Max
		X ₃	Consumo energético del trabajo después de la intervención KCAL
		X ₄	Peso al final de la jornada después de la intervención
		X ₅	Pérdida de peso diario después de la intervención
		X ₆	Sudoración en la jornada después de la intervención
		X ₇	Tiempo medio de extracción del horno después de la intervención

Así como se presentaron los resultados para la regresión lineal múltiple antes de la intervención, se muestra que en la ilustración 17 todas las observaciones después de la intervención están próximas a la recta de regresión. En la tabla 15, el r^2 calculado es del .733, lo cual indica que aproximadamente el 73% de la variación total en el ICCR es explicada por la regresión.

Tabla 15. Resumen del modelo de regresión lineal múltiple después de la intervención

Resumen del modelo ^b					
<i>Modelo</i>	<i>R</i>	<i>R cuadrado</i>	<i>R cuadrado ajustado</i>	<i>Error estándar de la estimación</i>	<i>Durbin-Watson</i>
1	,856 ^a	,733	,698	3,967610%	2,401

a. Predictores: (Constante), Consumo energético del trabajo después de la intervención KCAL, Tiempo medio de extracción del horno después de la intervención, Peso al final de la jornada después de la intervención, Pérdida de peso diario después de la intervención, Edad del trabajador, Sudoración en la jornada después de la intervención, VO2 MAX

b. Variable dependiente: ICCR antes de la intervención

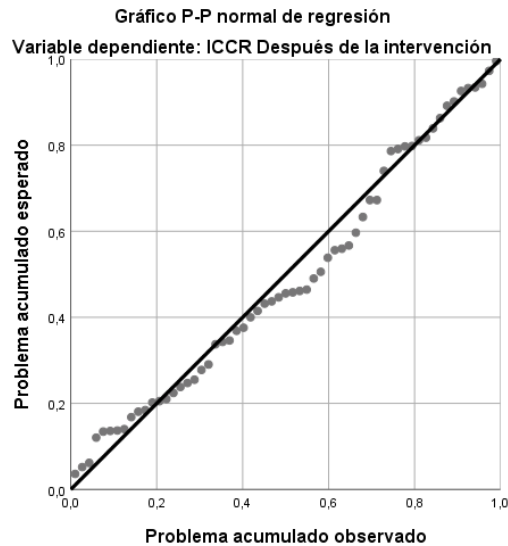


Ilustración 17. Gráfico de regresión de la variable ICCR después de la intervención

Para determinar si la regresión posterior a la intervención en conjunto es significativa, se llevó a cabo un análisis de varianza como se presenta en la Tabla 16. Se encuentra que este modelo de regresión es estadísticamente significativo con un p-valor de 0,00 que es menor que el nivel de significancia de $\alpha=0.05$ (es decir, $p<0.05$). Por lo tanto, se concluye que hay evidencia de que al menos una variable independiente se encuentra afectando a Y (ICCR después de la intervención).

Tabla 16. Análisis de varianza para el modelo de regresión lineal múltiple después de la intervención

ANOVA ^a						
		Suma de				
Modelo		cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	2290,895	7	327,271	20,790	,000 ^b
	Residuo	834,322	53	15,742		
	Total	3125,217	60			

a. Variable dependiente: ICCR Después de la intervención

b. Predictores: (Constante), Consumo energético del trabajo después de la intervención KCAL, Tiempo medio de extracción del horno después de la intervención, Peso al final de la jornada después de la intervención, pérdida de peso diario después de la intervención, Edad del trabajador, Sudoración en la jornada después de la intervención, VO2 MAX

Al analizar las variables independientes de forma individual como se observa en la tabla 17. Se encuentra que la variable Consumo energético del trabajo (Kcal) después de la intervención es estadísticamente significativas puesto que p-valor es 0,00 que es menor al nivel de significancia de $\alpha=0.05$. Por lo tanto, hay evidencia de que esta variable afecta el ICCR.

