



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE POSTGRADO
MAESTRÍA EN HIGIENE Y SALUD
OCUPACIONAL

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

TEMA:

“ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DEL ÍNDICE WBGT (WET BULB GLOBE TEMPERATURE) Y LA CARGA FÍSICA DE TRABAJO SOBRE EL RENDIMIENTO LABORAL EN LOS TRABAJADORES DEL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN DE ALCANTARILLADO Y AGUA POTABLE EN LA ZONA DE TUMBACO – ECUADOR, AGOSTO A SEPTIEMBRE DEL 2024”.

Trabajo de titulación previo a la obtención del título en Magíster en
Higiene y Salud Ocupacional

Línea de investigación: Salud y bienestar integral

AUTOR:

María Fernanda Díaz Carrera

DIRECTOR:

Msc. Fernando Andrés Moreno Ayala

Ibarra – Ecuador 2025



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1723159891		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Díaz Carrera María Fernanda		
DIRECCIÓN:	Ignacio Lecumberry Oe6-205 y Nella Martínez		
EMAIL:	mfdiazc@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	2320650	TELÉFONO MÓVIL:	0995109630

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Análisis de la influencia del índice WBGT (Wet Bulb Globe Temperature) y la carga física de trabajo sobre el rendimiento laboral en los trabajadores del sector de la construcción de alcantarillado y agua potable en la zona de Tumbaco – Ecuador, agosto a septiembre del 2024.
AUTOR (ES):	María Fernanda Díaz Carrera
FECHA: DD/MM/AAAA	16 / 10 / 2025
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input type="checkbox"/> PREGRADO <input checked="" type="checkbox"/> POSGRADO
TITULO POR EL QUE OPTA:	Magíster en Higiene y Salud Ocupacional
ASESOR /DIRECTOR:	Dr. Juan Fernando Jaramillo Mantilla /Msc. Fernando Andrés Moreno Ayala

2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 16 días del mes de octubre de 2025

EL AUTOR:



Firmado electrónicamente por:
**MARIA FERNANDA DIAZ
CARRERA**
Validar únicamente con FirmaEC

.....
María Fernanda Díaz Carrera



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE POSTGRADO
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Yo, Msc. Fernando Andrés Moreno, director del trabajo de grado desarrollado por la Señora estudiante Díaz Carrera María Fernanda, previo a la obtención del título de Magister en, **HIGIENE Y SALUD OCUPACIONAL**.

CERTIFICO

Que el trabajo de grado titulado “Análisis de la influencia del índice WBGT (Wet Bulb Globe Temperature) y la carga física de trabajo sobre el rendimiento laboral en los trabajadores del sector de la construcción de alcantarillado y agua potable en la zona de Tumbaco – Ecuador, agosto a septiembre del 2024”. Ha sido elaborado en su totalidad por Díaz Carrera María Fernanda. Luego de ser revisado, considero que se encuentra concluido y cumple con las exigencias y requisitos académicos de la facultad de posgrado, cerrera en Higiene y Salud Ocupacional, autorizo la presentación y defensa para que pueda ser juzgado por el tribunal correspondiente.

Ibarra, a los 15 días del mes de octubre del 2025

FERNANDO
ANDRES
MORENO AYALA
Firmado digitalmente
por FERNANDO
ANDRES MORENO
AYALA

Msc. Fernando Andrés Moreno
DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

DEDICATORIA

Le dedico este trabajo a mi esposo, por su apoyo incondicional en cada aspecto de mi vida.

A mis padres, por ser mi fortaleza y motivación.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento al Dr. Julio Pambabay, por brindarme las directrices necesarias para el desarrollo de este trabajo de tesis.

A mi tutor el Dr. Fernando Moreno, gracias por su comprensión, paciencia, guía constante y por acompañarme con amabilidad y compromiso en cada etapa del proceso.

A mi asesor el Dr. Juan Jaramillo, por sus valiosos aportes técnicos y su disposición para orientarme.

Al Dr. Mario Leguisamo, por toda la gestión realizada en los trámites administrativos para concluir con éxito el trabajo de tesis.

Al Ing. Daniel Vásquez, por abrirme las puertas para realizar el trabajo de tesis en el proyecto y por brindarme las facilidades para realizar la parte práctica de este.

A mi esposo, quien ha sido mi pilar incondicional durante este largo camino, sin su amor, apoyo y compañía, no habría logrado llegar hasta aquí.

Finalmente agradezco a Dios por que sin el nada es posible.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTOS.....	3
AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE.....	4
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	6
ÍNDICE DE TABLAS.....	9
ÍNDICE DE FIGURAS	11
RESUMEN.....	12
ABSTRACT	14
CAPÍTULO I.....	15
1. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	15
1.1 Contextualización del problema	15
1.2 Identificación de la problemática	15
1.3 Relación con la literatura y el estado del arte.....	16
1.4 Planteamiento de la tesis o argumento central.....	17
1.5 Objetivos.....	17
1.5.1 Objetivo general	17
1.5.2 Objetivos específicos.....	17
1.6 Justificación de la investigación.....	18
CAPÍTULO II.....	20
2. MARCO REFERENCIAL	20
2.1 Marco teórico.....	20
2.1.1 Fundamentación del problema.....	35
2.1.2 Conceptualización de la problemática.....	36

2.1.3 Teorías que respaldan el estudio.....	36
2.1.4 Investigaciones previas y su relación con el problema	37
2.2 Marco legal.....	38
CAPÍTULO III	39
3. MARCO METODOLÓGICO	39
3.1 Enfoque investigación	39
3.2 Tipo de investigación	39
3.3 Diseño de investigación.....	39
3.4 Descripción del área de estudio.....	39
3.4.1 Población y muestra.....	39
3.4.2 Criterios de inclusión.....	39
3.4.3 Criterios de exclusión	40
3.5 Procedimiento.....	40
3.6 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	41
3.7 Técnicas de análisis de datos	42
3.8 Consideraciones éticas.....	43
CAPITULO IV	44
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	44
4.1 Resultados.....	44
4.2 Discusión	71
4.2.1 Discusión de resultados y análisis crítico	71
4.2.2 Fortalezas y limitaciones	74
CAPÍTULO V	75
5. PROPUESTA	75
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	76

Conclusiones.....	76
Recomendaciones	77
REFERENCIAS	79
Anexos	86

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Interpretación de las correlaciones	31
Tabla 2 Caracterización de los participantes	44
Tabla 3 Aplicación del criterio de Chamoux.....	50
Tabla 4 Cálculo de la tasa metabólica	53
Tabla 5 Características de los clústeres	60
Tabla 6 Nivel de riesgo de los participantes.....	67
Tabla 7 Dimensiones de la escala SOFI-SM.....	68
Tabla 8 Cálculo del rendimiento laboral a partir del tiempo de descanso.....	69

TABLA DE ECUACIONES

Ecuación 1 Horas laborales efectivas	22
Ecuación 2 Rendimiento laboral.....	22
Ecuación 3 Cálculo del índice WBGT para interior.....	25
Ecuación 4 Cálculo del índice WBGT para exterior	25
Ecuación 5 Coeficiente de Pearson.....	31
Ecuación 6 Cálculo para PCA	34

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Mediciones para determinar la altura del equipo WBGT	27
Figura 2	Diagrama de cajas	32
Figura 3	Sexo de los participantes.....	45
Figura 4	Rango de edad de los participantes	46
Figura 5	Índice de masa corporal de los participantes	47
Figura 6	Distribución del IMC	47
Figura 7	Tiempo de trabajo	48
Figura 8	Matriz de correlación	49
Figura 9	Porcentaje de tasa metabólica en los participantes	54
Figura 10	WBGT promedio por categoría de frecuencia cardíaca.....	55
Figura 11	Distribución de las edades de los trabajadores según su actividad.....	56
Figura 12	Ritmo Cardíaco por actividad	57
Figura 13	Índice WBGT por actividad.....	58
Figura 14	Agrupamiento de datos en el espacio PCA.....	60
Figura 15	Relación de Varianza	61
Figura 16	Importancia de las características de los componentes de PCA	62
Figura 17	Agrupamiento de datos en los centroides	63
Figura 18	Coordenadas paralelas para clústeres.....	64
Figura 19	Agrupamiento y actividades	65
Figura 20	Diagrama de radar de características de los clústeres	66
Figura 21	Estimación de riesgo laboral según la escala SOFI-SM	68
Figura 22	Matriz de correlación	70

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE POSGRADO

PROGRAMA DE MAESTRÍA EN HIGIENE Y SALUD OCUPACIONAL

ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DEL ÍNDICE WBGT (WET BULB GLOBE TEMPERATURE) Y LA CARGA FÍSICA DE TRABAJO SOBRE EL RENDIMIENTO LABORAL EN LOS TRABAJADORES DEL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN DE ALCANTARILLADO Y AGUA POTABLE EN LA ZONA DE TUMBACO – ECUADOR, AGOSTO A SEPTIEMBRE DEL 2024.

Autor: María Fernanda Díaz Carrera

Director: Dr. Fernando Andrés Moreno

Año: 2025

RESUMEN

Según los datos del (INAMHI, 2024), la parroquia de Tumbaco tiene un clima tropical seco caracterizado por alcanzar temperaturas ambientales medias superiores a los 24°C durante el día. El presente estudio se desarrolló en los meses de agosto y septiembre del 2024, período en el que se registraron dichas condiciones térmicas en la zona. Debido a este entorno climático, los trabajadores de construcción de redes de alcantarillado y agua potable de esta localidad cuyas actividades laborales se desarrollan a cielo abierto tienen un alto riesgo de estrés térmico, el cual puede afectar en su salud y productividad. La investigación tiene un enfoque mixto, utilizando el índice WBGT para medir la severidad del entorno térmico en las horas pico de calor y la frecuencia cardíaca para calcular la carga física de los trabajadores mediante un monitor cardíaco, también se consideró el tiempo de descanso como un indicador del rendimiento laboral. Las herramientas estadísticas aplicadas incluyeron análisis de correlación, análisis de componentes principales (PCA) y agrupamiento por K-Means, para establecer relaciones entre las variables medidas. También se aplicó la escala SOFI –

SM para evaluar la percepción de fatiga por parte de los trabajadores. Los resultados revelaron una correlación negativa entre el índice WBGT y el rendimiento laboral (-0.89), mientras que la relación entre la carga física y el rendimiento fue baja (< 0.01). Se observó que en los días con mayor índice WBGT, los trabajadores incrementaron sus tiempos de descanso, lo que afectó la finalización oportuna de las tareas. Se concluye que el estrés térmico representa un factor crítico para la planificación laboral y debe ser considerado al definir los cronogramas de obra.

Palabras clave: estrés térmico, índice WBGT, frecuencia cardíaca, rendimiento laboral.

ABSTRACT

According to data obtained from the National Institute of Meteorology and Hydrology (INAMHI, 2024), the city of Tumbaco is a tropical semi-arid zone, and it can exceed an average temperature of 24°C in the day light, these conditions were present during the development of the study in August and September of 2024. Conditions for workers exposed to this high heat stress in outdoor activities during the construction of water and sewage systems may have adverse effects on health and productivity. The approach used in this research considers WBGT index to measure heat stress during peak working hours, heart rate to compute the physical workload of the construction workers using a portable chest mounted monitor and time of activity pauses as an indicator of work performance. The measured data was analyzed using correlations, principal components (PCA) and the clustering algorithm K-Means. As a complement for the measured variables the SOFI - SM scale was used for the fatigue evaluation according to workers perception. Results showed an inverse correlation between WBGT index and work performance about -0.89, the results also showed there was no significant correlation between WBGT index or work performance with the physical workload computed with heart rate (< 0.01). In conclusion heat stress represents a critical factor in work planning.

Keywords: Heat stress, WBGT index, heart rate, productivity.

CAPÍTULO I

1. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Contextualización del problema

Según la Organización Internacional del Trabajo (OIT), 2019), los efectos del cambio climático son cada vez más notorios con el paso de los años, se prevé que para 2030 la temperatura global aumente hasta 1.5 °C, lo que tendrá un impacto perjudicial en la salud humana e influirá directamente en los sectores productivos desarrollados a cielo abierto, (Salvendy, 2020).

Cuando la temperatura ambiental sobrepasa los 24°C incrementa el estrés por calor, (OIT, 2019), afectando directamente el equilibrio térmico del cuerpo y poniendo en riesgo la salud de los trabajadores debido a la posible pérdida de líquidos y electrolitos a través de la sudoración, comprometiendo órganos vitales (Koteng, 2023) e influyendo también en el rendimiento físico y cognitivo (Bauer et al., 2022). Según (Han et al., 2024) la productividad en el sector de la construcción puede disminuir en un 0.57% por cada incremento de 1°C.

El sector de Tumbaco en Ecuador es un valle tropical seco cuya temperatura ambiental puede llegar cerca de los 30°C según los reportes del (INAMHI, 2024). Los trabajadores de construcciones a cielo abierto de esta zona, son uno de los grupos más vulnerables a los efectos del estrés térmico, debido a la combinación del esfuerzo físico asociado con su labor, con la exposición prolongada a la radiación solar, a menudo sin acceso a sombra durante toda su jornada de trabajo (al menos de 8 horas).

1.2 Identificación de la problemática

En las obras de construcción de redes de alcantarillado y agua potable, los trabajadores deben realizar sus tareas expuestos directamente al sol durante toda la jornada. Actividades laborales como el de rasanteo y excavación, humedecimiento de suelo, movimiento de tierra, compactación de suelo y pruebas de presurización, no pueden ejecutarse bajo sombra y exigen una alta demanda física, lo cual representa un alto riesgo para la salud cuando las condiciones ambientales superan los 24°C (Organización Internacional del Trabajo (OIT), 2019).

Debido a la figura de contratación, cualquier retraso representa una pérdida económica para el contratista, lo cual involucra jornadas laborales extendidas o acumulación de tareas para los trabajadores, sin que esto implique pagos adicionales. Este tipo de contrato podría implicar presión sobre algunos trabajadores donde deben mantener un rendimiento laboral constante y elevado, sin considerar factores fisiológicos como el estrés térmico o el tiempo requerido para la recuperación entre tareas. En condiciones ambientales críticas.

El presente estudio busca evidenciar cómo las condiciones ambientales combinadas con las exigencias físicas del trabajo influyen en el cumplimiento de las actividades, afectando directamente el rendimiento laboral y, en consecuencia, la productividad del proyecto.

1.3 Relación con la literatura y el estado del arte

Cuando al cuerpo humano se le dificulta disipar el calor recibido del ambiente y el generado debido a un trabajo físico se produce una condición fisiológica denominada estrés térmico la cual ha sido calificada por la Organización Internacional del Trabajo como un riesgo laboral emergente por lo cual recomienda su evaluación en climas calientes. Según (Sabrin et al., 2021), se han propuesto algunos índices para evaluar el estrés térmico, siendo el más recomendado el índice WBGT.

A nivel internacional la norma (International Standard Organization, 2017) propone una metodología para evaluar el riesgo de estrés térmico en trabajadores mediante el monitoreo del índice WBGT y la tasa metabólica. En la misma línea de investigación la (International Standard Organization, 2021) propone una metodología a partir del ritmo cardíaco usado como un indicador indirecto del gasto metabólico. Cuando el ritmo cardíaco aumenta sugiere un mayor esfuerzo fisiológico traducido en una mayor carga metabólica, en este caso el WBGT debería disminuir para evitar niveles críticos de sobrecarga térmica.

Otras normas como la (International Standard Organization, 2021) consideran valores sobre las 120 pulsaciones por minuto (ppm) en un clima caliente in indicador de estrés térmico significativo. Investigaciones recientes como la de (Guo Yueping et al., 2020) evidencian la afectación del estrés térmico a nivel fisiológico y cognitivo en los trabajadores expuestos, este último tiene una relación directa con la disminución del rendimiento laboral con pérdidas laborales de hasta el 27% en los sectores cuyas actividades se desarrollan a cielo abierto.

Los avances tecnológicos de la última década no se han quedado atrás, el autor (Al-Bouwarthan et al., 2020), realizó un estudio sobre unos cascos con sensores para la medición del estrés térmico creados en Cataluña en el 2018, estos cascos permiten arrojar datos en tiempo real relacionados con el estrés térmico con el objetivo de determinar con mayor exactitud los tiempos de descanso requeridos por el trabajador de manera más personalizada y por consiguiente optimizar el rendimiento laboral.

Si bien existe gran cantidad de estudios a nivel internacional relacionados con el análisis del estrés térmico, la carga de trabajo física y el rendimiento laboral en el sector de la construcción, en particular, no se han encontrado investigaciones previas con enfoque en la construcción de redes de alcantarillado y agua potable en la zona de Tumbaco ni que integren los tiempos de descanso dentro de la jornada laboral como indicadores del rendimiento laboral.

1.4 Planteamiento de la tesis o argumento central

Al realizar trabajos a cielo abierto en condiciones de temperatura ambiente de riesgo (sobre 24C) se manifiestan riesgos para la salud y disminuyen las capacidades físicas del trabajador por lo que este tiende a disminuir su productividad por otro lado, el valor del índice WBGT será alto, esto en combinación con actividades laborales físicamente demandantes ocasionan un mayor tiempo de recuperación entre tareas, reduciendo así los tiempos de producción debido a periodos prolongados de descanso no planificado en la jornada laboral.

En el ámbito administrativo, el tipo de contrato para este servicio (contrato por obra) implica que un retraso en el avance del proyecto suponga una afectación en el planillaje y por lo tanto la posibilidad cierta de extensiones adicionales en el tiempo de trabajo y afectación en el pago de las remuneraciones a los trabajadores.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

Analizar la influencia del índice WBGT y la carga física de trabajo sobre el rendimiento laboral en los trabajadores del sector de la construcción de alcantarillado y agua potable en la zona de Tumbaco – Ecuador durante el período de agosto a septiembre del 2024.

1.5.2 Objetivos específicos

- Examinar el riesgo de estrés térmico a partir de la medición del índice WBGT en los trabajadores de la construcción de redes de alcantarillado y agua potable a cielo abierto en Tumbaco; en las actividades de rasanteo y excavación, humedecimiento de suelo, movimiento de tierra, compactación de suelo y pruebas de presurización.
- Estimar la carga física de trabajo en el proceso de construcción de alcantarillado y agua potable en las actividades antes mencionadas mediante el monitoreo de la frecuencia cardíaca en este grupo de trabajadores.
- Relacionar la carga física de trabajo y el estrés térmico con el rendimiento laboral obtenido a partir de los tiempos de descanso de los trabajadores durante su jornada laboral.

1.6 Justificación de la investigación

Debido a la rentabilidad de la mayoría de los proyectos de construcción, la productividad es uno de los temas más discutidos en esta industria y está directamente vinculada al éxito de cada proyecto, además está fuertemente condicionada por el desempeño de la mano de obra, según (Asih et al., 2022). Actualmente el marco legal nacional demanda a las empresas promover un ambiente seguro e impulsar un ambiente de trabajo comprometido con la salud y el bienestar de sus empleados, subrayando la importancia del análisis de riesgos (Decreto Ejecutivo No 255: Reglamento de Seguridad y Salud En El Trabajo, 2024).

En la construcción de redes de alcantarillado y agua potable en el sector de Tumbaco, los trabajadores enfrentan ciertos desafíos en el desempeño de sus labores debido a la combinación de la alta temperatura ambiental durante el día y el esfuerzo físico demandado por cada actividad laboral. La presente investigación fue desarrollada en los meses de agosto y septiembre, período en el cual el (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología - INAMHI, 2024) reportó algunas de las temperaturas más altas del 2024.

Esta investigación cobra relevancia al proponer el tiempo de descanso como indicador del rendimiento laboral, (Brimicombe et al., 2023), lo que permite identificar con mayor precisión el impacto de las condiciones térmicas y la carga de trabajo física sobre el cumplimiento de tareas asignadas, mediante análisis de estas variables se puede generar una

base para fortalecer la gestión preventiva en salud e higiene ocupacional especialmente en proyectos de construcción en sectores con climas tropicales secos como el de Tumbaco.

CAPÍTULO II

2. MARCO REFERENCIAL

2.1 Marco teórico

Riesgos físicos

Son los riesgos producidos debido a la exposición a agentes físicos como temperaturas extremas (frío o calor), ruido, vibraciones, iluminación, vibraciones, radiaciones ionizantes y no ionizantes, y cuyos efectos son nocivos para la salud y seguridad de los trabajadores (Decreto Ejecutivo No 255: Reglamento de Seguridad y Salud En El Trabajo, 2024)

Riesgos ergonómicos

De acuerdo con la normativa legal ecuatoriana se reconoce a los riesgos ergonómicos dentro de la clasificación de riesgos laborales y son ocasionados por un alto esfuerzo físico, movimientos repetitivos o posturas forzadas durante el desempeño de las actividades laborales, provocando como consecuencia accidentes, enfermedades laborales o trastornos músculo esqueléticos.

Los factores de riesgo ergonómicos son las condiciones presentes en el ambiente de trabajo con potencial de ocasionar algún trastorno musculoesquelético a los trabajadores, según (María et al., 2023), entre estos factores de riesgo se encuentran la carga física.

Carga física de trabajo

Cuando una persona se somete a un conjunto de requerimientos físicos para ejecutar las actividades de su jornada laboral y suponiendo un riesgo para su salud, se denomina carga física de trabajo, así lo indica (Chavarría, 2024). Dentro de la carga física se encuentran los esfuerzos físicos, las posturas de trabajo y la manipulación manual de cargas. Los esfuerzos físicos a su vez pueden ser dinámicos o estáticos, se consideran estáticos cuando existe un esfuerzo sostenido en donde los músculos se mantienen contraídos durante cierto tiempo, ocasionando fatiga y problemas musculoesqueléticos a largo plazo. Los esfuerzos dinámicos son aquellos en los cuales existe una sucesión de contracciones y relajamiento de los músculos activos produciendo una sucesión periódica de tensiones y relajamiento de los músculos activos, siendo estos de corta duración, las consecuencias de este tipo de esfuerzo se determinan por la irrigación sanguínea de los músculos, la cual es fundamental porque la sangre aporta al músculo la energía requerida.

Estimación de la carga física

La carga física de una tarea puede medirse a través del consumo energético, determinado por la tasa metabólica. Este parámetro puede estimarse mediante el consumo de oxígeno del trabajador durante la realización de la tarea. Sin embargo, debido a la complejidad para obtener estos datos, una alternativa viable es medir la frecuencia cardíaca en intervalos, con el uso de un pulsómetro. Si la frecuencia no es muy alta, es decir no excede las 170 pulsaciones por minuto, va a mantener una relación lineal con el consumo de oxígeno, así lo indica el trabajo de (Ulloa, 2023).

Fatiga Laboral

La fatiga laboral hace referencia a la disminución de las capacidades del organismo de un individuo frente a la exigencia física o psicológica de las actividades laborales, así lo indica (Giovanny Brito-Aguilar & Bolívar Cabezas-Ramos, 2021), en su trabajo mencionan la presencia de manera subjetiva de la fatiga en cada persona la cual afecta de manera significativa el rendimiento y salud del trabajador, sin embargo, es transitorio y reversible siempre y cuando se reduzca la magnitud de la carga de trabajo.

Rendimiento laboral

Desde el punto de vista del científico Frederick Taylor, refiriéndose a su investigación sobre la interacción trabajo y trabajador, una jornada de trabajo ideal es aquella en donde el individuo puede realizar sus tareas y actividades sin afectar su salud. Sin embargo, las repercusiones del trabajo en la salud colectiva responden a un mecanismo el cual involucra los conceptos carga laboral y proceso de desgaste, siendo el primero está constituido por la interacción de los elementos del flojo de trabajo involucrando el cuerpo del trabajador, en consecuencia, los cambios biológicos y psíquicos aparecen después de 45 minutos aproximadamente, manifestándose en forma de desgaste. Este proceso está plasmado en la alteración negativa en los cambios biológicos y psíquicos del trabajador, derivados de la interacción dinámica de las cargas laborales. Para una mejor comprensión se ha dividido a la cara de trabajo en dos partes, carga física y carga mental, cada una de estas con instrumentos específicos para su evaluación.

El rendimiento laboral está relacionado con el desempeño de los trabajadores en su labor asignada, este indica si una persona realiza su trabajo de manera óptima. Depende de la

capacitación y habilidad natural de cada individuo, sin embargo, puede verse afectado por diversos factores externos como el horario de trabajo, niveles de estrés, carga física y el entorno laboral, como lo sugiere (Giovanny Brito-Aguilar & Bolívar Cabezas-Ramos, 2021).

Cuando las condiciones de trabajo son inadecuadas los niveles de estrés tienden a subir ocasionando efectos adversos en el desempeño laboral y vulnerando la estructura de seguridad y salud ocupacional. Según (Ahmadi et al., 2022), el rendimiento laboral en el sector de la construcción se ve reflejado en la entrega de proyectos a tiempo y bajas tasas de accidentabilidad y ausentismo. El desempeño laboral se puede valorar a través de múltiples pruebas de aptitud, personalidad y cuestionarios, sin embargo, se vuelve imprescindible tener en cuenta también los factores externos que pueden intervenir por esta razón es importante la evaluación constante de riesgos a los cuales se expone el trabajador y buscar indicadores o tendencias comunes en las fortalezas y debilidades del grupo de trabajo.

En el contexto de trabajos de construcción una aproximación funcional y aplicable para conocer el rendimiento laboral depende de las horas efectivamente laboradas considerando los tiempos esperados y reales de descanso. Con esta estimación es posible valorar de manera cuantitativa el tiempo fue utilizado en actividades laborales y el dedicado a descansos o pausas, ya sean estos planificados o esporádicas. De esta manera se puede utilizar las siguientes ecuaciones:

Ecuación 1

Horas laborales efectivas

$$\text{Horas laborales efectivas} = \text{jornada total} - \text{descanso obtenido}$$

Ecuación 2

Rendimiento laboral

$$\% \text{ Rendimiento laboral} = \frac{(\text{jornada total} - \text{descanso obtenido})}{(\text{jornada total} - \text{descanso esperado})} * 100$$

Balance energético y termorregulación

Cuando existe un desequilibrio en el intercambio de calor entre el cuerpo y la atmósfera afectando la capacidad de mantener una temperatura corporal entre los 36.7° C y 37.5°C se

manifiestan enfermedades relacionadas con el estrés térmico. Como respuesta fisiológica del cuerpo aparece la sudoración e incrementa el flujo sanguíneo, ambas disminuyen el calor corporal mediante la evaporación y convección respectivamente.

Cuando la temperatura ambiente supera la corporal la conservación del equilibrio dependerá únicamente de la pérdida de calor por evaporación y el nivel de enfriamiento va a depender de otros factores como el gradiente del vapor de agua, movimiento del aire, temperatura del aire y la cantidad de radiación (Lewandowski, 2022).

Debido a estas interacciones los expertos han propuesto un límite superior de temperatura de bulbo húmedo teórico 35°C, sobre este límite el cuerpo humano es incapaz de mantener un gradiente que pueda disipar el calor mediante la sudoración, así también en temperaturas entre 25 y 28 en ambientes cálidos secos y entre 30 y 31 en ambientes cálidos húmedos en personas con tasas metabólicas modestas el estrés térmico se vuelve incompensable

Estrés térmico

El estrés térmico según la (Nacional de Seguridad Higiene en el Trabajo - INSHT, n.d.) se refiere a la carga térmica neta a la cual se exponen los trabajadores, resultante de la combinación de los factores ambientales, esfuerzo físico y ropa de trabajo. Cuando una persona se expone a un ambiente caluroso y el calor interno generado por el cuerpo no puede ser expedido al ambiente este se va a acumular en el organismo, incrementando esta temperatura interna y ocasionando daños a corto y largo plazo.

Según (Srinivasan et al., 2020), entre los factores ambientales condicionantes de la presencia del estrés térmico se encuentran la temperatura del aire, humedad relativa, velocidad del aire, radiación, es imprescindible la medición de estos factores para conocer las demandas tanto internas como externas que permiten la termorregulación del cuerpo humano.

(Tijani et al., 2021) menciona la existencia de algunos factores individuales relacionados con la manifestación del estrés térmico, entre los más destacados se encuentran: la edad, cantidad de hidratación, género, presencia de enfermedades catastróficas y aclimatación.

Aclimatación

Un organismo tiene la capacidad de adaptarse ante la presencia de nuevas condiciones ambientales, este proceso de adaptación puede llevar de siete a catorce días, en términos

laborables es recomendable la exposición ante una temperatura ambiental alta de manera progresiva, así el primer día de trabajo la jornada puede ejecutarse solo por medio tiempo, e ir aumentando un 10% hasta cumplir con la jornada completa como lo indica la (Organización Internacional del Trabajo (OIT), 2019). Una correcta aclimatación puede mejorar el confort térmico y evitar la aparición de sobrecarga térmica.

Sobrecarga térmica

(Gonzales & López, 2024), describe a la sobrecarga térmica como las consecuencias a nivel fisiológico en una persona expuesta a estrés térmico y corresponde al coste necesario para mantener en equilibrio la temperatura interna del cuerpo humano, sus parámetros condicionantes son la temperatura corporal, frecuencia cardíaca y la tasa de sudoración. Al momento de realizar una evaluación por estrés térmico se debe tomar en cuenta las características propias de cada individuo para predecir una sobrecarga térmica, así como su posible fluctuación temporal.

Estrés térmico y su relación con la carga física

El estrés térmico incrementa con la actividad física a causa del calor endógeno generado por las contracciones musculares esqueléticas, este se transfiere desde el núcleo del cuerpo hacia la piel. Al combinarse la producción de calor interna con las tasas de pérdida o ganancia neta de calor al ambiente se puede determinar el grado de almacenamiento interno de calor corporal. Por consiguiente, las cargas de trabajo altas en condiciones de calor y humedad tienen la capacidad de perturbar el equilibrio de la transferencia de calor sobrepasando los límites de termorregulación de los individuos para mantener una temperatura normal y ocasionando daños irreversibles (Lewandowski, 2022).

Índice de estrés térmico WBGT

El (Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST), 2023), menciona la existencia de diversas maneras de evaluar el estrés térmico entre ellas se encuentran la Temperatura de bulbo húmedo (WBGT) y el Índice climático termal universal (PMV), este último considera el nivel de confort o desconfort en el lugar de trabajo, sin embargo, el índice WBGT es el estándar internacional más aceptado y usado en el ámbito laboral y tiene en cuenta a la temperatura de globo y bulbo seco, la primera refleja la radiación solar mientras

que la segunda representa la temperatura de aire. Su cálculo puede variar dependiendo del entorno, si es interior o exterior. Cuyas fórmulas son las siguientes respectivamente:

Ecuación 3

Cálculo del índice WBGT para interior

$$WBGT = 0.7t_{hn} + 0.3t_g$$

Ecuación 4

Cálculo del índice WBGT para exterior

$$WBGT = 0.7t_{hn} + 0.2t_g + 0.1t_a$$

Donde,

t_{hn} es la temperatura húmeda

t_g es la temperatura de globo

t_a es la temperatura seca del aire

Síntomas del estrés térmico

Las enfermedades resultantes por la exposición prolongada a altas temperaturas ambientales se conocen como enfermedades por calor o por estrés térmico, estas pueden ser leves, medias y graves, y pueden cambiar de un estado a otro de manera súbita, así lo menciona (Nizam et al., 2021). La Clasificación Internacional de Enfermedades (Organización Mundial de la Salud, 2019), incluye entre las afecciones ocasionadas por el estrés térmico al edema por calor, fatiga, calambres localizados, síncope o desmayo, agotamiento por calor e insolación, cuyos síntomas pueden manifestarse de manera progresiva, desde calambres musculares, exceso de sudoración, necesidad intensa de hidratarse, fatiga, taquicardia, presión arterial baja, escalofríos, sensación de vómito, migrañas, disminución abrupta de sudoración, confusión, calambres generalizados hasta llegar a la pérdida de conciencia.

La insolación es una forma grave de manifestar el golpe de calor, se considera una emergencia médica la cual en ciertos casos puede conducir a una enfermedad por estrés

térmico, esta se presenta cuando la temperatura corporal supera los 40°C ocasionando daños al sistema nervioso central y presentándose en forma de delirios, convulsiones, coma y hasta la muerte. Según la (Pan American Health Organization, 2023), la insolación se clasifica en clásica o de esfuerzo, la primera afecta principalmente a personas de la tercera edad o con alguna condición médica preexistente cuando las temperaturas ambientales son altas, por otro lado la insolación de esfuerzo se manifiesta en personas sanas, adultas o jóvenes tras realizar actividades deportivas o de trabajo en un ambiente de calor, en donde existan contracción muscular esquelética, es predominante en personas cuyos trabajos sean físicamente demandantes como la construcción, militares, agricultura, minería, entre otros.

El agotamiento por calor es una respuesta rápida e inmediata del cuerpo ante el exceso de calor, puede acompañarse de mareo, exceso de sudoración, dolor de cabeza y fatiga sin llegar a presentar las complicaciones de la insolación. Para (Afshari et al., 2021), el sudor es una respuesta del cuerpo para mantener su equilibrio, en este hay pérdida de agua y sales del cuerpo, en consecuencia, cuando se intenta compensar el líquido perdido solo con agua sin electrolitos aparece el agotamiento por calor.

Otra condición médica aguda resultante de la combinación de la exposición al calor y el esfuerzo físico extremo es la rabdomiólisis donde sus consecuencias pueden ir de leve a grave. Se caracteriza por el rápido deterioro de las células musculares y la expulsión de contenido intracelular en el sistema circulatorio y cuya complicación más común es la lesión renal. Un estudio realizado en México por (Dena, 2021), concluyó un incremento de la mortalidad de los pacientes ingresados por golpe de calor cuando desarrollaban rabdomiólisis. Otro estudio demostró una relación directa al calor ambiental con el riesgo de mortalidad por enfermedades infecciosas, cardiovasculares, respiratorias, del sistema nervioso y trastornos mentales.

Medición del índice WBGT

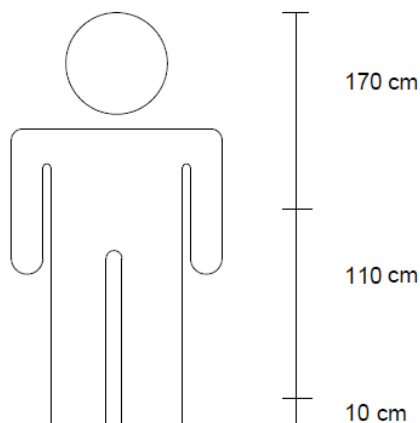
Según la (International Standard Organization, 2017), el equipo de medición de estrés térmico debidamente calibrado (ver anexo A) permite evaluar las actividades laborales en condiciones térmicas elevadas en cada puesto de trabajo, para conocer la altura adecuada de la ubicación del equipo se deben realizar tres mediciones, siendo para la posición de pie las siguientes:

1. A la altura de la cabeza (170 cm)
2. A la altura del abdomen (110 cm)
3. A la altura de los tobillos (10 cm)

Cuando el trabajador tenga una estatura distinta a los 170 cm se deberán adaptar todas las medidas a la realidad de cada individuo. Si las variaciones en cada toma de datos presentan una heterogeneidad del 5%, es indicio de un ambiente homogéneo y la altura del equipo WBGT deberá ubicarse a la altura del abdomen del trabajador, entre 1.0 y 1.05 metros del suelo y el equipo deberá ubicarse siempre en un trípode lo más cercano posible al trabajador, pero sin interferir en el desempeño de sus actividades (Protocolo Para La Medición de Estrés Térmico, 2013).

Figura 1

Mediciones para determinar la altura del equipo WBGT



Nota. La figura representa las ubicaciones de las tres mediciones previas del equipo WBGT para conocer la ubicación real de medición.

Monitor de ritmo cardíaco

Cada vez que el corazón late este envía una señal en forma de impulso eléctrico la cual puede ser captada mediante electrodos para posteriormente transmitir esta información de manera numérica. En el trabajo realizado por (Jalalifar et al., 2022), menciona la existencia de diversos dispositivos para monitorizar el ritmo cardíaco, sin embargo, uno de los más fiables es el pulsómetro para pecho (Anexo B), el cual tiene un margen de error mínimo en

comparación con otros dispositivos de monitorización de ritmo cardíaca como un reloj inteligente debido a su ubicación en el cuerpo, pues cuando el individuo se mueve los sensores no se despegarán del cuerpo, permitiendo una mejor recepción de los datos. De esta manera la señal previamente enviada por el sensor es transformada en datos numéricos, la cual se almacena en una base de datos y posteriormente esta información será respaldada en un servidor y por medio de un módulo de Wi-Fi se transmitirá a una aplicación web.

Escala SOFI SM

La escala para evaluar la fatiga ocupacional Swedich Occupational Fatigue Inventory – Short Measure (SOFI – SM) fue creada para medir la percepción de la fatiga física y mental experimentada por los trabajadores durante o después de su jornada laboral. Según (Sebastián Cárdenas et al., 2020), la escala SOFI – SM reduce el número de ítems de la escala original a 6 dimensiones con un ítem representativo por cada uno, tales como:

- Falta de energía: disminución de fuerza
- Cansancio físico: sensaciones corporales resultantes del trabajo cuya manifestación produce agotamiento metabólico
- Discomfort físico: se refiere a las sensaciones corporales más localizadas, siendo estas el resultado de una carga estática o isométrica.
- Falta de motivación: o desmotivación, se refiere a la falta de entusiasmo y compromiso con el trabajo.
- Somnolencia: se refiere al fuerte deseo de dormir o la sensación de sueño.
- Irritabilidad: puede referirse a la baja tolerancia a la frustración, se manifiesta a manera de enojo o como una respuesta exagerada a diversas situaciones inesperadas.

Cada ítem será valorado en una escala desde nulo (0) a muy alto (10) y cuyos resultados indican el nivel de riesgo de fatiga al cual se somete el trabajador (Anexo C).

Construcción de redes de alcantarillado y agua potable

Las de redes de alcantarillado y agua potable son una de las principales obras de infraestructura sanitaria y son esenciales para el desarrollo urbano y rural. Su función es garantizar permitir la evacuación de aguas residuales y agua potable para el consumo humano. Para su construcción se desarrolla una planificación detallada de actividades

basadas en estudios topográficos, hidráulicos y geotécnicos, antes y durante el proceso de construcción según lo indica (Barranco-Mejía et al., 2024) .Durante su ejecución y para cumplir con las metas de construcción establecidas se realizan una serie de actividades de las cuales en el presente estudio se han destacado las siguientes: Rasanteo y excavación, humedecimiento de suelo, movimiento de tierra, compactación de suelo y pruebas de presurización.

Rasanteo y excavación

Para (Urgilés Martínez & Ortega-Castro, 2021), esta actividad consiste en el trabajo manual sobre la base de la zanja la cual fue previamente excavada con maquinaria. El objetivo principal es nivelar el terreno antes de instalar las tuberías de agua potable y alcantarillado. Para lograrlo, los trabajadores redistribuyen la tierra existente esparciéndola de manera uniforme (Anexo D, Fotografía 1); sin embargo, cuando se detecta un exceso de material que impide alcanzar el nivel requerido, este se retira mediante excavación manual, hasta obtener una base adecuada y con la pendiente necesaria para el correcto funcionamiento del sistema.

Humedecimiento de suelo

El humedecimiento de suelo o riego es la aplicación de agua con manguera sobre el terreno seco (Anexo D, Fotografía 2), y se lo realiza por dos razones, la primera es para controlar la presencia de material particulado, como el polvo, que puede ser inhalado por los trabajadores y representar un riesgo para su salud respiratoria. Por ello, cuando se ejecutan tareas relacionadas con el movimiento de tierras, es necesario mantener el suelo húmedo para reducir la dispersión de polvo. La segunda razón se relaciona con el proceso de compactación, debido a que una vez se han rellenado las zanjas con la tierra previamente removida, se aplica agua sobre la superficie para favorecer el sellado del terreno, asegurando así una compactación más efectiva mediante el uso de maquinaria (Urgilés Martínez & Ortega-Castro, 2021) .

Movimiento de tierra

Esta actividad hace referencia a la manipulación del terreno natural con el propósito de distribuir el material, en este caso, la misma tierra extraída (Anexo D, Fotografía 3). Al momento de sellar las zanjas, este procedimiento suele realizarse con maquinaria; sin

embargo, en aquellas de menor profundidad, es común efectuar un sellado manual. Para ello, mediante el uso de una pala, el trabajador traslada la tierra hacia el interior de la zanja, incluso en los casos en que el relleno fue realizado mecánicamente, se recurre movimiento de tierras para redistribuir el material, corrigiendo posibles excesos en ciertas áreas o deficiencias en otras, y garantizando así una nivelación más uniforme (Vásquez, 2020).

Compactación de suelo

Luego de colocar las tuberías dentro de las zanjas y cubrirlas nuevamente con la misma tierra extraída, se procede a realizar la compactación del suelo. Esta tarea se ejecuta con el uso de una máquina llamada vibro compactadora, cuyo propósito es asegurar la estabilidad del terreno. Durante esta actividad, los trabajadores están expuestos a vibraciones de cuerpo entero al momento de manipular la máquina (Anexo D, Fotografía 4), según lo indica (Vásquez, 2020).