Tabla 17. Coeficientes del modelo de regresión lineal múltiple después de la intervención

Modelo	Coeficientes ^a						
	Coeficientes no estandarizados			Coeficientes estandarizados		Estadísticas de co-linealidad	
	B	Desv. Error		Beta	t	Sig.	Tolerancia VIF
1 (Constante)	-7,046	18,698			-,377	,708	
Edad del trabajador	,277	,143		,210	1,938	,058	2,341
VO2 MAX	2,849	1,217		,279	2,341	,023	2,825
Consumo energético del trabajo después de la intervención KCAL	5,547	,542		,947	10,232	,000	1,702
Peso al final de la jornada después de la intervención	-1,272E-5	,000		-,007	-,097	,923	1,144
Pérdida de peso diario después de la intervención	,000	,001		,034	,409	,684	1,351
Tiempo medio de extracción del horno después de la intervención	-,128	,154		-,060	-,833	,409	1,025
Sudoración en la jornada después de la intervención	-,001	,001		-,076	-,829	,411	1,667

a. Variable dependiente: ICCR después de la intervención

Se despeja la ecuación de regresión lineal múltiple con la variable independiente Consumo calórico después de la intervención que arrojó un p-valor < 0,05. Se encuentra que el ICCR aumentará en promedio 5,547% por cada unidad que aumenten las Kcal/h.

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \dots + \beta_k x_{ik} + \varepsilon_i$$

$$\text{ICCR} = -7,046 + 5,547 (\text{Kcal})$$

Finalmente, al hacer la comparación entre la regresión lineal múltiple antes y después de la intervención se puede observar que se mantiene una alta correlación a través del r^2 de las variables independientes con el ICCR. Así mismo, se evidencia que después de la intervención se logró controlar la influencia de la edad en el ICCR dando como resultado que la variable gasto energético del trabajo es la única variable que aporta al cambio de la variable ICCR.

8. DISCUSIÓN

Al realizar el análisis de la actividad como se muestra en la Tabla 3. Se observa que el trabajo del hornero es un trabajo dinámico que contiene una serie de requerimientos biomecánicos y fisiológicos los cuales demandan movimientos repetitivos con miembros superiores y tronco, manipulación y transporte de cargas, esfuerzo físico, desplazamientos continuos y discontinuos y agarres con requerimientos de fuerza prensil. La intervención tecnológica se llevó a cabo en la tarea de trinchado implementando una banda transportadora donde el trabajador realizaba todos estos movimientos descritos; esta tarea ocupaba la mayor parte del tiempo de la extracción del carbón del horno el cual tenía una mediana de duración de 90 minutos (RIC= 86,0 - 93,5) y posterior a la intervención se logró evidenciar un mayor desempeño en el tiempo de extracción del carbón ya que se logra disminuir en 19 minutos el tiempo de extracción para un total de extracción de 71 minutos (RIC=70,00 - 75,00). De igual forma, el TMAT tuvo un cambio significativo posterior a la intervención, incrementando el tiempo en 4.8 horas para un promedio de TMAT total en los horneros de 8,3 horas (DE=2,13) posterior a la intervención. En los estudios realizados por Kim et al y Wu HC, Wang MJ(16,18) también demuestran la utilidad del TMAT al evaluar la carga física en trabajadores sometidos a labores de alta intensidad donde finalmente logran proponer alternativas de cambio y generar recomendaciones para promover el bienestar de las personas. En estos estudios se encuentra que los trabajadores presentan un TMAT muy inferior al determinado por la jornada laboral (generalmente 8 horas laborales), lo que se encuentra incrementando la fatiga muscular y por lo tanto disminuyendo la posibilidad de recuperación generando un desgaste físico que finalmente puede conllevar a lesiones o enfermedades en el sistema musculoesquelético y cardiovascular.

La intervención organizacional por su parte, consistió en realizar cambios en la distribución del trabajo entre los horneros. Por lo tanto, toda la actividad de horneado la debían ejecutar entre dos trabajadores donde se alternaban cada 15 minutos actividades de baja carga y alta carga como se muestra en la Ilustración 6. Esta

propuesta de cambio en el régimen de trabajo como la presenta Konz(33) permitió reducir la fatiga dado que se involucran actividades diferentes que permiten descansar las partes del cuerpo fatigadas. Así mismo, en el estudio realizado por Kadoya et al.(17) se muestra que los descansos pequeños repetidos de aproximadamente 2 a 5 minutos ayuda a prevenir la aparición de la fatiga durante la actividad laboral. Al realizar los descansos pequeños pero repetidos, se observó una recuperación temprana de la frecuencia cardíaca.

Este hallazgo es importante ya que la acumulación de fatiga que no se recupera incluso después del descanso posterior a la jornada laboral, conduce a una reducción en la eficiencia del trabajo. Por lo tanto, para no acumular fatiga debido al trabajo, es necesario reducir la carga sobre el cuerpo debido a la excesiva carga de trabajo físico tanto como sea posible.