Pruebas de presurización

Las pruebas de presurización se realizan en las tuberías de agua potable antes de proceder con el relleno definitivo de la zanja. Para ello, se llenan las tuberías hasta alcanzar una presión de 50 kPa, utilizando una bomba manual para pruebas hidrostáticas conectada a un manómetro. El trabajador debe accionar repetidamente la palanca de la bomba hasta que el manómetro marque la presión requerida (Anexo D, Fotografía 5), este proceso puede tomar varias horas debido al alto caudal de agua requerido para la prueba, por otra parte, cuando no se logra alcanzar esta presión, será necesario verificar el nivel de llenado de agua o identificar posibles fugas en el sistema. Una vez alcanzada la presión establecida, se cierra una válvula por un periodo mínimo de 30 minutos, tras lo cual se procede a despresurizar el sistema. Esta prueba debe repetirse durante 24 horas, tiempo en el que la presión debe permanecer constante (Venegas-Vásconez et al., 2024) .

Matriz de covarianza

Es el índice numérico más usado para medir una correlación de variables, se representa con el símbolo r y entrega un dato numérico de la asociación monótona de dos variables El coeficiente de Pearson según (Fiallos, 2021), nos revela el nivel de correlación de las variables, si existe o no una relación entre estas y si esta relación es positiva o negativa y es

usado como un criterio de optimización para el desarrollo de diferentes filtros óptimos de reducción de ruido. Cuando la correlación presenta un signo positivo, indica una relación directa entre variables, es decir, si existe un incremento de la magnitud de una variable, la otra también va a incrementar su magnitud y al contrario si hay un decrecimiento en la magnitud de una variable, la otra también deberá disminuir. Por otro lado, cuando el signo de la correlación es negativo (-), indica una relación inversa, es decir si hay un incremento de la magnitud de una variable la otra deberá disminuir y viceversa. La correlación se encuentra en el intervalo de -1 a +1. Mientras más cerca de r sea más cercano a 1, más fuerza tendrá la correlación (Schober & Schwarte, 2018), tal como se indica en la siguiente tabla 1.

Tabla 1

Interpretación de las correlaciones

Importe de r	Interpretación
0.0>0.1	Sin correlación
0.1>0.39	Baja correlación
0.40>0.69	Media correlación
0.7>0.89	Alta correlación
0.9>1	Correlación muy alta
$r = \pm 1$	Perfecta correlación

Nota. Fuente: Statistik, Eine verständliche, 2013.p213

A continuación, se muestra la ecuación para obtener el coeficiente de Pearson.

Ecuación 5

Coeficiente de Pearson

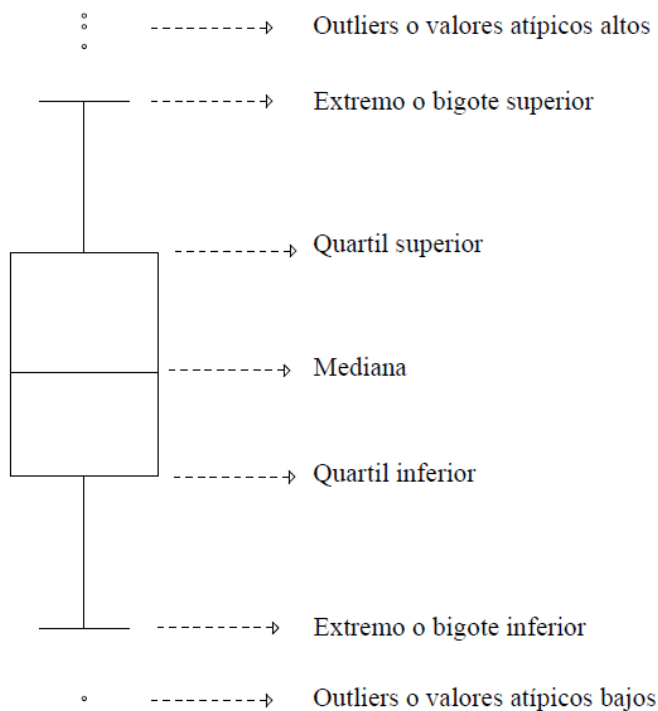
$$r = \frac{\sum XY - \frac{\sum X \sum Y}{n}}{\sqrt{(\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n})(\sum Y^2 - \frac{(\sum Y)^2}{n})}}$$

Diagrama de cajas y bigotes (box plot)

Los diagramas de caja o Box Plot desarrollados en 1977 por el Estadístico Estadounidense John W. Tukey, son gráficos representativos de lotes de datos mediante los cuales se puede visualizar la dispersión o simetría y forma de una variable con respecto a su medida de tendencia central, además detecta la existencia de valores atípicos, también llamados outliers. También es útil cuando se requiere comparar diferentes distribuciones al mismo tiempo. Como se muestra en la figura, este diagrama consiste en una “caja” o barra dividida por la mediana del conjunto de valores representados, cuyos extremos superior e inferior se denominan cuartiles y representan al tercer y primer cuartil respectivamente y su diferencia se denomina Rango intercuartílico (IQR). Para conocer el valor de estos cuartiles se puede calcular los percentiles 75 para el tercer cuartil y percentil 25 para el cuartil uno. Si dentro de los datos existen valores poco representativos si se comparan con el resto del conjunto, debido a su tamaño muy grande o pequeño, cuya distancia sea superior a 1.5 IQR respecto a la mediana, se les denomina Outliers y se simbolizan con un círculo de tamaño pequeño ubicado acorde a su valor numérico (Meza, 2023).

Figura 2

Diagrama de cajas



Nota. La figura representa un Diagrama de cajas con sus respectivas partes. Adaptado de *Desarrollo de una aplicación web para fomentar el razonamiento sobre comparación de grupos con diagramas de caja* (p. 29), Fuente: (Meza, 2023), Instituto Politécnico Nacional.

Descomposición en valores singulares (SVD)

Para (Marukatat, 2023) La descomposición en valores singulares o SVD por sus siglas en inglés Singular Value Decomposition, es una técnica para reducir la dimensionalidad de grandes bases de datos, para encontrar uno o más patrones. Su importancia radica en la capacidad de extracción de características relevantes y estructuras subyacentes en estos datos. Al ser una factorización matricial, facilita el análisis y la manipulación de datos y una de sus aplicaciones es el análisis de componentes principales siendo este un caso singular y el SVD un caso general.

Análisis de componentes principales (PCA)

El Análisis de Componentes Principales o PCA por sus siglas en Inglés Principal Component Analysis, este modelo permite reducir la dimensionalidad de bases de datos con alta dimensionalidad al identificar un conjunto de datos principales o representativos que capturen la información más importante de los datos reduciendo la complejidad computacional y mejorando la eficiencia del algoritmo.

El PCA permite extraer rasgos o características significativas de bases de datos complejas permitiendo un mejor entendimiento e interpretación de los datos subyacentes, su aplicación ayuda a identificar las variables más influyentes que contribuye a la variación de los datos.

El PCA también facilita el paso de un espacio vectorial R^n a un subespacio R^2 , es decir aplicar una transformación lineal, sin perder información significativa para el estudio y maximizando su varianza. Este se calcula a través de una matriz de autocorrelación de los datos con sus vectores propios, luego los ordena acorde sus valores propios para posteriormente normalizarlos.

Otra característica destacable del PCA es la filtración eficaz de las variaciones o señales irrelevantes, denominadas ruido, en los datos al enfocarse en los componentes con mayores valores propios, esto ayuda a mejorar la relación de señal de ruido y el rendimiento de tareas posteriores de modelado (Marukatat, 2023) .

Su cálculo se realiza a partir de un conjunto de variables originales, como se presenta a continuación:

Ecuación 6

Cálculo para PCA

$$\alpha'_x = \alpha_{11} X_1 + \dots + \alpha_{1p} X_p = \sum_{j=1}^p \alpha_{1j} X_j$$

Donde,

X es un vector con p variables aleatorias

α'_x corresponde a la función lineal de los elementos de X de máxima varianza

α_1 es un vector de p constantes y denota la transpuesta

Algoritmo K-means

Es uno de los algoritmos más sencillos y usados para agrupamiento de datos, la cual tiene como principio la división de una base de datos en k grupos o clústeres deseados, de cada uno de estos se detecta el centroide, valor correspondiente a la media aritmética, posteriormente se calcula la distancia de cada punto dentro del clústeres al centroide y se lo asigna al grupo cuyo centroide sea el más cercano, luego se vuelve a recalcular el centroide hasta alcanzar el máximo de iteraciones (Ramírez Murillo et al., 2019).

Método del codo

Para (Yajure Ramírez, 2022), este método es usado para conocer el valor óptimo de k , para ello se ejecuta el algoritmo k -means con k números de grupos o clústeres y se calcula la suma de las distancias al cuadrado de cada uno de estos puntos, respecto a su centroide. Este resultado permite crear una gráfica X vs Y donde en el plano de las abscisas se encuentran los valores de k y en el eje de las ordenadas la suma de las distancias al cuadrado, esta gráfica

muestra un punto en forma de codo donde se produce un cambio abrupto en la disminución de la suma de las distancias al cuadrado, por ello el nombre de este método. El número óptimo de k entonces será este punto de “codo”.

2.1.1 Fundamentación del problema

Las actividades que conllevan a la construcción de redes de alcantarillado y agua potable tienen una alta exigencia física sumando a los factores ambientales a cielo abierto pueden comprometer el desempeño laboral de los trabajadores. Cuando la temperatura ambiental es elevada, existe un alto riesgo de estrés térmico, el cual ha sido una amenaza creciente en lugares con climas calientes. El índice WBGT es uno de los indicadores más usados para cuantificar el estrés térmico y establecer límites seguros de exposición según (Omer AHMED et al., 2020).

Para (Kjellstrom et al., 2009), el rendimiento laboral, entendido como la capacidad de los trabajadores para realizar sus tareas de manera segura y eficiente, puede verse influido por las condiciones ambientales y una alta demanda física de trabajo. La capacidad del cuerpo humano de mantener un estado físico constante disminuye cuando las temperaturas ambientales son elevadas, lo cual se puede ver reflejado en mayor riesgo de fatiga y tiempos de descanso más largos.

(Chavarría, 2024), hace referencia al monitoreo de indicadores como la frecuencia cardíaca permite hacer una estimación del esfuerzo físico experimentado por el trabajador acorde a la tarea asignada, siendo un reflejo de la carga interna a la cual se someten. Al conocer los tiempos de descanso en la jornada se puede proporcionar una medida funcional del rendimiento laboral de los trabajadores, siendo un aumento de las pausas en el trabajo un indicador de recuperación frente al esfuerzo realizado y el calor ambiental.

Por lo tanto, es necesario realizar un análisis de manera integrada de la influencia del índice WBGT y la carga física de trajo sobre el rendimiento laboral de estos trabajadores del sector de la construcción, para contribuir con la mejora de las condiciones laborales, prevención de riesgos y productividad de la empresa.

2.1.2 Conceptualización de la problemática

El rendimiento laboral está relacionado con el desempeño de los trabajadores en sus labores involucrando las destrezas y habilidades para realizar cada tarea, así lo menciona (Geraldo Campos, 2022). Este se puede ver afectado por diversos factores de su entorno laboral, de los cuales se destaca el nivel de exigencia de la actividad, condiciones ambientales del entorno laboral, niveles de estrés y moral de los empleados y las horas de trabajo extendidas. En el sector de la construcción la disminución de tasas de accidentabilidad, absentismo y el cumplimiento de tiempos de trabajo son indicadores clave de un buen desempeño laboral, el cual se verá reflejado directamente en la producción y el éxito de cada empresa.

La temperatura de bulbo húmedo y de globo conocida por sus siglas en inglés como Wet Bulb Globe Temperatura (WBGT), es un índice cuyo valor indica la agresividad del entorno térmico al cual se expone un trabajador e identifica la presencia o ausencia de estrés térmico, su presencia ocasiona riesgos para la salud de los trabajadores, restringiéndolos de sus funciones y capacidades físicas y afectando directamente el rendimiento laboral. Para la valoración del estrés térmico es necesario conocer la tasa metabólica, esta representa la cantidad de energía utilizada por el cuerpo a lo largo del tiempo.

La distribución por edad de la población laborante es un factor relevante en los trabajos bajo condiciones de estrés térmico debido a los cambios de regulación en la temperatura corporal durante el envejecimiento de hombres y mujeres, además del riesgo de contraer enfermedades cardiovasculares para las personas con edades sobre los 50 años según (Oliva Jessica, 2023).

El cuerpo humano requiere continuamente de tres demandas para realizar un trabajo físico, estas son: movimiento del cuerpo, transporte de objetos, mantener la postura corporal. Para satisfacer estas demandas según el estudio realizado por (Hashiguchi et al., 2020), el cuerpo humano activa complejos mecanismos para la contracción muscular, estos mecanismos involucran el sistema nervioso, los pulmones, corazón, vasos sanguíneos y músculos. Toda esta respuesta producida por el organismo se denomina Carga física de trabajo y así la demanda sea la misma, la respuesta va a depender de la capacidad física de cada persona.

2.1.3 Teorías que respaldan el estudio

La norma (International Standard Organization, 2017) justifica el uso del índice WBGT para evaluar el nivel de estrés térmico y como complemento se encuentra la norma (International

Standard Organization, 2021) para estimar la tasa metabólica y la carga física de trabajo mediante el monitoreo de la frecuencia cardíaca. La OIT por otro lado indica como el aumento de temperatura del planeta en los últimos años ha generado una pérdida de productividad a nivel mundial, convirtiéndose el estrés térmico en un fenómeno mundial. La Organización Mundial de la Salud (OMS) añade que el estrés térmico produce una sobrecarga térmica en el cuerpo humano, ocasionando problemas a la salud como hipertermias, mareos y hasta un desenlace fatal. Siendo los trabajadores del sector de la construcción unos de los más afectados. Por otra parte, la escala de SOFI es una herramienta para medir la fatiga percibida por los trabajadores después de su jornada laboral, si bien es subjetiva se encuentra validada científicamente por lo cual sirve como un complemento para relacionarla con el rendimiento laboral.

2.1.4 Investigaciones previas y su relación con el problema

Diversos estudios han abordado la relación entre el calor, el esfuerzo físico y el rendimiento en diversos sectores laborales cuya exigencia física es alta. (Briones-Vélez & Mera-Párraga, 2024) concluyó en su estudio la existencia de una afectación directa entre valores de índice WBGT altos en la disminución de la productividad debido al incremento del riesgo de fatiga. Este hallazgo es coherente con lo planteado por (Geno Phillip, 2022), donde advierte el incremento de la temperatura a nivel mundial debido al cambio climático, lo cual generará un impacto directo en la salud y rendimiento laboral.

En este contexto, (WorkSafeBC, 2023), evaluó el efecto de la carga física sobre el rendimiento de obreros del sector de la construcción, donde aquellos con mayor tasa metabólica mostraban una necesidad mayor de realizar pausas en el trabajo lo cual afectaba directamente a la productividad de la organización, especialmente en los días más calurosos. Así también (Ghafoori et al., 2023), ha validado el uso de la frecuencia cardíaca como un indicador confiable para estimar la tasa metabólica, permitiendo identificar y predecir niveles sobreesfuerzo previo a la manifestación de signos visibles de fatiga.

Finalmente, investigaciones como la de (De Vries et al., 2020), han incorporado herramientas subjetivas como la Escala SOFI-SM para complementar los datos fisiológicos, concluyendo una correlación positiva entre la percepción de fatiga del trabajador y su entorno laboral, afectando directamente en su desempeño.

Los estudios mencionados sustentan la importancia de analizar de forma integrada la influencia de factores como el índice WBGT y la carga física de trabajo en el rendimiento laboral.

2.2 Marco legal

2.2.1 Constitución de la República del Ecuador

Encabezando la pirámide de Kelsen se encuentra la Constitución de la República del Ecuador del 2008, la cual hace referencia al derecho de las personas de laborar en un ambiente digno y seguro donde se garantice su integridad, bienestar, salud, seguridad e higiene.

2.2.2 Decreto Ejecutivo 255: Reglamento de Seguridad y Salud en el Trabajo

En mayo del 2024 se publicó el Decreto Ejecutivo 255, el cual establece las obligaciones de los empleadores de incorporar controles para la prevención de riesgos en el entorno laboral con el fin de reducir o eliminar la tasa de accidentes y enfermedades laborales, mejorando también la productividad y calidad de vida de los trabajadores, para ello es indispensable la adopción de modelos de Gestión de Riesgos con un enfoque preventivo jerarquizando las medidas de prevención, desde la eliminación de riesgos hasta el control sobre el trabajador, en sus anexo se presentan los límites permisibles de temperatura de bulbo seco y húmedo acorde el nivel de carga de trabajo y tipo de trabajo con el objetivo de mantener a los trabajadores en un estado de confort térmico.

2.2.3 Anexo 3: Norma Técnica de Seguridad e Higiene del Trabajo

Como parte del (Decreto Ejecutivo No 255: Reglamento de Seguridad y Salud En El Trabajo, 2024), este anexo indica la aplicación de la jerarquía de control de riesgos asociados a la exposición laboral a condiciones de calor, así como los valores permisibles para el índice WBGT para trabajadores aclimatados y no aclimatados en trabajos pesados. Menciona también la obligación de realizar la medición del índice WBGT con un instrumento debidamente certificado y calibrado en laboratorios nacionales o internacionales.

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1 Enfoque investigación

El estudio se abordó desde un enfoque mixto, combinando la parte cuantitativa y cualitativa. Es cuantitativo por la medición del índice WBGT y el ritmo cardíaco, dos variables independientes discreta y continua respectivamente y cuyos valores serán obtenidos de dispositivos electrónicos. Este estudio también es cualitativo pues aborda la variable dependiente del rendimiento laboral mediante encuestas y tiempos de descanso de los trabajadores.

3.2 Tipo de investigación

Esta investigación es de tipo descriptiva, correlacional y explicativa. Inicialmente se describen las condiciones ambientales bajo las cuales realizan sus actividades los trabajadores de construcción de alcantarillado y agua potable incluyendo la medición del WBGT y la frecuencia cardíaca para estimar la carga física de trabajo. Posteriormente se realizará correlaciones entre las variables y otros análisis estadísticos para sugerir la relación entre el estrés térmico y el esfuerzo físico de cada tarea a una alta temperatura ambiente, y su influencia en el rendimiento de los obreros.

3.3 Diseño de investigación

Este estudio tiene un diseño no experimental, transversal, deductivo. Las variables dependientes consideradas son el estrés térmico y la carga física de trabajo y las variables intervinientes son la edad, sexo, y los años de trabajo, ninguna de las variables se va a manipular por lo que también se considera al estudio no experimental, al recopilar y analizar datos es un diseño transversal y deductivo pues busca mediante la recopilación de los datos mencionados analizar la influencia de las altas temperaturas ambientales en el rendimiento de estos trabajadores.

3.4 Descripción del área de estudio

3.4.1 Población y muestra

La investigación tuvo lugar en una empresa constructora ubicada la ciudad de Quito-Ecuador, sector Tumbaco, esta zona se caracteriza por su clima tropical seco. El terreno es de aproximadamente 18 hectáreas donde se está construyendo un conjunto habitacional, los 30

obreros empleados llegaron por grupos desde diferentes zonas del país como Latacunga, Ibarra, Puyo y Esmeraldas, específicamente para laborar en este proyecto de construcción y cuyo rango de edad es de 20 a 65 años (Anexo E).

3.4.2 Criterios de inclusión

Se tomó en cuenta para este estudio al personal con cargo de obrero lo cual incluye a albañiles y ayudantes de albañil. Todas estas personas debían pasar el tiempo de aclimatación de mínimo siete días debido a la existencia de trabajadores que llegaron de otras provincias específicamente para este proyecto de lotización. Se incluyó a mujeres y personas mayores, con edades de 20 a 65 años, si bien la literatura señala un mayor riesgo de enfermedades cardiovasculares en personas sobre los 50 años, este rango etario representa a la población laboral activa en el sector de construcción, esta inclusión permite obtener datos más representativos a las condiciones reales de trabajo.

3.4.3 Criterios de exclusión

Se descartó de este estudio a las personas con enfermedades crónicas diagnosticadas previamente y también aquellas con valores de presión sobre los límites permisibles, para conocer esta información se verificó las fichas médicas de cada trabajador.

Se excluyó también a personas con obesidad de cualquier tipo debido al riesgo de estas de sufrir enfermedades cardiovasculares lo cual podría afectar a los valores de frecuencia cardíaca.

3.5 Procedimiento

Inicialmente se realizó un cuestionario para la caracterización de la población de estudio y para conocer la percepción de los trabajadores frente a lo que se considera como fatiga física, se aplicó la escala SOFI-SM a cada uno de ellos (Anexo F). Para conocer la carga física de trabajo según las directrices de la (International Standard Organization, 2021), es fundamental la estimación de la tasa metabólica, la cual se puede obtener mediante la frecuencia cardíaca. Con el propósito de obtener estos datos se situó un sensor de ritmo cardíaco de marca HR40 iGPSPORT (Anexo G) en el pecho descubierto de los trabajadores, cuyos electrodos detectan el número de pulsaciones por segundo y envían estos datos vía Bluetooth a un teléfono celular para permitir descargarlos a través de la aplicación PULSOID.

Simultáneamente se siguió los lineamientos de la norma (International Standard Organization, 2017) para la evaluación del estrés térmico mediante el índice WBGT a través Heath Stress/WBGT Datalogger (Anexo D). Inicialmente se realizaron tres mediciones, a la altura de los tobillos, abdomen y cabeza, medidos sobre el nivel del piso para determinar la homogeneidad del ambiente, al no existir una variación significativa entre cada toma se consideró un ambiente prácticamente homogéneo, por cual la altura final de las mediciones se realizó entre 1 y 1.5 metros con el equipo colocado lo más cerca posible de cada trabajador. Cada lectura tuvo una duración de una hora, entre las 11h00 y 14h00 horas, período en el cual se evidenció el pico de calor.

Posterior a la caracterización de la población se observó la jornada laboral completa para conocer cuáles eran las tareas correspondientes a las actividades que se desarrollan en la construcción de las redes de alcantarillado y agua potable las cuales son asignadas por el encargado de cada cuadrilla al inicio de la jornada. Finalmente, al conocer la estimación del consumo metabólico se realizó una revisión bibliográfica para sugerir un protocolo de prevención de riesgo de estrés térmico.

3.6 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para estimar la carga física de trabajo y categorizarla según las actividades laborales analizadas fue necesario conocer la tasa metabólica para lo cual se siguió las directrices establecidas en la norma (International Standard Organization, 2021), esta sugiere el uso de variables fisiológicas como la frecuencia cardíaca debido a su mayor accesibilidad y confiabilidad para estudios de campo.

Previo al monitoreo de la frecuencia cardíaca se utilizó la información proveniente de los certificados de aptitud médica laboral de los trabajadores involucrados en el estudio, proporcionada por el médico ocupacional, lo cual por tema de principios no podrán ser mostradas en este estudio, sin embargo, estos certificados han permitido ratificar que el cien por ciento de la población de estudio se encuentre en condiciones adecuadas de salud.

Para conocer el riesgo de estrés térmico de los obreros, se aplicaron las directrices establecidas por la norma (International Standard Organization, 2017) la cual recomienda el monitoreo del índice WBGT para valorar el grado de exposición térmica en el ambiente laboral. Esta variable integra parámetros como la humedad relativa, temperatura de aire,

velocidad del viento y radiación solar para obtener un solo valor y clasificar el nivel de riesgo térmico.

Además de la norma (International Standard Organization, 2017) también se consideró la normativa nacional actualizada, por lo cual los resultados obtenidos de las mediciones con el medidor de estrés térmico también se compararon con lineamientos del Decreto Ejecutivo 255 y su Anexo 3, la Norma Técnica de Salud, Seguridad e Higiene Ocupacional para límites permisibles en ambientes térmicos calurosos y abiertos.

Al ser el rendimiento laboral una variable que depende de algunos parámetros subjetivos se consideró los tiempos de descanso de los trabajadores y el cuestionario de la Escala SOFI – SM. El primero se obtuvo mediante la observación de la jornada laboral completa de cada trabajador para cronometrar cada descanso o pausa en las actividades laborales y con una sumatoria obtener el tiempo de descanso real.

Como parte del análisis cualitativo de este estudio se utilizó el cuestionario para el análisis de fatiga laboral la escala SOFI – SM para conocer la percepción de la fatiga laboral de cada trabajador después de la jornada, cabe resaltar que esta escala se encuentra debidamente validada y se ha usado en estudios previos como complemento para la estimación del rendimiento laboral.

3.7 Técnicas de análisis de datos

Para la estimación de la carga física de trabajo se aplicó una matriz de covarianza con variables como edad, IMC, tiempo de trabajo para identificar las cuáles características fisiológicas presentaban asociación con la frecuencia cardíaca durante la jornada laboral y posteriormente representarla con un diagrama de cajas. Posteriormente se aplicó una Descomposición en valores singulares (SVD) para reducir la dimensionalidad de los datos y un Análisis de componentes principales (PCA) que explique la variabilidad de la carga física. Las técnicas de análisis de datos para conocer el riesgo de estrés térmico son similares a las usadas para la estimación de la carga física de trabajo. La matriz de covarianza con los datos obtenidos del índice WBGT permitieron conocer la influencia de las características de los individuos en la tasa metabólica. Mediante el PCA se identificó si las variables contribuyeron a la variación del estrés térmico en los trabajadores, además al implementar el algoritmo K-Means y el método del codo se pudo determinar el número óptimo de clústeres para clasificar

a los trabajadores en grupos homogéneos según las condiciones ambientales y sus características fisiológicas.

Finalmente se realizó una Correlación de Pearson para determinar la relación entre el índice WBGT, la carga de trabajo física y los tiempos de descanso durante la jornada laboral, con el fin de cuantificar las condiciones térmicas, exigencia física y las pausas requeridas por los trabajadores. Con base en estos resultados se formularon recomendaciones dirigidas a optimizar el rendimiento laboral y preservar la salud de los trabajadores.

3.8 Consideraciones éticas

Los trabajadores recibieron información completa y clara acerca del estudio, se socializó los objetivos, métodos y beneficios de este, sugiriendo su participación libre y voluntaria, cuyos resultados se compartirían con los colaboradores de manera transparente especialmente por su influencia en la seguridad y bienestar laboral. La identidad de estas personas debe ser protegida, para ello los datos fueron codificados y los registros fotográficos presentes en este documento tuvieron el consentimiento de parte de las personas involucradas, también se cuidó la existencia de un ambiente de privacidad y comodidad a los participantes al momento de colocar y retirar el sensor de ritmo cardíaco debido a la ubicación de este dispositivo en la zona torácica en contacto directo con la piel del pecho.

CAPITULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Esta sección presenta y analiza los hallazgos obtenidos en este estudio a partir de las herramientas cuantitativas y cualitativas utilizadas. Los datos fueron procesados mediante un análisis estadístico del cual se identificaron relaciones significativas entre las variables, destacando el índice WBGT en los tiempos de descanso del personal del sector de la construcción. La interpretación de estos resultados permite proponer medidas concretas para prevenir el riesgo de estrés térmico y optimizar el rendimiento laboral.

4.1 Resultados

4.1.1 Caracterización de los participantes

Para analizar y especificar las características de los colaboradores se obtuvo la información detallada a continuación.

Tabla 2

Caracterización de los participantes

No TRABAJADOR	SEXO	EDAD [años]	TALLA [m]	PESO [Kg]	ICM	RELACIÓN DEL ICM	TIEMPO DE TRABAJO [meses]
1	M	54	1.55	62.85	26.16	Sobrepeso	9
2	M	29	1.61	52.1	20.1	Peso normal	11
3	M	54	1.57	58.21	23.62	Peso normal	11
4	M	33	1.62	65.3	24.88	Peso normal	9
5	M	31	1.65	75.35	27.68	Sobrepeso	10
6	M	42	1.63	66.46	25.01	Sobrepeso	10
7	M	39	1.57	68.94	27.97	Sobrepeso	9
8	M	34	1.59	65.7	25.99	Sobrepeso	10
9	M	31	1.72	80.9	27.35	Sobrepeso	10
10	M	27	1.7	72.44	25.07	Sobrepeso	10
11	M	37	1.67	78.96	28.31	Sobrepeso	10
12	M	54	1.69	70.61	24.72	Peso normal	10
13	M	58	1.58	63.59	25.47	Sobrepeso	8
14	F	20	1.53	52.51	22.43	Peso normal	10
15	M	26	1.55	59.22	24.65	Peso normal	10
16	M	30	1.59	60.14	23.79	Peso normal	10
17	M	35	1.6	64.19	25.07	Sobrepeso	10

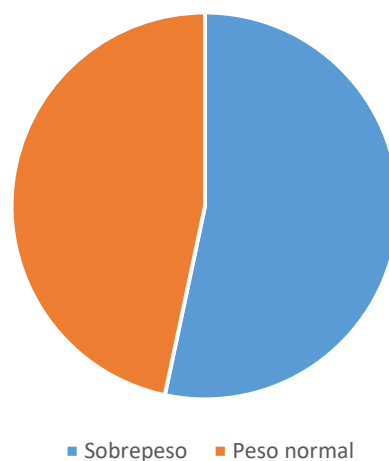
18	F	36	1.56	62.55	25.7	Sobrepeso	10
19	M	32	1.59	65.61	25.95	Sobrepeso	10
20	F	29	1.54	63.17	26.64	Sobrepeso	10
21	M	39	1.65	70.59	25.93	Sobrepeso	10
22	M	36	1.57	60.82	24.67	Peso normal	10
23	M	26	1.76	75.9	24.5	Peso normal	11
24	M	24	1.74	74.1	24.47	Peso normal	11
25	M	30	1.77	74.5	23.78	Peso normal	11
26	M	33	1.64	77.47	28.8	Sobrepeso	9
27	M	64	1.54	54.22	22.86	Peso normal	8
28	M	51	1.61	65.23	25.16	Sobrepeso	8
29	M	30	1.58	59.66	23.9	Peso normal	9
30	M	61	1.56	59.14	24.3	Peso normal	11
PROMEDIO		37.5	1.62	66.01	25.16		9.83
DESVIACIÓN ESTÁNDAR		11.62	0.07	7.63	1.79		0.86
PERCENTIL 5		24.9	1.54	53.3	22.6		8
PERCENTIL 95		59.65	1.75	78.3	28.2		11

En los trabajos de construcción comúnmente existe un número muy bajo de personal femenino, debido a esto el estudio tuvo apenas tres participantes femeninas como se muestra en la siguiente gráfica, sin embargo, no existe distinción en la asignación de tareas entre hombres y mujeres.

Figura 3

Sexo de los participantes

Distribución de género

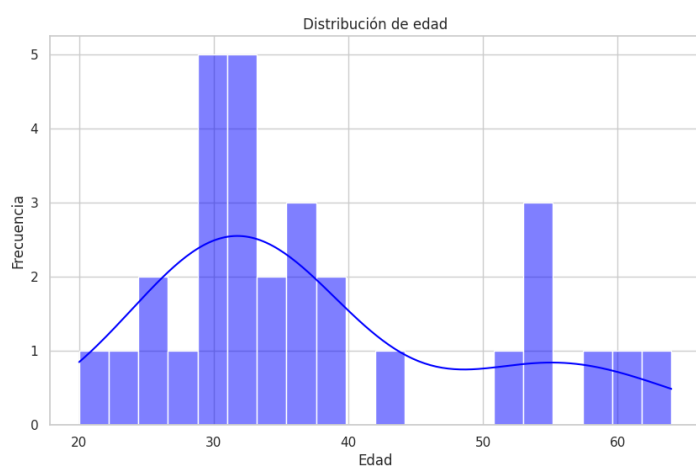


Nota. La imagen muestra el número de participantes femenino y masculino. Fuente:
Autor.

El personal de estudio tiene un rango de edad entre 20 y 64 años, con una mayor frecuencia alrededor de los 30 años, indicando esta como una edad más común y una tendencia decreciente a medida que hay un aumento de edad, se visualiza un pequeño grupo de individuos atravesando sus 50 años y un grupo más pequeño en los 60.

Figura 4

Rango de edad de los participantes

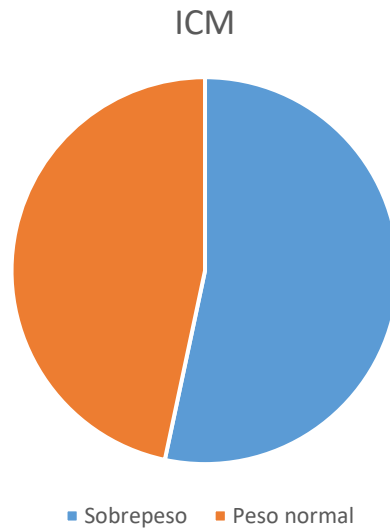


Nota. El gráfico representa la distribución de edad de los participantes el cual se encontraba en un rango de 20 a 65 años.

Como se puede apreciar en la figura dentro del grupo de análisis no existieron personas con obesidad ni bajo peso, pero si hay una mayor proporción de personas con sobrepeso comparado con los de peso normal. En la figura correspondiente al Índice de masa corporal el cual cuenta con una curva de densidad para una mejor visualización de la frecuencia de los datos, presenta una distribución aproximadamente normal pero con una leve asimetría positiva, esto refleja la tendencia de la mayoría de personas de encontrarse en un IMC cercano al valor central el cual se encuentra entre los valores 24 y 25, sugiriendo un rango de peso aceptable para los estándares de la OMS, en consecuencia la población del estudio presenta un perfil de salud favorable asociado con el peso.

Figura 5

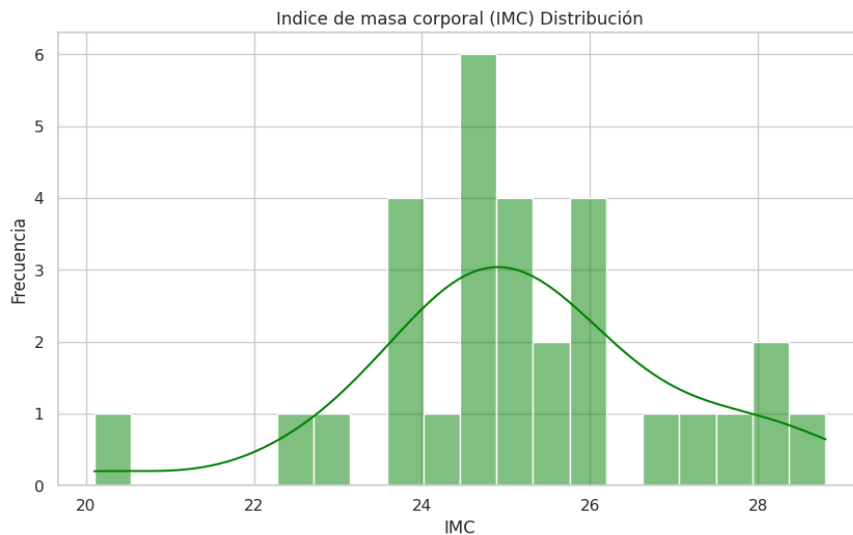
Índice de masa corporal de los participantes



Nota. El gráfico muestra el índice de masa corporal de los trabajadores donde se observa las categorizaciones de sobrepeso y peso normal

Figura 6

Distribución del IMC



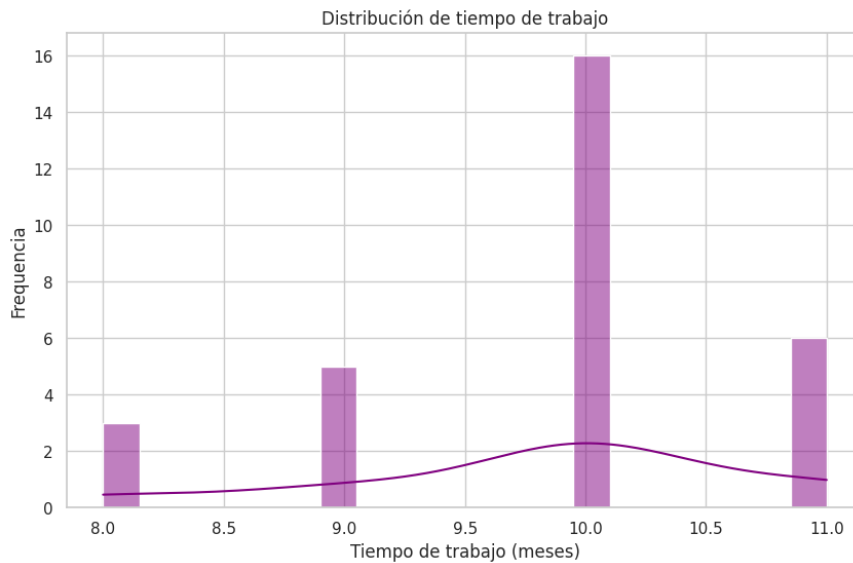
Nota. La gráfica indica un mayor número de participantes jóvenes dentro de la muestra

Los participantes ingresaron a la empresa en un período de tiempo relativamente similar, como se puede observar en la gráfica anterior más del 50% de ellos cuenta con 10 meses

de trabajo y a penas 2 personas se incorporaron más tarde al proyecto, acumulando un tiempo de 8 meses en la empresa. Es relevante tomar en cuenta el tiempo de trabajo en la obra si se busca obtener resultados más precisos, si el tiempo de trabajo es muy corto los datos obtenidos pueden dar mayor error.

Figura 7

Tiempo de trabajo

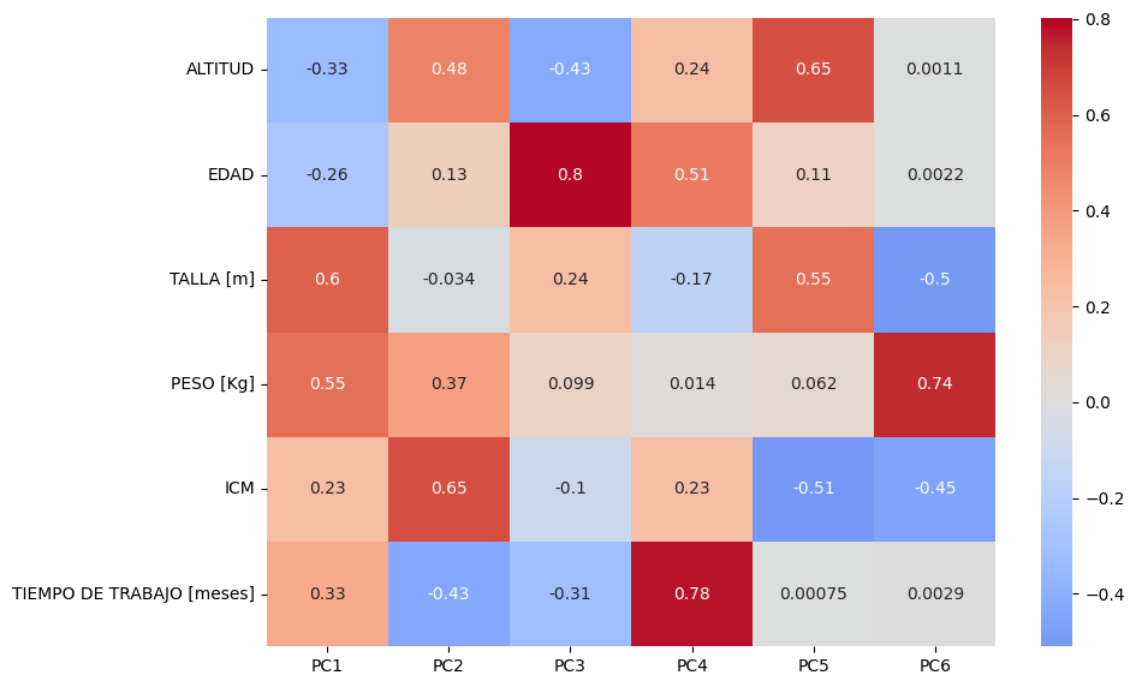


Nota. La figura el rango del tiempo de trabajo de los participantes dentro de la empresa el cual va de entre 8 y 11 meses.

Con la información básica de los participantes se realizó una matriz de correlación para visualizar la existencia o no de relaciones entre las variables, figura. En este gráfico se aprecia una relación positiva entre la talla y peso, lo cual es esperable y también una relación moderada pero negativa entre la estatura y la talla, sin embargo, a primera instancia no se aprecia una relación significativa entre las pulsaciones por minuto y el WBGT, esto como una vista preliminar obtenida a partir de datos iniciales.