Es importante tener en cuenta que el trabajo realizado por los horneros es al aire libre y que el índice WBGT sobrepasa el límite permisible (ver tabla 3). En el análisis de los datos no se estudió la variable WBGT y su influencia en el cambio de las variables fisiológicas de los trabajadores como lo estudiaron Afshari, D., & Shirali(15) quienes estimaron la frecuencia cardíaca (FC) Y TMAT en seis unidades operativas de una industria petrolera e indicaron la presencia de un aumento significativo en la FC y la Temperatura corporal central (TCC) debido al estrés térmico y posteriormente estos resultados de TMAT llevaron a la modificación de los regímenes de trabajo-descanso utilizados en estas unidades.

En el presente estudio, las variables fisiológicas se utilizaron para evaluar el efecto de la intervención tecnológica y organizacional en los horneros. Los resultados de la evaluación antes y después de la intervención se presentan en la Tabla 7 y 9. Estos resultados muestran cambios estadísticamente significativos en las variables fisiológicas de frecuencia cardíaca promedio, consumo energético del trabajo (Kcal), ICCR, pérdida de peso diario, peso al final de la jornada, sudoración y TMAT (P-valor <0.000) mediante la prueba de Wilcoxon y T-student pareada. Adicionalmente, se observa que después de la intervención se presenta mayor variación de la

frecuencia cardiaca y del TMAP en los horneros, lo que se puede explicar por el proceso de adaptación de los trabajadores al sistema de trabajo modificado. Se hizo uso de la FC, índice de costo cardiaco relativo (ICCR) y TMAP como estimadores de la carga física de trabajo dado que otros investigadores muestran que estas variables cuentan con potencial utilidad en la práctica de la Salud Ocupacional, Wu HC, Wang MJ, Castillo JA, Cubillos A, Ariza e Idrovo, Velázquez(9,12,13,20).

González(22) menciona que la carga de trabajo es el elemento que dentro de las condiciones de trabajo permite valorar la aparición de daños para la salud como consecuencia de la falta de adecuación y adaptación de los puestos de trabajo a los trabajadores. La carga de trabajo es definida como el “conjunto de requerimientos psico-físicos a los que el trabajador se ve sometido a lo largo de la jornada laboral”(2). Los niveles de trabajo en los que se debe desempeñar un operario humano deben estar claramente dentro de las capacidades físicas de éste, así como dentro de sus capacidades cognitivas. Chamoux y Frimat(42) proponen unos criterios para valorar la carga física de trabajo mediante la FC y el ICCR. Con base en estos criterios, al clasificar el trabajo antes y después de la intervención de acuerdo con el ICCR se encuentra que el trabajo realizado por los horneros pasó de ser Extremadamente pesado a Moderado (ICCR 51,16% RIC= 46,4283%-54,1612%; y 28,57% RIC=24,8113% - 32,4140%. respectivamente). De igual forma, los criterios de Frimat fueron utilizados en el estudio de Zapata B et al(19) para determinar los niveles de exposición a carga física en estibadores según el índice de penosidad mediante la FC. Obtuvieron como resultados niveles altos de exposición, entre penoso y extremadamente duro para carga física según Frimat para los estibadores.

De acuerdo con el modelo de regresión lineal múltiple al analizar los coeficientes para cada una de las variables independientes, se puede evidenciar que el cambio en el ICCR y por ende en el TMAP antes y después de la intervención se ve afectado significativamente por la variable consumo energético del trabajo (P-valor=0,00). Se muestra que se logró controlar la influencia de la edad sobre el ICCR mediante la

intervención tecnológica y organizacional. Por lo tanto, el ser un trabajador con una edad menor o superior a 32,15 años no afectará en el cambio del ICCR y por ende en el TMAP para los horneros. La relación entre el ICCR y consumo energético del trabajo se puede explicar cómo lo menciona Velásquez (3), porque el consumo energético tiene una relación directa y lineal con el consumo de oxígeno y este a su vez con la frecuencia cardíaca.

Estos resultados suscitan el uso del TMAP como una herramienta que permite diagnosticar los sistemas de trabajo en cuanto a carga física de trabajo, por lo tanto, su uso debería ser implementado en las empresas como una herramienta preventiva/correctiva. De acuerdo con Velásquez(3), la FC es un buen indicador indirecto del consumo de oxígeno y por ende de la carga de trabajo físico, su medición es bastante fácil, además requiere de tecnología sencilla.