Figura 8

Matriz de correlación



Nota. Matriz de correlación de variables

Valoración de la Carga física

Criterio de Chamoux

Tabla 3*Aplicación del criterio de Chamoux*

No.	FCB	FCM	CP	EDAD	FC	CP	CA	CP	CCR	CP	dFC	CP	Penosidad	Valoración de las puntuaciones
Traba					Max_t									
1	65	92	1	54	182.2	6	27	5	0.23	5	90.2	6	23	DURO
2	77	86	1	29	199.7	6	9	1	0.07	1	113.7	6	15	LIGERO
3	57	99	2	54	182.2	6	42	6	0.34	6	83.2	6	26	EXTREMADAMENTE DURO
4	78	94	1	33	196.9	6	16	2	0.13	2	102.9	6	17	SOPORTABLE
5	67	88	1	31	198.3	6	21	4	0.16	2	110.3	6	19	PENOSO
6	78	93	1	42	190.6	6	15	2	0.13	2	97.6	6	17	SOPORTABLE
7	78	92	1	39	192.7	6	14	2	0.12	2	100.7	6	17	SOPORTABLE
8	78	87	1	34	196.2	6	9	1	0.08	1	109.2	6	15	LIGERO
9	63	85	1	31	198.3	6	22	4	0.16	2	113.3	6	19	PENOSO
10	70	83	1	27	201.1	6	13	2	0.10	1	118.1	6	16	LIGERO
11	70	86	1	37	194.1	6	16	2	0.13	2	108.1	6	17	SOPORTABLE
12	67	117	6	54	182.2	6	50	6	0.43	6	65.2	6	30	EXTREMADAMENTE DURO

13	66	101	4	58	179.4	6	35	6	0.31	6	78.4	6	28	EXTREMADAMENTE DURO
14	47	94	1	20	206	6	47	6	0.30	6	112	6	25	EXTREMADAMENTE DURO
15	78	105	5	26	201.8	6	27	5	0.22	5	96.8	6	27	EXTREMADAMENTE DURO
16	84	94	1	30	199	6	10	1	0.09	1	105	6	15	LIGERO
17	84	94	1	35	195.5	6	10	1	0.09	1	101.5	6	15	LIGERO
18	51	66	1	36	194.8	6	15	2	0.10	1	128.8	6	16	LIGERO
19	84	108	5	32	197.6	6	24	5	0.21	4	89.6	6	26	EXTREMADAMENTE DURO
20	64	91	1	29	199.7	6	27	5	0.20	4	108.7	6	22	DURO
21	77	87	1	39	192.7	6	10	1	0.09	1	105.7	6	15	LIGERO
22	63	88	1	36	194.8	6	25	5	0.19	4	106.8	6	22	DURO
23	76	91	1	26	201.8	6	15	2	0.12	1	110.8	6	16	LIGERO
24	76	88	1	24	203.2	6	12	1	0.09	1	115.2	6	15	LIGERO
25	76	84	1	30	199	6	8	1	0.07	1	115	6	15	LIGERO
26	77	87	1	33	196.9	6	10	1	0.08	1	109.9	6	15	LIGERO
27	65	113	6	64	175.2	6	48	6	0.44	6	62.2	6	30	EXTREMADAMENTE DURO

28	64	98	2	51	184.3	6	34	6	0.28	6	86.3	6	26	EXTREMADAMENTE DURO
29	67	112	6	30	199	6	45	6	0.34	6	87	6	30	EXTREMADAMENTE DURO
30	66	107	5	61	177.3	6	41	6	0.37	6	70.3	6	29	EXTREMADAMENTE DURO

Estimación de la Tasa Metabólica

Tabla 4

Cálculo de la tasa metabólica

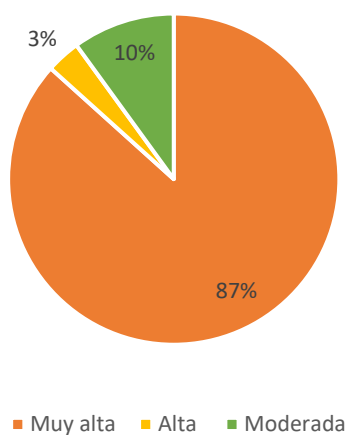
No. Trabajador	WBGT MEDIO	TASA METABÓLICA (M) [W]	TIPO DE TASA METABÓLICA
1	22.5	941.7	MUY ALTA
2	23.7	740.6	MUY ALTA
3	25.8	486.4	MUY ALTA
4	24	697.4	MUY ALTA
5	24.2	670.0	MUY ALTA
6	23.8	725.9	MUY ALTA
7	24.2	670.0	MUY ALTA
8	24.3	656.7	MUY ALTA
9	20.8	1323.5	MUY ALTA
10	23.3	802.3	MUY ALTA
11	23.6	755.5	MUY ALTA
12	23.5	770.8	MUY ALTA
13	24.6	618.4	MUY ALTA
14	25.8	486.4	MUY ALTA
15	27.4	353.0	MODERADO
16	23.2	818.5	MUY ALTA
17	23.6	755.5	MUY ALTA
18	27.7	332.5	MODERADO
19	20.2	1492.5	MUY ALTA
20	26.3	440.0	ALTA
21	24.3	656.7	MUY ALTA
22	21.8	1083.4	MUY ALTA
23	27.5	346.0	MODERADO
24	23.6	755.5	MUY ALTA
25	24.6	618.4	MUY ALTA
26	24.5	631.0	MUY ALTA
27	23.6	755.5	MUY ALTA

28	23.8	725.9	MUY ALTA
29	25.6	506.2	MUY ALTA
30	24	697.4	MUY ALTA

Figura 9

Porcentaje de tasa metabólica en los participantes

Tipo de tasa metabólica



Nota. La gráfica indica los tipos de tasa metabólica estimados después del respectivo análisis

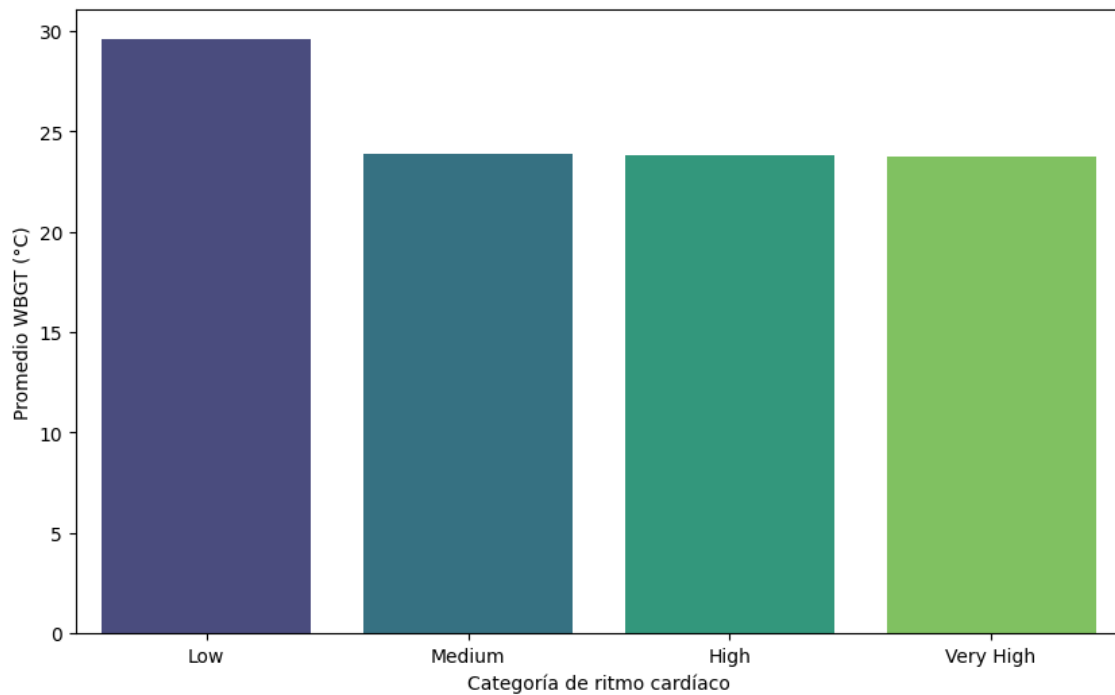
Como se puede apreciar a penas un participante tiene una tasa metabólica ligera, solo tres moderadas y más del 80% muy alta.

Relaciones entre las variables

Relación entre el WBGT y el ritmo cardíaco

Figura 10

WBGT promedio por categoría de frecuencia cardíaca



Nota. La gráfica no muestra una relación entre el índice WBGT y el ritmo cardíaco sino el índice WBGT promedio por la media de la frecuencia cardíaca de cada participante

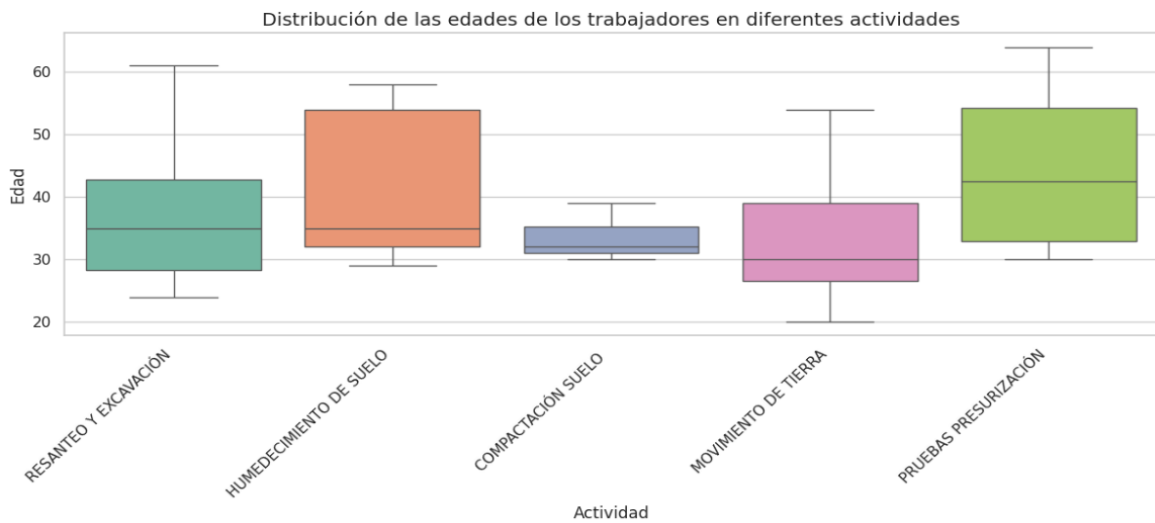
A partir de la gráfica anterior se visualiza valores altos de WBGT en la categoría más baja de ritmo cardíaco y valores cercanos a 25 WBGT conforme el ritmo cardíaco fue incrementando. Según esta información, los trabajadores con un ritmo cardíaco bajo desempeñaron actividades menos demandantes físicamente, pero en condiciones climáticas con temperaturas más elevadas.

Diagrama de cajas

Para conocer si existe una tendencia en las edades al momento de asignar las tareas y actividades se realizó el diagrama de cajas mostrado a continuación.

Figura 11

Distribución de las edades de los trabajadores según su actividad



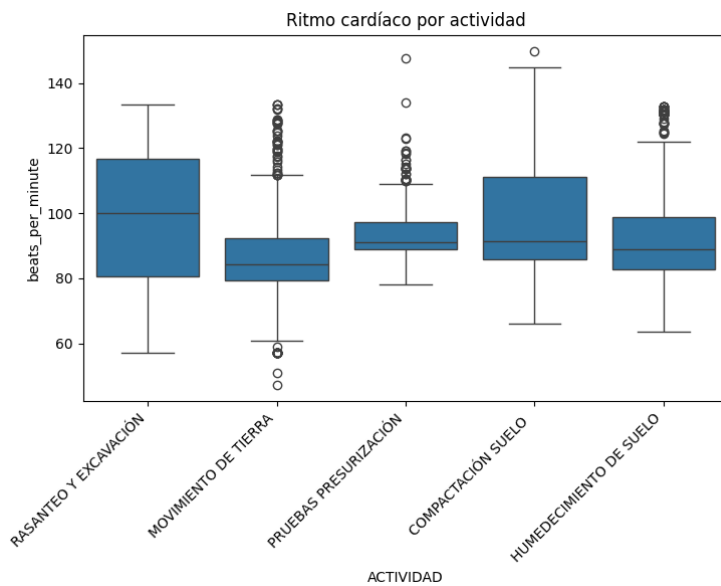
Nota. La imagen muestra mediante un diagrama de cajas las edades de los trabajadores en cada actividad laboral asignada.

De la gráfica anterior se puede apreciar la inexistencia de valores atípicos. Las actividades donde se requiere un mayor esfuerzo físico como la compactación de suelo, movimiento de tierras y rasanteo y excavación tienen un rango intercuartílico de gente más joven, cuyas edades más comunes están alrededor de los 30 y 40 años. Por otra parte, las pruebas de presurización a pesar de requerir un alto esfuerzo físico se designan a personas en un rango de edad de 30 a 60 años, cuya mediana se encuentra en los 50 años, a pesar de ser una actividad cuya demanda física es alta, parece haber una preferencia con las personas de mayor experiencia. Es importante recalcar lo siguiente, la actividad de compactación de suelo tiene menor dispersión de datos pudiendo sugerir una preferencia por cierto grupo etario.

Variabilidad entre el WBGT y el Ritmo cardíaco respecto a cada actividad

Figura 12

Ritmo Cardíaco por actividad



Nota. La imagen muestra mediante un diagrama de cajas las frecuencias cardíacas de los trabajadores en cada actividad laboral asignada

De la gráfica se aprecia lo siguiente:

La mediana en la gráfica se encuentra entre 80 y 100 pulsaciones por minuto.

Rasanteo y excavación

No muestra valores atípicos

El bigote superior sobrepasa los 120 bpm

Movimiento de tierra

Presenta mayor cantidad de outliers

Tiene una baja dispersión de datos

El bigote superior no llega a los 120 bpm

Pruebas de presurización

Tiene menor dispersión de datos sobre las otras actividades

Tiene solo valores atípicos altos

Su rango intercuartílico se encuentra entre 80 y 100 bpm

Compactación de suelo

Presenta mayor asimetría positiva

Tiene un solo valor atípico sobre los 140 bpm

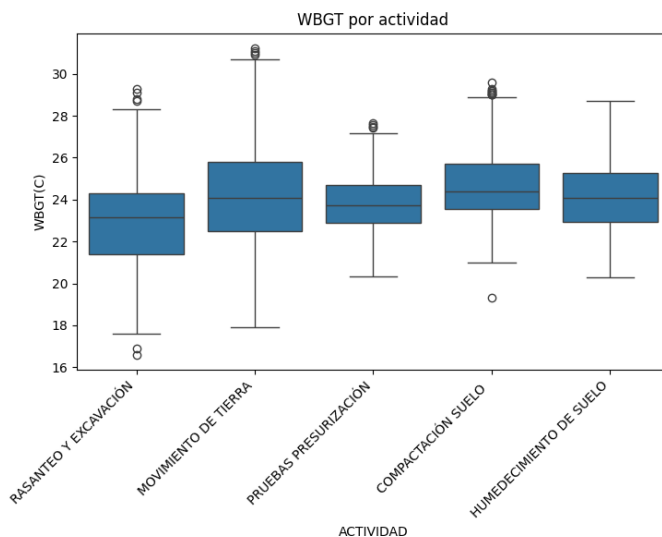
Humedecimiento de suelo

Presenta valores atípicos altos

Su rango intercuartílico se encuentra entre 80 y 100 bpm con una asimetría positiva

Figura 13

Índice WBGT por actividad



Nota. La imagen muestra mediante un diagrama de cajas el índice WBGT al cual se encontraron expuestos los trabajadores durante cada actividad laboral asignada.

De la gráfica anterior se destaca los valores de la mediana situados alrededor de los 24°C en todas las actividades, sugiriendo similares condiciones ambientales en el desempeño de las actividades analizadas, y por cada actividad se puede observar lo siguiente:

Rasanteo y Excavación:

Se observan valores atípicos superiores que superan los 28 °C, así como valores inferiores cercanos a los 16 °C.

El bigote superior apenas sobrepasa los 28 °C, mientras que el inferior se ubica alrededor de los 16 °C.

Movimiento de Tierra:

Hay valores atípicos superiores que exceden los 30 °C.

El bigote inferior alcanza los 18 °C.

Esta actividad presenta la menor dispersión de datos entre todas las evaluadas.

Pruebas de Presurización:

Se registran valores atípicos que superan los 26 °C.

El bigote inferior está por encima de los 20 °C.

Compactación de Suelo:

El bigote inferior se encuentra por encima de los 20 °C.

Se identifican valores atípicos en el rango de 28 a 30 °C.

El bigote superior supera los 28 °C.

Humedecimiento de Suelo:

No se registran valores atípicos en esta actividad.

Presenta una baja dispersión de datos.

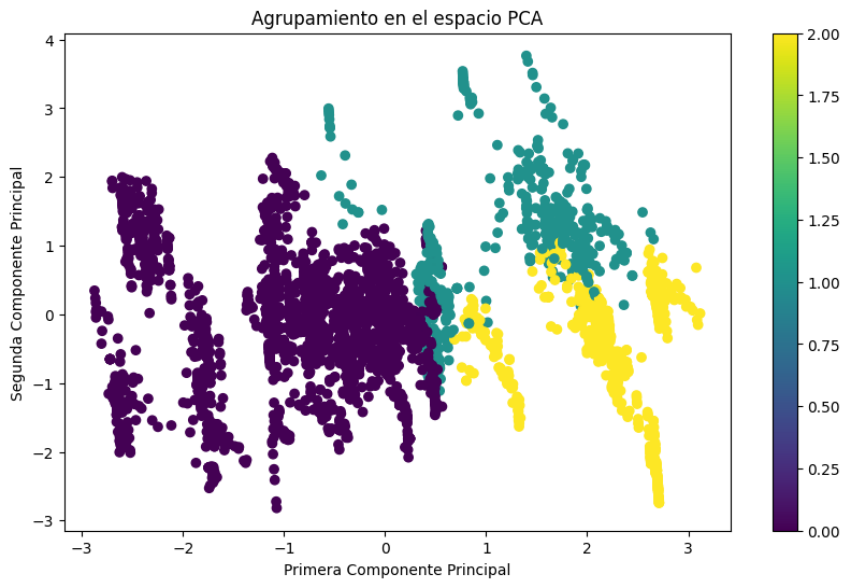
El bigote inferior está por encima de los 20 °C, mientras que el bigote superior sobrepasa los 28 °C.

Análisis de Componentes Principales con las variables

Para un mejor entendimiento de las variables se aplicó el análisis de componentes principales para la identificación de grupos homogéneos dentro de los datos obtenidos, en la gráfica mostrada a continuación se observa la agrupación de los participantes en el espacio definido por la Primera y Segunda componente principal.

Figura 14

Agrupamiento de datos en el espacio PCA



Nota. La imagen muestra un agrupamiento bidimensional de las componentes principales.

El análisis realizado presenta tres agrupamientos, reflejado con colores y de los cuales se obtuvo las siguientes características de la tabla a continuación:

Tabla 5

Características de los clústeres

Cluster	Frecuencia cardíaca [pulsos/min]	WBGT [°C]	Edad [años]	Talla [m]	Peso [Kg]	ICM
0	93.07	23.89	38	1.58	60.97	24.55
1	87.43	24.87	35	1.72	72.87	24.74
2	104.01	23.05	34	1.67	76.86	27.73

Cluster 0 (color morado): los trabajadores de este grupo son los de mayor edad y con una carga física de trabajo pesada en relación con los otros grupos.

Cluster 1 (color verde): en este grupo se encuentran trabajadores físicamente más robustos y expuestos al índice WBGT más alto.

Cluster 2 (color amarillo): representa a los trabajadores más jóvenes, los participantes presentan la frecuencia cardíaca más alta y el índice WBGT más bajo

Figura 15

Relación de Varianza

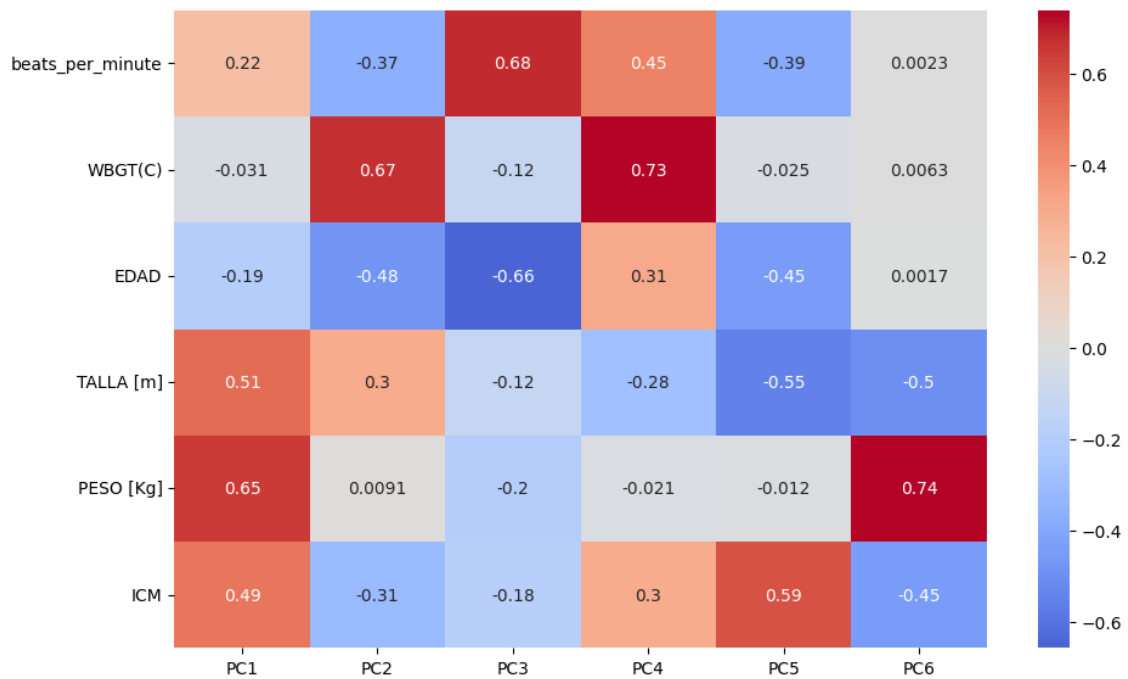


Nota. La imagen muestra en cuantas componentes principales se obtiene la varianza acumulada explicada.

Este análisis explica alrededor del 58% de la varianza con las dos primeras componentes principales tal como se muestra en la siguiente figura, con tres componentes más del 70% y con seis componentes el cien por ciento de los datos.

Figura 16

Importancia de las características de los componentes de PCA



Nota. La gráfica anterior muestra la variable más destacable dentro de esa componente principal (PC), representada por los colores rojo y azul más intenso.

La PC1 tiene como variables más importantes el peso y la talla.

La PC2 muestra el WBGT y la edad como variables más importantes, siendo la última una relación negativa.

La PC3 se relaciona positivamente con la frecuencia cardíaca y negativamente con la edad

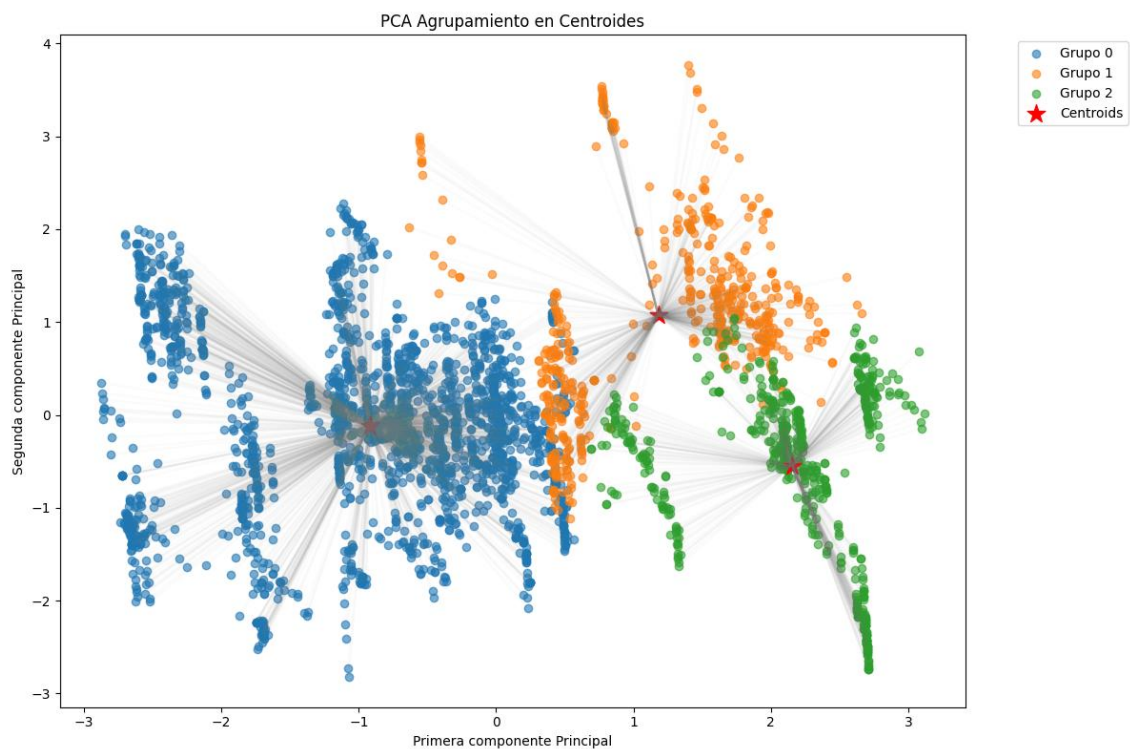
La PC4 destaca al WBGT de entre el resto de variables

La PC5 se relaciona con las características físicas como peso, talla y edad

Finalmente en la PC6 está relacionada con el peso de los individuos.

Figura 17

Agrupamiento de datos en los centroides

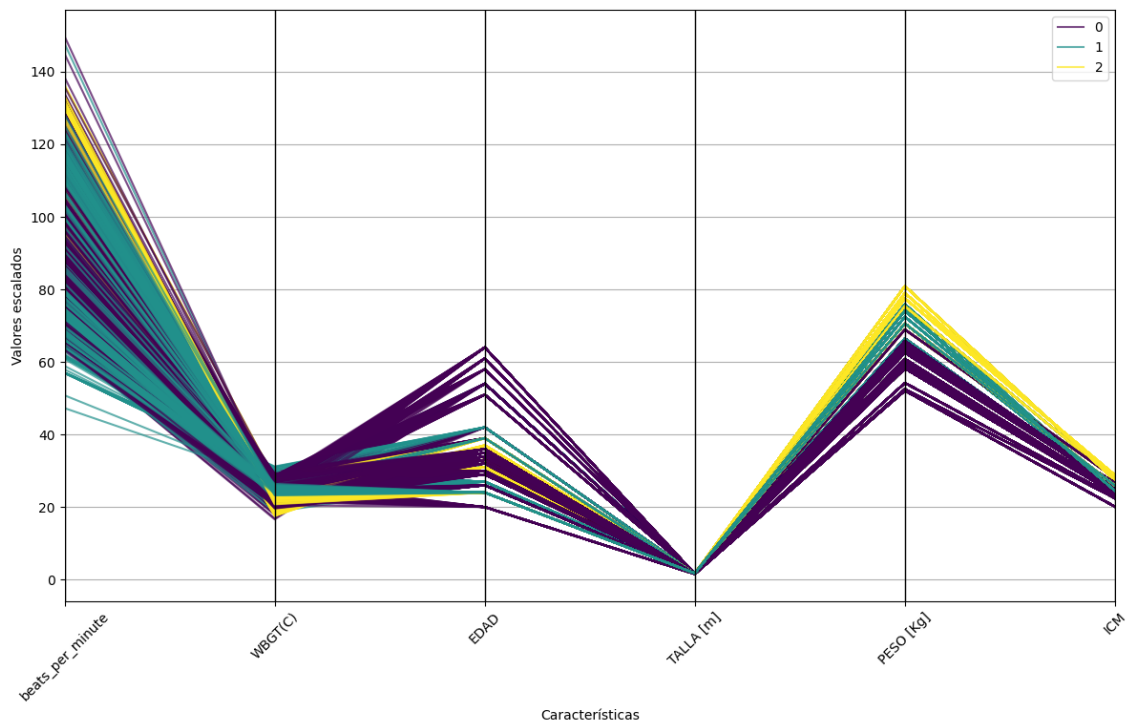


Nota. En la gráfica muestra tres agrupamientos en las dos componentes principales, cada grupo representado por un color diferente y donde las estrellas rojas representan la ubicación de los centroides

La gráfica anterior muestra los agrupamientos de los datos en tres clústeres: Grupo 0, Grupo 1 y Grupo 2, con sus respectivos centroides, respecto a la primera y segunda Componente Principal, eje X y eje Y respectivamente. Las líneas de esta gráfica permiten visualizar de mejor manera la distancia de cada dato al centroide y su pertenencia a cada clúster.

Figura 18

Coordenadas paralelas para clústeres

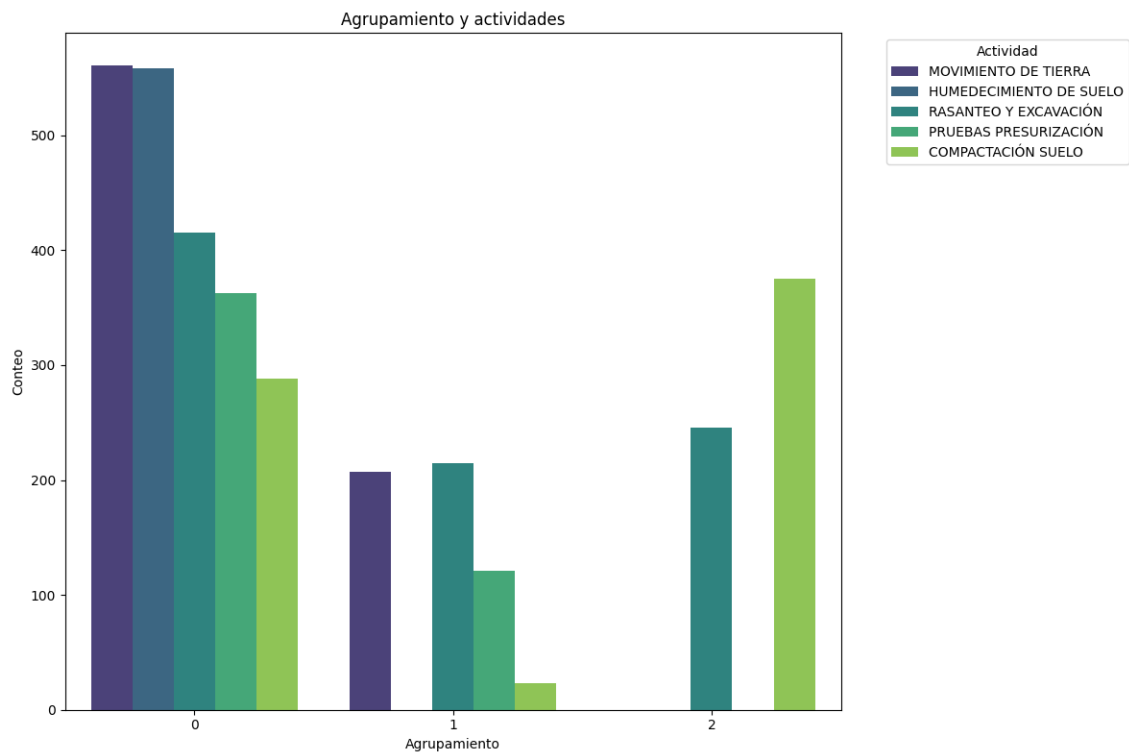


Nota. Se puede visualizar tres colores correspondientes a los diferentes clústeres.

El gráfico anterior muestra los perfiles individuales de los trabajadores por medio de múltiples características. Las líneas representan a cada individuo, el eje de las abscisas contiene a las variables y el eje de las ordenadas contiene los valores escalados, por tanto la trayectoria de cada línea indica los niveles de cada característica para esa persona, denominados valores escalados. Los participantes están agrupados en tres grupos como se indicó en la figura. Mediante un algoritmo de agrupamiento, donde se muestra a los individuos con más alto peso e índice WBGT agrupados en el clúster 2, mientras los valores más bajos tienen a concentrarse en el clúster 1. La importancia de esta gráfica radica en la una mejor comprensión de las características más contribuyentes con la diferenciación de cada clúster.

Figura 19

Agrupamiento y actividades

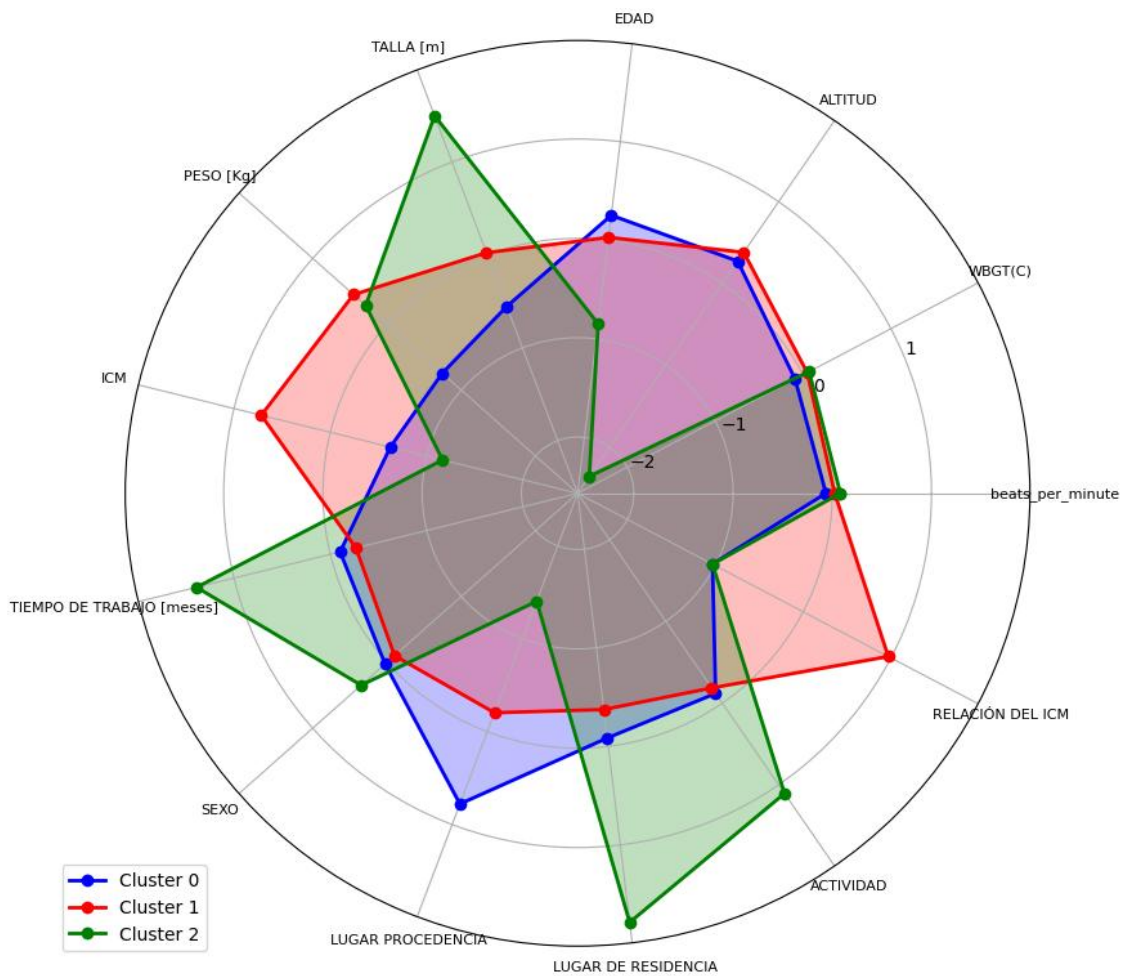


Nota. La gráfica muestra las actividades laborales de cada clúster

Como indica el diagrama de barras, en el clúster 0 hay un agrupamiento de todas las actividades analizadas disminuyendo el número de estas en los otros clústeres. Existe también dominancia de la actividad de Movimiento de Tierra, sugiriendo a esta como actividad más común. En los clústeres 1 y 2 la actividad más dominante es humedecimiento de suelo y compactación de suelo respectivamente.

Figura 20

Diagrama de radar de características de los clústeres



Nota. El gráfico de radar permite visualizar de manera más dinámica el comportamiento de todas las variables en cada clúster.

En este gráfico se representan datos multivariados en un diagrama bidimensional, cuyos puntos de cada eje corresponden a la mediana de cada variable, destacando cuatro variables correspondientes a los clústeres 0, 1 y 2. Se pueden apreciar diferencias significativas en las variables del índice WBGT y la frecuencia cardíaca, particularmente entre los clústeres 0 y 1, donde estas variables presentan valores más elevados, también se muestra una importante similitud en la edad de estos participantes. Sin embargo, en el clúster 2 se encuentra el valor más alto de frecuencia cardíaca pero el WBGT más bajo.

Esta gráfica de radar es el resultado del análisis de componentes principales y el agrupamiento obtenido de manera exitosa, en esta se encuentran todas las variables analizadas y se puede obtener la información:

El índice WBGT en el Clúster 1 y 2 se encuentran básicamente en el mismo punto, y el clúster 0 muy cercano a estos dos, sugiriendo una similitud de condiciones ambientales para los tres grupos, lo cual coincide con la Figura 15. WBGT promedio por actividad, donde se puede visualizar a todas las actividades en un rango con poca diferencia.

Las pulsaciones por minuto, representando al ritmo cardíaco, también se encuentran en un rango similar en los tres clústeres, un dato interesante si se observa a la actividad para el clúster 0 y 1 en un punto cercano, mientras que el clúster 2 se encuentra más alejado, así también el tiempo de trabajo para este último presenta una gran diferencia en relación con los otros dos clústeres.

En el clúster dos se aprecia una relación entre la talla y la altitud, en donde las personas más altas dentro del grupo de estudio son las personas provenientes de la región costa además son personas jóvenes, cuya edad se encuentra en el rango de 30 – 40 años de edad. Este grupo también tiene un mayor tiempo de trabajo en la empresa, sugiriendo una mayor adaptación fisiológica. Al observar la Tabla 3, los participantes presentaban una categorización desde ligera hasta penosa, por debajo de “Extremadamente duro”, en donde se categorizan los otros clústeres, a pesar de realizar las mismas actividades laborales.

Rendimiento laboral

Uso de la Escala SOFI -SM

Se aplicó el cuestionario de la escala SOFI-SM a los 30 participantes para el análisis del nivel de fatiga según la percepción de los participantes frente a las actividades físicas realizadas, obteniéndose los resultados mostrados en la tabla.

Tabla 6

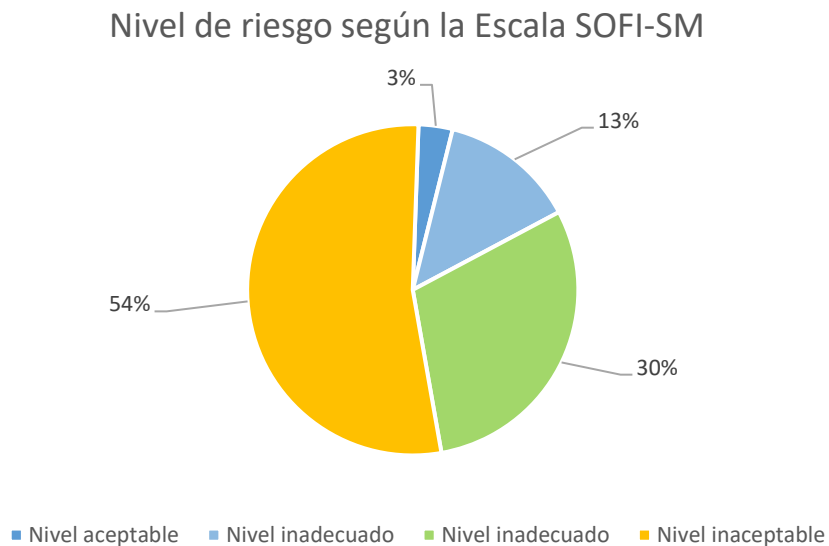
Nivel de riesgo de los participantes

Nivel de riesgo	Número de Trabajadores	Porcentaje
Nivel aceptable	1	3.33%
Nivel inadecuado	4	13.33%
Nivel inadecuado	9	30.00%
Nivel inaceptable	16	53.33%

A penas un trabajador presentó un nivel de riesgo aceptable, presentando más de la mitad de los participantes un nivel inaceptable de riesgo. Para conocer qué dimensión presenta una mayor puntuación se detalla la tabla.

Figura 21

Estimación de riesgo laboral según la escala SOFI-SM



Nota. La gráfica muestra el porcentaje de participantes con niveles de riesgo desde aceptables hasta inaceptables, siendo estos últimos la mayoría.

Tabla 7

Dimensiones de la escala SOFI-SM

Dimensión	Porcentaje de resultados
Falta de energía	20.58 %
Cansancio físico	17.50%
Disconfort físico	16.79%
Falta de motivación	18.31%
Somnolencia	14.82%
Irritabilidad	12.00%

Como se puede apreciar en la gráfica las puntuaciones más grandes están relacionados con síntomas físicos como cansancio, disconfort y falta de energía, representando más del 50% del total de los datos.