El exponer este tipo de resultados con base a la FC, ICCR y TMAP se considera importante en el campo de la Salud Ocupacional dado que algunos investigadores han presentado resultados donde la alta demanda física del trabajo puede aumentar el riesgo de enfermedad cardiovascular.(6–8) Por lo tanto, el trasladar este tipo de estudios a las empresas es de gran valor, puesto que permite diseñar, adaptar o modificar los sistemas de trabajo en pro del bienestar del trabajador lo que permitirá prevenir eventos de salud que alteren la funcionalidad y el desempeño de los trabajadores y por ende el funcionamiento y productividad empresarial.

9. CONCLUSIONES

El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de una intervención tecnológica y organizacional sobre la carga física de trabajo en los horneros de una empresa productora de coque. Este estudio evaluó los efectos de la intervención en las variables fisiológicas de los horneros, se calculó el Tiempo Máximo Aceptable de Trabajo (TMAT) que es la cantidad máxima de tiempo durante el cual los trabajadores pueden mantener su carga de trabajo sin fatiga física y se compararon las variables antes y después de la intervención.

Los resultados mostraron que las variables fisiológicas presentaron cambios estadísticamente significativos posteriores a la intervención tecnológica y organizacional para sudoración, peso al final de la jornada, pérdida de peso, consumo energético del trabajo, frecuencia cardíaca promedio. En esta línea, el ICCR y el TMAT se presentan como herramientas de tecnología sencilla y de menor costo para la evaluación de intervenciones y modificaciones en los sistemas de trabajo. Así mismo, El TMAT es una variable fácil de comprender dado que es práctico relacionar la carga física de trabajo mediante horas de exposición que puede tolerar un trabajador durante la jornada laboral. Esto es valioso puesto que el exponer las variables de una manera más natural o cotidiana permitirá a los responsables de los sistemas de gestión seguridad y salud en el trabajo tomar decisiones más rápidas con relación a los cambios a que dé lugar en los sistemas de trabajo y así velar por el bienestar de los trabajadores y mejorar la productividad en general de los sistemas.

Bajo las condiciones de la empresa y los trabajadores del estudio se concluye que el TMAT es un buen estimador de las variaciones fisiológicas ocasionadas por la jornada laboral, dado que se obtuvo una relación lineal fuerte mediante el $r^2 = 75\%$ y 73% de la regresión lineal múltiple antes y después de la intervención respectivamente. Antes de la intervención tecnológica los horneros registraban un TMAT de 3,5 horas que correspondía a un ICCR de 51.16% posterior a la

intervención se logró reducir el costo cardiaco a 28.57% y esto aportó al incremento del TMAT a 8.3.

A su vez en la fase inicial la edad y el gasto energético estaban relacionadas con el ICCR y posterior a la intervención se controló el efecto causado por la edad, manteniéndose como variable relacionada con el ICCR el gasto energético.

Hay algunas limitaciones en el presente estudio. Primero, no se realizó el análisis de los datos en conjunto con las mediciones del índice de WBGT y esto puede generar un cambio en las variables fisiológicas a pesar de que el WBGT se pueda mantener constante en el lugar de trabajo. En segundo lugar, con relación a la aleatorización de la muestra, la participación de los horneros fue voluntaria, por lo tanto, los resultados del presente estudio pueden no generalizarse a otros horneros en las mismas condiciones. Las investigaciones con mayor rigurosidad deben realizarse en el futuro.

Se sugiere recolectar datos actualizados en el sistema de trabajo de los horneros que permitan identificar si los valores en las variables fisiológicas, ICCR y TMAT se mantienen constantes o si han presentado algún cambio, adicionalmente, para identificar si la variación en la FC Y TMAT posterior a la intervención se reguló posterior al proceso de adaptación al nuevo sistema de trabajo.