Tiempos de descanso

Tabla 8

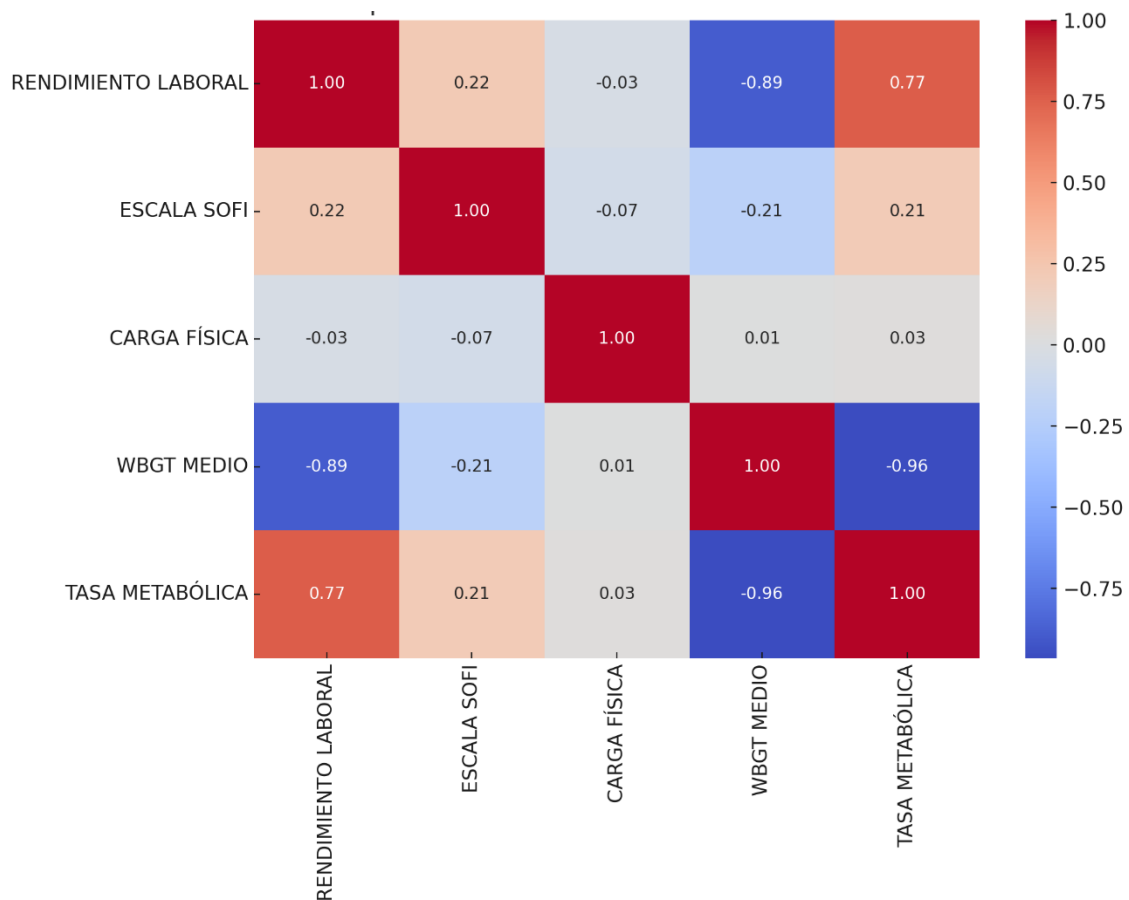
Cálculo del rendimiento laboral a partir del tiempo de descanso

No TRABAJADOR	DESCANSO ESPERADO [horas]	DESCANSO OBTENIDO [horas]	RENDIMIENTO LABORAL [%]
1	0.67	0.93	87
2	0.67	1.20	84
3	0.67	1.98	73
4	0.67	1.45	80
5	0.67	1.58	78
6	0.67	1.27	83
7	0.67	1.72	77
8	0.67	1.72	77
9	0.67	0.91	88
10	0.67	1.02	86
11	0.67	1.02	86
12	0.67	1.02	86
13	0.67	1.77	76
14	0.67	2.08	72
15	0.67	3.67	50
16	0.67	0.98	87
17	0.67	1.13	85
18	0.67	3.72	49
19	0.67	0.70	90
20	0.67	3.62	51
21	0.67	1.72	77
22	0.67	0.97	87
23	0.67	3.70	50
24	0.67	1.03	86
25	0.67	1.73	76
26	0.67	1.73	76
27	0.67	1.42	81
28	0.67	1.42	81
29	0.67	1.80	75
30	0.67	1.53	79

A partir de la tabla 8 se puede identificar que las jornadas con WBGT más altos, los descansos se extendieron hasta 3,7 horas, frente a un descanso esperado de 0,67 horas, lo que implica una reducción del rendimiento laboral a 49%. Los trabajadores asociados con este valor de tiempo de descanso estuvieron asignados exclusivamente a la actividad de Pruebas de Presurización.

Figura 22

Matriz de correlación



Este análisis permite apreciar una fuerte correlación negativa entre el WBGT medio y el rendimiento laboral y muy baja relación con la carga física, cuyo resultado indica el aumento de tiempo de descanso a mayores temperaturas independientemente de la actividad física realizada.

4.2 Discusión

4.2.1 Discusión de resultados y análisis crítico

Con base en los datos recopilados durante este estudio, se obtuvieron algunos resultados destacables los cuales fueron analizados y han sido comparados con otras investigaciones similares realizadas a nivel nacional e internacional.

Inicialmente se realizó una estimación de la tasa metabólica, la cual arrojó resultados bastante elevados para los trabajadores, presentando una tasa metabólica muy alta para el 87% de los trabajadores, lo cual muestra el nivel de exigencia en el trabajo de construcción en el cual a pesar de contar con actividades como “Humedecimiento de suelo”, aparentemente no muy exigentes, la combinación del esfuerzo y las condiciones ambientales influyen directamente este resultado elevado de la tasa metabólica. Sin embargo, este hallazgo es congruente con estudios parecidos como el de (Abinaya Ishwarya & Rajkumar, 2020) donde se evidenció un cambio en las condiciones fisiológicas de los trabajadores expuestos a condiciones ambientales abiertas donde la temperatura es alta y la actividad laboral pesada. Por ende, estos hallazgos sugieren una demanda física similar en el entorno laboral de la construcción, debido a su alineación con otras investigaciones realizadas a lo largo del tiempo, así también la tasa metabólica alta estimada en el presente trabajo es un referente importante de la carga física a la cual se exponen los obreros en el sector de la construcción y su conocimiento es fundamental para implementar o mejorar las medidas de seguridad y salud ocupacional de cada empresa.

En la publicación de (Al-Bouwarthan et al., 2019), también se hace referencia a una lista dentro de las cuales las actividades concernientes al sector de la construcción pueden ir desde moderadas hasta muy pesadas, descartando completamente la cualificación de la carga física como liviana, Artículo 3 añade el incremento de esta carga física cuando las condiciones ambientales superan los límites permisibles.

En el artículo de (Shakerian et al., 2021), se menciona lo fundamental de la determinación de la tasa metabólica de los trabajadores cuyas actividades laborales son demandantes físicamente, con el objetivo de garantizar condiciones laborales adecuadas y en pro de los trabajadores, y mediante la implantación de un programa de prevención de riesgos que involucre capacitación tanto de las personas afectadas como de sus supervisores y mandos

superiores, para de esta manera implementar las medidas preventivas o correctivas necesarias en la empresa. (Yi Wen & Chan Arlbert, 2020) sugiere una capacitación con enfoque en del estrés térmico y los beneficios de mejorar las condiciones laborales para los obreros, de esta manera se puede cambiar la cultura de seguridad y salud ocupacional destacando la prevención de riesgos como una inversión y no un gasto económico.

Bajo el antecedente mencionado por (Yi Wen & Chan Arlbert, 2020), se estableció un programa de prevención encabezado por la capacitación al personal en prácticas de trabajo seguras, riesgos en el trabajo, destacando las consecuencias del estrés térmico y su prevención al realizar actividades a cielo abierto cuya carga física sea alta. La programación de pausas cada determinado tiempo, es otro aspecto importante para tratar debido a la necesidad del cuerpo humano a recuperarse después de exponerse a un esfuerzo físico altamente demandante. La implementación de estas medidas es beneficiosa si se busca concientizar a la población trabajadora sobre la importancia de generar una cultura de seguridad, es importante recalcar que una pausa en el trabajo no implica una pérdida económica, al contrario, va a mejorar considerablemente el desempeño de los obreros y por ende la eficiencia en los procesos productivos.

Para saber las condiciones laborales a las cuales los trabajadores se encontraban expuestos eran las adecuadas para descartar estrés térmico se estimó la tasa metabólica de los participantes mediante el monitoreo de la frecuencia cardíaca simultáneamente con el índice WBGT, estudios como el de (Rasdan Ismail et al., 2020), han determinado la existencia de una relación entre estos dos factores, sin embargo al realizar la toma de datos se evidenció la baja relación entre variables a las características físicas de cada persona. Por esta razón fue necesario comenzar con una encuesta donde los participantes den a conocer su percepción ante las actividades laborales, en esta encuesta se pudo constatar que apenas un trabajador de los 30 participantes manifestaba niveles adecuados en el desarrollo de sus labores destacando características como la falta de energía y cansancio y discomfort físico.

Mediante los valores establecidos en la norma (International Standard Organization, 2021) y a través del monitoreo del índice WBGT se pudo apreciar de una manera más clara el tipo de tasa metabólica predominante, siendo esta “Muy alta” y apenas el 10% de los participantes se encontraban en un rango moderado superando de esta manera los límites recomendados

dentro de esta norma, reafirmando así la necesidad de evaluar el estrés térmico en condiciones ambientales calurosas.

De las cinco actividades laborales realizadas por los trabajadores en la construcción de alcantarillado y agua potable el humedecimiento de suelo aparentaba ser una actividad con carga física ligera, sin embargo, posterior al análisis se obtuvo como resultado una demanda física alta por parte de los trabajadores que realizaban esta actividad cuando las condiciones ambientales no eran favorables, indicando de esta manera la gran influencia del calor frente a cualquier tipo de actividad.

Así también el análisis de componentes principales fue de gran ayuda para la asociación de variables en donde por medio de la matriz de correlaciones se evidenció la inexistente relación entre el índice WBGT y la frecuencia cardíaca siendo estos indicadores clave del impacto del estrés térmico en los trabajadores. A pesar de no estar correlacionadas estas variables, son fundamentales para obtener la carga física y la tasa metabólica. Las variables analizadas de peso, estatura, tiempo de trabajo y sexo tienen una menor influencia en los resultados, no siendo menos importantes. Especialmente el tiempo de trabajo, al contar todos los participantes con un período mínimo de 8 meses de trabajo estos tienen mayor adaptación fisiológica, por otro lado, el sexo de los trabajadores si es una limitante al contar con apenas tres mujeres en el grupo de estudio, debido a la poca oferta de personal femenino en las actividades de albañilería. Otro aspecto importante para destacar es la edad de los participantes, parece no existir una preferencia en la edad del trabajador al momento de la asignación de tareas dando como resultado valores altos en la frecuencia cardíaca en todas las actividades laborales.

A través de la segmentación por clústeres se expone la existencia de tres grupos diferenciados dentro de la población de estudio los cuales están relacionados con diferentes factores como la exposición al calor, carga física de trabajo, edad, peso, tiempo de trabajo, esta diferenciación es muestra como algunas personas pueden ser más susceptibles a los efectos del calor afectando su rendimiento laboral, lo cual está en concordancia con estudios previos como el realizado por (Abinaya Ishwarya & Rajkumar, 2020). En donde los trabajadores expuestos a condiciones ambientales extremas reducen su productividad en comparación con

aquellos cuyas condiciones laborales son adecuadas o al menos se encuentran dentro de los límites permisibles.

Desde un punto de vista práctico los resultados de este estudio consolidan la necesidad de implementar medidas preventivas en ambientes laborales a cielo abierto donde la exposición al calor sea alta y así evitar la presencia de estrés térmico y enfatiza la importancia de monitorear continuamente a los trabajadores para conocer la efectividad de estas medidas. Otros aspectos importantes que forman parte del plan de prevención son la buena hidratación, rotación de tareas y proporcionar el descanso en un área donde exista sombra.

4.2.2 Fortalezas y limitaciones

Desde un punto de vista práctico los resultados de este estudio consolidan la necesidad de implementar medidas preventivas en ambientes laborales a cielo abierto donde la exposición al calor sea alta y así evitar la presencia de estrés térmico y enfatizar la importancia de monitorear continuamente a los trabajadores con instrumentos validados para conocer la efectividad de estas medidas.

Entre las limitaciones más relevantes del estudio se encuentra el tamaño de la muestra limitado a una sola obra y a una población de apenas treinta participantes, lo cual restringe la generalización de los resultados a otras regiones o condiciones laborales. Así también el monitoreo realizado en un período específico (agosto-septiembre), impide identificar variaciones estacionales.

En cuanto al el rendimiento laboral, este puede estar influenciado por factores externos como la calidad del sueño, motivación personal, alimentación los cuales no fueron considerados y el uso de las herramientas cualitativas como la escala SOFI - SM al estar condicionada por la subjetividad se convierten en una gran limitante en la extrapolación de hallazgos.

CAPÍTULO V

5. PROPUESTA

Como parte de los resultados obtenidos en este estudio, se identificó la necesidad de implementar un protocolo de prevención para mitigar los efectos del estrés térmico en el rendimiento de los trabajadores del sector de la construcción de alcantarillado y agua potable (Anexo H). Esta propuesta se muestra en forma de guía de verificación rápida y en concordancia con las recomendaciones internacionales de Salud, Seguridad e Higiene Ocupacional, con el fin de facilitar su aplicación de manera práctica y servir como un apoyo para fortalecer la prevención de riesgos en temperaturas calientes a cielo abierto, garantizando mejores condiciones de trabajo. El objetivo de esta propuesta es generar una línea base de gestión enfocada en la evaluación y el abordaje integral del factor de riesgo estrés térmico en trabajadores a cielo abierto en altas temperaturas.

Es imprescindible abrir nuevas líneas de investigación para ampliar los conocimientos relacionados con este estudio, con el desarrollo de la Inteligencia Artificial se pueden crear modelos para predecir el comportamiento fisiológico del individuo a través de la información de las condiciones ambientales y la actividad física, estos resultados serían útiles para deducir el tiempo exacto de recuperación de los individuos y mejorar sus condiciones de salud y eficiencia en el trabajo.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Los resultados obtenidos a partir del análisis del índice WBGT permitieron estimar la tasa metabólica de los trabajadores, evidenciando que en su mayoría alcanzaron valores altos. La tasa metabólica mostró una fuerte relación positiva con el rendimiento laboral (0.77), lo que sugiere que los trabajadores con mayor adaptación fisiológica o mejor condición física podrían mantener un mejor desempeño bajo condiciones de calor.

Sin embargo, al combinar estos datos con el nivel elevado de carga física asociada a las tareas realizadas, se concluye que los participantes evaluados están expuestos a condiciones compatibles con la presencia de estrés térmico.

El índice WBGT y la frecuencia cardiaca tienen una correlación inversa muy baja, sin embargo, esa correlación no implica causalidad, es decir, si existe un incremento del índice WBGT no necesariamente bajará la frecuencia cardiaca debido a que esta depende del tipo de actividad laboral, a pesar de que toda la población analizada presentó cargas físicas altas, no se identificó una relación significativa entre esta variable y el rendimiento laboral, con un valor de -0.03, lo cual reafirma que el factor ambiental térmico tiene mayor influencia en la productividad que el tipo de actividad realizada.

Los resultados de esta investigación muestran una correlación negativa entre el índice WBGT y el rendimiento laboral, con un valor de -0.89, así como una correlación muy baja entre este último y la carga física de trabajo, de apenas 0.01. Esto sugiere que, a medida que aumentan los niveles de estrés térmico, los trabajadores tienden a prolongar sus tiempos de descanso, lo cual evidencia una influencia directa de las condiciones ambientales sobre su desempeño. Esta tendencia se presenta independientemente del tipo de labor realizada, incluso en las actividades laborales que demandan un alto esfuerzo físico. En los días con mayor exposición solar, el incremento en las pausas puede generar retrasos en el cumplimiento de las actividades programadas, afectando así los tiempos establecidos para la ejecución de la obra. En los análisis de agrupamiento, el clúster 2 agrupó a trabajadores con menor rendimiento, mayores tiempos de exposición y menor tiempo de trabajo en el proyecto, lo cual evidencia

la necesidad de adaptar las estrategias preventivas a las condiciones individuales de los trabajadores.

Según los resultados de la escala SOFI, el 20.58% de los trabajadores reportó falta de energía, mientras que el 18.31% indicó falta de motivación y el 17.50% manifestó cansancio físico, lo que sugiere que el estrés térmico también incide en aspectos subjetivos y emocionales del rendimiento.

Recomendaciones

A partir de los resultados obtenidos, en la empresa constructora ubicada en el sector de Tumbaco, Ecuador, se recomienda establecer programas de formación y capacitación dirigidos a todo el personal, haciendo énfasis en la importancia de respetar los tiempos de descanso bajo sombra durante la ejecución de labores a cielo abierto en climas tropicales – secos. Esta medida busca fortalecer la conciencia sobre la prevención de riesgos y fomentar prácticas laborales más seguras y eficientes que beneficien tanto a la salud de los trabajadores como al cumplimiento de los cronogramas de obra. Los resultados obtenidos en este estudio evidencian la necesidad de considerar al estrés térmico como un factor determinante en la planificación de cronogramas de trabajo en zonas con condiciones ambientales similares.

Los resultados obtenidos en este estudio evidencian la necesidad de considerar al estrés térmico como un factor determinante en la planificación de cronogramas de trabajo, especialmente en zonas con condiciones ambientales similares a las de Tumbaco. Por ello, se recomienda implementar monitoreos regulares del índice WBGT y de la carga física de trabajo en los obreros que ejecutan labores de construcción de redes de alcantarillado y agua potable, con el fin de ajustar los tiempos de descanso y prevenir afectaciones en la salud y el rendimiento laboral.

El incorporar monitoreos de la frecuencia cardíaca y del índice WBGT, así como el uso de la escala SOFI – SM como parte de la gestión de riesgos en un proyecto de construcción de redes de alcantarillado y agua potable permite identificar patrones de riesgo de estrés térmico y fatiga física, lo cual puede ser usado para adaptar las condiciones de trabajo de los obreros para mejorar su rendimiento laboral.

En este estudio se han identificado posibles líneas de investigación futuras orientadas a la relación de tiempos de trabajo y descanso durante la jornada laboral, de manera que estos puedan ajustarse a las condiciones reales del entorno y cumplir con los tiempos de trabajo planificados preservando el bienestar y la salud de los trabajadores. Así también es necesario considerar poblaciones más grandes de mujeres con el fin de identificar posibles diferencias fisiológicas frente al estrés térmico.

REFERENCIAS

- Abinaya Ishwarya, G. K., & Rajkumar, D. (2020). Analysis of ergonomic risk factors in construction industry. *Materials Today: Proceedings*, 37(Part 2), 2415–2418. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.08.269>
- Afshari, D., Nourollahi-Darabad, M., & Shirali, G.-A. (2021). Applicability of WBGT index in determining the allowance working time in hot climate conditions. In *Journal of Health and Safety at Work* (Vol. 11, Issue 4). <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>
- Ahmadi, M., Choobineh, A., Mousavizadeh, A., & Daneshmandi, H. (2022). Physical and psychological workloads and their association with occupational fatigue among hospital service personnel. *BMC Health Services Research*, 22(1). <https://doi.org/10.1186/s12913-022-08530-0>
- Al-Bouwarthan, M., Quinn, M. M., Kriebel, D., & Wegman, D. H. (2019). Assessment of heat stress exposure among construction workers in the hot desert climate of Saudi Arabia. *Annals of Work Exposures and Health*, 63(5), 505–520. <https://doi.org/10.1093/annweh/wxz033>
- Al-Bouwarthan, M., Quinn, M. M., Kriebel, D., & Wegman, D. H. (2020). A Field Evaluation of Construction Workers' Activity, Hydration Status, and Heat Strain in the Extreme Summer Heat of Saudi Arabia. *Annals of Work Exposures and Health*, 64(5), 522–535. <https://doi.org/10.1093/annweh/wxaa029>
- Asih, I., Setiawan, I., Hernadewita, H., & Hendra, H. (2022). Effects of ergonomics intervention on work accidents in the construction sector and their effect on productivity. *Jurnal Sistem Dan Manajemen Industri*, 6(1), 44–55. <https://doi.org/10.30656/jsmi.v6i1.4242>
- Barranco-Mejía, N., López-Pérez, F., Torres-Salazar, M. del C., & Albornoz-Góngora, P. M. (2024). Gestión de aguas pluviales y sustentabilidad urbana. Una revisión. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 15(3), 423–460. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2024-03-10>

- Bauer, S., Bux, K., Dieterich, F., Gabriel, K., Kienast, C., Klar, S., & Alexander, T. (2022). *Bericht Klimawandel und Arbeitsschutz* (Vol. 1). BAUA. <https://doi.org/10.21934/baua:bericht20220601>
- Brimicombe, C., Lo, C. H. B., Pappenberger, F., Di Napoli, C., Maciel, P., Quintino, T., Cornforth, R., & Cloke, H. L. (2023). Wet Bulb Globe Temperature: Indicating Extreme Heat Risk on a Global Grid. *GeoHealth*, 7(2). <https://doi.org/10.1029/2022GH000701>
- Briones-Vélez, J. A., & Mera-Párraga, M. J. (2024). Prevención de riesgos físicos por exposición a temperaturas en una empresa de producción. *MQRInvestigar*, 8(3), 2654–2675. <https://doi.org/10.56048/mqr20225.8.3.2024.2654-2675>
- Chavarría, ricardo. (2024). *NTP 177: La carga física de Trabajo: definición y evaluación*. <https://www.insst.es/documentacion/colecciones-tecnicas/ntp-notas-tecnicas-de-prevencion/5-serie-ntp-numeros-156-a-190-ano-1986/ntp-177-la-carga-fisica-de-trabajo-definicion-y-evaluacion>
- De Vries, J., Michielsen, H. J., & Heck, V. (2020). *Assessment of fatigue among working people: a comparison of six questionnaires*. www.occenvmed.com
- Decreto Ejecutivo No 255: Reglamento de Seguridad y Salud En El Trabajo, Pub. L. No. 255, Ministerio del Trabajo 6 (2024). [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://strapi.lexis.com.ec/uploads/Decreto_Ejecutivo_No_255_20240402195905_20240402195909_20240402195912_2fba92849a.pdf](https://strapi.lexis.com.ec/uploads/Decreto_Ejecutivo_No_255_20240402195905_20240402195909_20240402195912_2fba92849a.pdf)
- Dena, J. (2021). *Asociación de rabdomiólisis y Mortalidad en los pacientes con golpe de calor en el Hospital General de Mexicali durante el periodo de mayo 2018 a Julio del 2018*.
- Fiallos, Germán. (2021). La Correlación de Pearson y el proceso de regresión por el Método de Mínimos Cuadrados. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 5(3), 2491–2509. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v5i3.466
- Geno Phillip. (2022). *Assessment of Heat Stress Exposure on Construction Workers in Warm and Humid Enviroment* (Vol. 1). University of Nairobi.

- Geraldo Campos, L. A. (2022). Validación de la escala desempeño laboral individual en colaboradores peruanos. *Revista de Investigación En Psicología*, 25(1), 63–81. <https://doi.org/10.15381/rinvp.v25i1.21920>
- Ghafoori, M., Clevenger, C., Abdallah, M., & Rens, K. (2023). Heart rate modeling and prediction of construction workers based on physical activity using deep learning. *Automation in Construction*, 155, 105077. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.105077>
- Giovanny Brito-Aguilar, J. I., & Bolívar Cabezas-Ramos, C. I. (2021). *La Gestión del Talento Humano para un Rendimiento Laboral Efectivo The management of human talent for an effective job performance A gestão do talento humano para um desempenho profissional eficaz*. 63(11), 742–761. <https://doi.org/10.23857/pc.v6i11.3296>
- Gonzales, Kimberly., & López, Y. (2024). *Evaluación y propuesta de las condiciones de estrés térmico en la empresa CHSA*.
- Guo Yueping, Chan Albert PC, Wong Francis KW, Li Yi, Shu Shun, & Han Xiao. (2020). Developing a Hybrid cooling vest for combating heat stress in the construction industry. *Textile Research Journal*, 14.
- Han, S., Dong, L., Weng, Y., & Xiang, J. (2024). Heat exposure and productivity loss among construction workers: a meta-analysis. *BMC Public Health*, 24(1), 3252. <https://doi.org/10.1186/s12889-024-20744-x>
- Hashiguchi, N., Lim, Y., Sya, C., Kuroishi, S., Miyazaki, S., Kitahara, S., Kobayashi, T., Tateyamada, K., & Kodama, K. (2020). Real-time judgment of workload using heart rate and physical activity. *Proceedings of the 37th International Symposium on Automation and Robotics in Construction, ISARC 2020: From Demonstration to Practical Use - To New Stage of Construction Robot*, 849–856. <https://doi.org/10.22260/isarc2020/0117>
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología - INAMHI. (2024). *Boletín de predicción climática*. <https://servicios.inamhi.gob.ec/clima1/>

Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST), O. A. , M. P. (2023). *Evaluación del riesgo de estrés térmico: Índice WBGT*.

International Standard Organization. (2017, August). *Ergonomics of the thermal environment - Assessment of heat stress using the WBGT (wet bulb globe temperature) index (ISO 7243:2017 E)*. International Standard Organization. <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0059074>

International Standard Organization. (2021). *Ergonomics of the thermal environment - Determination of metabolic rate (ISO 8996-2021)*. International Standard Organization. https://www.google.com/search?q=iso+8996&rlz=1C1ALOY_esEC974EC974&oq=iso+8996&gs_lcrp=EgZjaHJvbWUqDggAEEUYJxg7GIAEGIoFMg4IABBFgCcYOxiABBiKBTIGCAEQRRhAMgcIAhAAGIAEMggIAxAAGBYHjIICAQQABgWGB4yDAgFEAAyChgPGBYYHjIICAYQABgWGB4yBggHEEUYPNIBCDMwNDFqMGo3qAIAAsIA&sourceid=chrome&ie=UTF-8

Jalalifar, S., Kashizadeh, A., Mahmood, I., Belford, A., Drake, N., Razmjou, A., & Asadnia, M. (2022). A Smart Multi-Sensor Device to Detect Distress in Swimmers. *Sensors*, 22(3). <https://doi.org/10.3390/s22031059>

Kjellstrom, T., Holmer, I., & Lemke, B. (2009). Workplace heat stress, health and productivity-an increasing challenge for low and middle-income countries during climate change. *Global Health Action*, 2(1). <https://doi.org/10.3402/gha.v2i0.2047>

Koteng, P. O. G. (2023). Construction Site Heat Stress Levels using the WBGT Index. In *International Journal of Scientific Research and Engineering Development* (Vol. 6). www.ijsred.com

Lewandowski, S. A. (2022). *Observed Impacts of Environmental Conditions on Heat Illness Morbidity in the Military*.

María, V., Delgado, V., Narcisa, M., & Gómez, M. (2023). *Ergonomía*. www.utb.edu.ec

Marukatat, S. (2023). Tutorial on PCA and approximate PCA and approximate kernel PCA. *Artificial Intelligence Review*, 56(6), 5445–5477. <https://doi.org/10.1007/s10462-022-10297-z>

- Meza, Oscar. (2023). *Desarrollo de una aplicación web para fomentar el razonamiento sobre comparación de grupos con diagramas de caja*.
- Nacional de Seguridad Higiene en el Trabajo - INSHT, I. (n.d.). *Nota técnica de prevención - NTP 922*. <http://calculadores.insht.es:86>
- Nizam, C. M., Ismail, A. R., & Husshin, N. (2021). A Review of Heat Stress Impact Towards Construction Workers Productivities and Health Based on Several Heat Stress Model. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, 85(1), 161–168. <https://doi.org/10.37934/arfmts.85.1.161168>
- Oliva Jessica. (2023). *Prevalencia del estrés térmico por calor y sintomatologías asociadas a la salud en trabajadores de la empresa Constructora TechnoMacro S.A*. Universidad Técnica del Ecuador.
- Omer AHMED, H., Abdelaziz BINDEKHAİN, J., Ibrahim ALSHUWEIHI, M., Abdikarim YUNIS, M., & Rashid MATAR, N. (2020). *Assessment of thermal exposure level among construction workers in UAE using WBGT, HSI and TWL indices*.
- Organización Internacional del Trabajo (OIT). (2019). Trabajar en un planeta más caliente: El impacto del estrés térmico en la productividad laboral y el trabajo decente. In *Organización Internacional del Trabajo*. <https://www.ilo.org/es/publications/major-publications/trabajar-en-un-planeta-mas-caliente-el-impacto-del-estres-termico-en-la>
- Organización Mundial de la Salud. (2019). *CIE-11 Guía de Referencia: Clasificación Internacional de Enfermedades para Estadísticas de Mortalidad y Morbilidad*.
- Pan American Health Organization. (2023). *CIE-11 Guía internacional de enfermedades para estadísticas de mortalidad y morbilidad*.
- Protocolo Para La Medición de Estrés Térmico (2013).
- Ramírez Murillo, U. S. T., Torres-Pinzón, C. A., & Forero-García, E. F. (2019). Estimación del potencial fotovoltaico mediante minería de datos en cuatro ciudades de Colombia. *TecnoLógicas*, 22(46), 77–97. <https://doi.org/10.22430/22565337.1345>

- Rasdan Ismail, A., Jusoh, N., Amin Mahd Asri, M., Md Zein, R., Abdul Rahman, I., Kamilah Makhtar, N., & Mohamed, D. (2020). The factor affecting heat stress in industrial workers exposed to extreme heat: A case study of methodology. *Journal of Physics: Conference Series*, 1630(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1630/1/012001>
- Sabrin, S., Zech, W. C., Nazari, R., & Karimi, M. (2021). Understanding occupational heat exposure in the United States and proposing a quantifying stress index. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 94(8), 1983–2000. <https://doi.org/10.1007/s00420-021-01711-0>
- Salvendy, Gavriel. (2020). *Handbook of human factors and ergonomics*. John Wiley & Sons.
- Schober, P., & Schwarte, L. A. (2018). Correlation coefficients: Appropriate use and interpretation. *Anesthesia and Analgesia*, 126(5), 1763–1768. <https://doi.org/10.1213/ANE.0000000000002864>
- Sebastián Cárdenas, P., Lucas, M., García, I., Manuel, V., Lagares, L., Elhadad, A., & Ismael, F. (2020). *SOFI-SM: CUESTIONARIO PARA EL ANÁLISIS DE LA FATIGA LABORAL FÍSICA, MENTAL Y PSÍQUICA*.
- Shakerian, S., Habibnezhad, M., Ojha, A., Lee, G., Liu, Y., Jebelli, H., & Lee, S. H. (2021). Assessing occupational risk of heat stress at construction: A worker-centric wearable sensor-based approach. *Safety Science*, 142. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2021.105395>
- Srinivasan, K., Mohan, S., & Berlin Raj, J. T. (2020). *Occupational Heat Stress: A Technical Scan* (IntechOpen, Vol. 1). www.intechopen.com
- Tijani, B., Jin, X., & Osei-kyei, R. (2021). A systematic review of mental stressors in the construction industry. In *International Journal of Building Pathology and Adaptation* (Vol. 39, Issue 2, pp. 433–460). Emerald Group Holdings Ltd. <https://doi.org/10.1108/IJBPA-02-2020-0011>
- Ulloa, C. (2023). *Estimación de Carga Física Mediante el Consumo Metabólico e Índice WBGT para Linieros Eléctricos Sucumbios - Ecuador*. Universidad Técnica del Norte.
- Urgilés Martínez, N. S., & Ortega-Castro, J.-C. (2021). Criterios de selección de mano de obra calificada para un proyecto de construcción de redes de alcantarillado y agua

potable en la ciudad de Cuenca. *ConcienciaDigital*, 4(3), 40–53.
<https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v4i3.1763>

Vásquez, L. D. (2020). *Diseño de redes de agua potable y alcantarillado de la comunidad campesina La Ensenada de Collana Distrito de Pachacamac mediante el uso de los programas de watercad y sewerCAD*. Pontificia Universidad Católica del Perú.

Venegas-Vásquez, D., Ayabaca-Sarria, C., Reina-Guzman, S., Tipanluisa-Sarchi, L., & Farías-Fuentes, Ó. (2024). Sistemas de gas licuado de petróleo: una revisión sobre lineamientos de diseño y dimensionamiento. *Ingenius*, 31, 81–94.
<https://doi.org/10.17163/ings.n31.2024.07>

WorkSafeBC. (2023). Preventing Heat Stress at Work. *Workers Compensation Board of British Columbia*.

Yajure Ramírez, C. A. (2022). Uso de algoritmos de Machine Learning para analizar los datos de energía eléctrica facturada en la Ciudad de Buenos Aires durante el período 2010–2021. *Ciencia, Ingenierías y Aplicaciones*, 5(2), 7–37.
<https://doi.org/10.22206/cyap.2022.v5i2.pp7-37>

Yi Wen, & Chan Arlbert. (2020). Critical Review of Labor Productivity Research in Construction Journals. *Journal of Management in Engineering*, 2.

ANEXOS

Anexo A. Certificado de calibración del Medidor de estrés térmico: WBGT Datalogger

CERTIFICATE OF CALIBRATION Issued By : Laboratorio Electrónico Date of Issue : 13 September 2024	Certificate Number 11678
	Page 1 of 1



Laboratorio Electrónico
CELEC EP - Unidad de Negocio Coca Codo Sinclair
Central Hidroeléctrica Coca Codo Sinclair
Av. 6 de Diciembre N31-110 y Whymper
593) 2 381 4300 Ext:437
Código postal: 170517 / Quito-Ecuador

Approved Signatory



Instrument /Device	ID Number	n/a		
	Description	Heat Stress / WBGT Datalogger		
	Manufacturer	TRIPLETT		
	Model Number	HSDL300		
	Serial Number	2300338		
	Procedure	P_Temp_WBGT	Date Received:	12/09/2024
	Location	Laboratorio CCS	Last Cert:	n/a

Comments

Instrument Specifications	Temperature Range	32 to 122°F (0 to 50°C)
	Temperature Accuracy	±1.8°F (0.6°C)
	Humidity Range	0.1 to 99.9%RH
	Humidity Accuracy	±3%RH(@25°C, 10~90%RH) Other ±5%RH
	WBGT Range	32 to 122°F (0 to 50°C)

Environmental Conditions

Temperature: 25.6°C
Relative Humidity: 57.4%

Traceability Information

Instrument Description	Serial Number	Certificate Number	Calibration Date	Calibration Due Date
Fluke 971	4135097	3000111147	01/12/2023	01/12/2025

Test Description

Instrument	Air Temperature	Humidity	Absolute Error	Pass/Fail
Fluke 971	25.6°C	57.4%		
TRIPLETT HSDL300	25.9°C	55.6%	0.3°C/1.8%	Pass

Calibrated by: **Laboratorio Electrónico CCS** Date of Calibration: **13 September 2024** Calibration Due: **12 September 2025**

Anexo B: Ficha Técnica del iGPSPORT HR40 Monitor de frecuencia cardíaca

Dispositivo	Monitor de frecuencia cardiaca de doble banda con alta sensibilidad.
Resistencia al agua	IPX7
Longitud correa del pecho	65-95 cm
Peso	49±1g (pila de botón CR2032 incluida)
Dimensiones	59.8×35.5×11.9 mm
Rango de medición	40-240 lpm
Transmisión inalámbrica	Bluetooth 4.0 y ANT+ / 2.4G
Autonomía	Hasta 340 horas (uso normal)
Contenido	1x HR40 1x Correa para el pecho 1x Manual de usuario

Anexo C: Cuestionario Escala SOFI - SM

ESCALA SOFI - SM

Nombre:

C.I.

Cargo:

Fecha:

Marque con un aspa (X) en qué medida las expresiones siguientes describen cómo se siente habitualmente al final de su jornada laboral. Utilice la escala que está a la derecha de cada expresión donde 0= "nada en absoluto" y 10= "en alto grado".

DIMENSION	SENSACION	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	PTJ
FE	Agotado												
	Exhausto												
	Extenuado												
CF	Respirando con dificultad												
	Palpitaciones												
	Con calor												
DF	Con las articulaciones agarrotadas												
	Entumecido												
	Dolorido												
FM	Apático												
	Pasivo												
	Indiferente												
SM	Somnoliento												
	Durmiéndome												
	Bostezante												
IR	Irritable												
	Enojado												
	Furioso												
TOTAL													

Puntuación total: _____ X 100 = _____ /600 = _____ Nivel: _____

Acciones: _____

INTERPRETACIÓN ESCALA SOFI – SM

DIMENSIÓN	ÍTEMS
FALTA DE ENERGÍA Anergia, sentimientos generales de fuerza disminuida	Agotado
	Exhausto
	Extenuado
CANSANCIO FÍSICO Sensaciones corporales generales que pueden ser el resultado de un trabajo dinámico y hasta cierto punto, el signo de un agotamiento metabólico	Respirando con dificultad
	Palpitaciones
	Con calor
DISCONFORT FÍSICO Describe sensaciones corporales más localizadas que pueden ser el resultado de una carga de trabajo estática o isométrica	Con las articulaciones agarrotadas
	Entumecido
	Dolorido
FALTA DE MOTIVACIÓN Hace referencia al sentimiento de no estar comprometido ni entusiasmado con el trabajo	Apático
	Pasivo
	Indiferente
SOMNOLENCIA Recoge sensaciones de somnolencia	Somnoliento
	Durmiendome
	Bostezante
IRRITABILIDAD Dimensión que describe sensaciones de irritación, nerviosismo, enojo o irascibilidad.	Irritable
	Enojado
	Furioso

CALIFICACIÓN:

Cada ítem es valorado mediante una escala de 0 a 10 y cada dimensión obtiene una puntuación de 0 a 100.

Se añade una medida de valor conjunto llamada SSM – Índex (Sofi spanish modified version index) obtenida del sumatorio de las puntuaciones en cada de las dimensiones de fatiga (6) multiplicado por 100 y dividido por 600, de este modo el SSM – Índex arroja una puntuación de la fatiga global de 0 a 100.

Estimación de riesgo laboral

Estimación orientativa de gradación análoga a la propuesta para el instrumento NASA – TLX en el “Manual de procedimiento de la Consellería de Sanitat Valenciana”.

PUNTUACION SSM - INDEX	NIVEL DE RIESGO	ACCIONES
0-25	Nivel aceptable	No acciones
26-50	Nivel inadecuado	Acciones aconsejadas
51-75	Nivel inadecuado	Acciones prioritarias
76-100	Nivel inaceptable	Acciones inmediatas

Anexo D: Monitoreo del índice WBGT en las diferentes actividades laborales



Fotografía 1. Medición de índice WBGT en actividad laboral de rasanteo.



Fotografía 2. *Medición de índice WBGT en actividad laboral de humedecimiento de suelo*



Fotografía 3. *Medición de índice WBGT en actividad laboral de movimiento de tierras.*



Fotografía 4. *Medición de índice WBGT en actividad laboral de compactación de suelo.*



Fotografía 5. *Medición de índice WBGT en actividad laboral de pruebas de presurización*

Anexo D: Caracterización del grupo de estudio y área de trabajo



Anexo F: Encuesta realizada a los trabajadores mediante el cuestionario escala SOFI - SM



Anexo E: Ubicación del HR40 iGPSPORT Monitor de frecuencia cardíaca



Anexo H: Propuesta para prevención de estrés térmico para trabajos de construcción a cielo abierto

EMPRESA CONSTRUCTORA		PROTOCOLO DE PREVENCIÓN DE ESTRÉS TÉRMICO PARA TRABAJOS DE CONSTRUCCIÓN A CIELO				Código	REG-SSO-01
						Rev.	1
Fecha							
Nombres y apellidos							
Cédula de identidad							
Empresa				Dirección			
Cargo							
Actividades							
Horario de trabajo			Lunes a viernes			Sábado	Domingo
Responda SI o NO de acuerdo a como corresponda							
1	Se capacitó al trabajador en los riesgos del estrés térmico, causas y prevención?						
<input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No							
2	El lugar de trabajo dispone de puntos de hidratación cerca del puesto de trabajo						
<input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No							
3	El trabajador se hidrata al menos una vez cada hora?						
<input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No							
4	Se ha considerado la dotación de bebidas con electrolitos para los días más calurosos?						
<input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No							
5	El lugar de trabajo cuenta con lugares de sombra o refugios donde se pueda realizar descansos?						
<input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No							
6	Se ha socializado la importancia del uso de bloqueador solar para evitar las quemaduras de la piel?						
<input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No							
7	La ropa de trabajo tiene un Coeficiente de Aislamiento de la Vestimenta (CAV) adecuado para las condiciones térmicas de la jornada laboral?						
<input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No							
8	Se ha monitoreado las condiciones ambientales?						
<input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No							
9	Se ha aplicado alguna modificación en la jornada de trabajo para evitar laborar en las horas pico de calor?						
<input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No							

10	Se ha realizado rotación de tareas cuando estas requieren una carga laboral física alta?	<input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No
11	El valor del índice WBGT en las horas pico de calor cumple con los límites permisibles establecidos en el Art. 8 del Anexo 3 de la Norma Técnica en Seguridad e Higiene del Trabajo?	<input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No
12	Los equipos usados para monitoreo han sido calibrados?	<input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No
13	El trabajador cuenta con los exámenes ocupacionales determinados por la ley del Ecuador?	<input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No
14	Se ha realizado monitoreo de los signos vitales del trabajador, como la frecuencia cardíaca?	<input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No
15	El trabajador presenta alguna enfermedad catastrófica que lo vuelva más vulnerable a los efectos del calor?	<input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No
16	Se ha establecido un protocolo de acción en caso de manifestarse algún síntoma de golpe de calor?	<input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No
17	Detalle las medidas adicionales adoptadas por la empresa para prevenir la sobrecarga térmica	
CATEGORÍAS DE CRITICIDAD DE LAS PREGUNTAS		
CATEGORÍA	COLOR	ACCIÓN
Crítica	Rojo	Suspender las actividades hasta corregir
Moderada	Amarillo	Corregir en paralelo con las actividades
Baja	Azul	Mejorar continuamente
INSTRUCCIONES GENERALES		
Si la respuesta es SÍ, continuar con el trabajo		
Si la respuesta es NO y la condición es crítica, suspender el trabajo hasta corregir		
Si la respuesta es No y la condición es moderada o baja, aplicar las debidas correcciones sin suspender el trabajo.		