10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Villar F MF. La Carga Física de Trabajo [Internet]. INSHT; 2011. Disponible en: <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Carga%20fisica%20tme.pdf>
2. Instituto Nacional de Higiene en el Trabajo INSHT. NTP 177: La carga física de trabajo: definición y evaluación [Internet]. INSHT. Disponible en: http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NT P/Ficheros/101a200/ntp_177.pdf
3. Velásquez Valencia JC. Carga física de trabajo. Bases fisiológicas y metodológicas para su estudio. Colombia: Centauro Artes Gráficas; 2006.
4. Ministerio de la Protección Social. Guía de Atención Integral Basada en la Evidencia para Desórdenes Musculoesqueléticos (DME) relacionados con Movimientos Repetitivos de Miembros Superiores (Síndrome de Túnel Carpiano, Epicondilitis y Enfermedad de De Quervain (GATI- DME) [Internet]. Bogotá, Colombia; 2006. Disponible en: <https://www.minsalud.gov.co/Documentos%20y%20Publicaciones/GATISO-DESORDENES%20MUSCULARES%20ESQUELETICOS.pdf>
5. Fasecolda. Fasecolda :: Estadísticas del ramo, indicadores de interés [Internet]. [citado 6 de abril de 2019]. Disponible en: <https://fasecolda.com/index.php/ramos/riesgos-laborales/estadisticas-del-ramo/>
6. Clays E, De Bacquer D, Janssens H, De Clercq B, Casini A, Braeckman L, et al. The association between leisure time physical activity and coronary heart disease among men with different physical work demands: a prospective cohort study. *Eur J Epidemiol*. marzo de 2013;28(3):241-7.
7. Allesøe K, Holtermann A, Aadahl M, Thomsen JF, Hundrup YA, Sjøgaard K. High occupational physical activity and risk of ischaemic heart disease in women: the interplay with physical activity during leisure time. *Eur J Prev Cardiol*. diciembre de 2015;22(12):1601-8.
8. Holtermann A, Marott JL, Gyntelberg F, Sjøgaard K, Mortensen OS, Prescott E, et al. Self-reported occupational physical activity and cardiorespiratory fitness: Importance for cardiovascular disease and all-cause mortality. *Scand J Work Environ Health*. 01 de 2016;42(4):291-8.
9. Ariza LE, Idrovo AJ. Carga Física y Tiempo Máximo de Trabajo Aceptable en Trabajadores de un Supermercado en Cali, Colombia. *Rev Salud pública*. 2005;7(2):145-56.
10. Sánchez García MJ, Forero Henao S. Estudio de las condiciones de trabajo de los conductores de vehículos de carga en Colombia para proponer mejoras en los puestos de trabajo [Internet]. [Bogotá, Colombia]: Pontificia Universidad

Javeriana; 2004 [citado 18 de enero de 2019]. Disponible en: <https://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/ingenieria/tesis164.pdf>

11. Hernández Herrera GN. Efecto de una intervención sobre la carga física durante el proceso de coquización en una empresa de Colombia [Internet]. [Bogotá, Colombia]: Universidad del Rosario; 2014 [citado 18 de enero de 2019]. Disponible en: <http://repository.urosario.edu.co/handle/10336/8668>
12. Wu H-C, Wang M-JJ. Relationship between maximum acceptable work time and physical workload. *Ergonomics*. 2002;45(4):280-9.
13. Velásquez Valencia JC. Tiempo máximo aceptable de trabajo para tareas ejecutadas con miembros superiores e inferiores. *Rev Univ Ind Santander Salud*. 1 de septiembre de 2015;47(3):313-23.
14. Díaz, H., Velásquez, J. C. Determinación de la carga física de trabajo mediante pulsometría en una planta de coque en el municipio de Cucunuba Cundinamarca. (Tesis de especialización Medicina del Trabajo). Univ Rosario Universidad Rosario Bogotá DC Colomb. 2009;
15. Afshari D, Shirali GhA. The effect of heat exposure on physical workload and maximum acceptable work duration (MAWD) in a hot and dry climate. *Urban Clim*. 2019;27:142-8.
16. Kim H, Jang T-W, Kim H-R, Lee S. Evaluation for Fatigue and Accident Risk of Korean Commercial Bus Drivers. *Tohoku J Exp Med*. 2018;246(3):191-7.
17. Kadoya M, Izumi H, Kubota M, Yamashita T, Kumashiro M. Influence of physical workload patterns and breaks on heart rate recovery. *Sangyo Eiseigaku Zasshi*. 2010;52(1):12-20.
18. Wu H-C, Wang M-JJ. Determining the maximum acceptable work duration for high-intensity work. *Eur J Appl Physiol*. 1 de agosto de 2001;85(3):339-44.
19. Zapata B HD, Arango B GL, Estrada LM. Valoración de carga física en estibadores de una cooperativa de trabajo asociado. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*. 2011;29(1):53-64.
20. Castillo JA, Cubillos A. Uso de la frecuencia del pulso en la estimación de la carga de trabajo Evaluación de una actividad de movilización de cargas. *Cienc Salud*. 30 de junio de 2014;12(esp):27-43.
21. Velásquez Valencia JC. ¿Puede la frecuencia cardiaca ser un estimador del consumo de oxígeno para segmentos corporales? *Rev Univ Ind Santander Salud*. 2015;47(2):159-68.
22. González Maestre D. *Ergonomía y psicosociología*. Madrid: Fundación

Confemetal; 2007.

23. Osborne DJ, González Mendiola E, Gutiérrez R. Ergonomía en acción: la adaptación del medio de trabajo al hombre. México, D.F.: Editorial Trillas; 1990.
24. Astrand P-O, Rodahl K, Stromme SB. Manual de fisiología del ejercicio. Barcelona: Paidotribo; 2010.
25. Bazan N. Consumo de oxígeno, definición y características. ISDe Sports Magazine – Revista de Entrenamiento. 2014;6(20):6.
26. Gómez I, Gonzalez L, Ramirez M. Consumo de oxígeno en prueba escalonada de las cadetes de la escuela militar de cadetes general Jose Maria Córdova, corte transversal. 2011.
27. Mondelo PR, Barrau Bonbardo P, Gregoria Torada E. Ergonomía 1 fundamentos. Bogotá (Colombia): Alfaomega, Edicions UPC; 2000.
28. Definition and Domains of Ergonomics | IEA Website [Internet]. [citado 6 de abril de 2019]. Disponible en: <https://www.iea.cc/whats/>
29. International Ergonomics Association. Definition and Domains of Ergonomics [Internet]. International Ergonomics Association. [citado 14 de enero de 2019]. Disponible en: <https://www.iea.cc/whats/>
30. de Looze M, Koningsveld E. Physical ergonomics [Internet]. OSH WIKI. Networking Knowledge. [citado 14 de enero de 2019]. Disponible en: https://oshwiki.eu/wiki/Physical_ergonomics#cite_ref-3
31. Canadian Centre for Occupational Health & Safety. Job Design [Internet]. OSH Answers. 2018. Disponible en: https://www.ccohs.ca/oshanswers/hsprograms/job_design.html
32. Konz S. Work/rest: Part I – Guidelines for the practitioner 1. En: Elsevier Ergonomics Book Series [Internet]. Elsevier; 2000 [citado 14 de enero de 2019]. p. 397-400. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1572347X00800324>
33. Konz S. Work/rest: Part II – The scientific basis (knowledge base) for the guide1. En: Elsevier Ergonomics Book Series [Internet]. Elsevier; 2000 [citado 14 de enero de 2019]. p. 401-27. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1572347X00800336>
34. Konz S. Diseño de sistemas de trabajo. México: Editorial Limusa S.A de C.V.; 2008.
35. Crepeau EB, Cohn ES, Schell BAB, Willard H, Spackman CS. Willard & Spackman, Terapia ocupacional. Buenos Aires, Madrid: Editorial Médica

Panamericana; 2005.

36. Leplat J. La Psicología ergonómica. Vilassar de Mar: Oikos-Tau; 1985.
37. Daniellou F, Duraffourg J, Guérin F, Kerguelen A, Laville A. Comprender el trabajo para transformarlo la práctica de la ergonomía. Capítulo 2. Trabajo, tarea, actividad. Madrid: Modu Laborandi, Fundación Mapfre; 2009. 2896 p.
38. Zuleta ML. ANÁLISIS SECTORIAL: COQUE METALURGICO. :16.
39. Organizacion Internacional Del Trabajo. Repertorio de recomendaciones prácticas sobre seguridad y salud en la industria del hierro y el acero [Internet]. 2005 [citado 18 de mayo de 2019]. Disponible en: https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed_protect/---protrav/---safework/documents/normativeinstrument/wcms_112442.pdf
40. Instituto Nacional de Higiene en el Trabajo INSHT. NTP 322: Valoración del riesgo de estrés térmico: índice WBGT. :6.
41. Ministerio de Salud y Protección Social. Ciclo de Vida [Internet]. Disponible en: <https://www.minsalud.gov.co/proteccionsocial/Paginas/cicloVida.aspx>
42. Maria Dolores Solé Gómez. NTP 295: Valoración de la carga física mediante la monitorización de la frecuencia cardiaca [Internet]. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo INSHT; Disponible en: https://www.insst.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/201a300/ntp_295.pdf
43. Daniel WW, León Hernández F. Bioestadística: base para el análisis de las ciencias de la salud. México: Limusa Wiley; 2014.