

Universidad Nacional de Ingeniería

Facultad de Ingeniería Ambiental



TESIS

**“Evaluación de la exposición al calor del personal de una
planta de fundición de una mina de oro utilizando la metodología
del índice TGBH”**

Para obtener el título de profesional de Ingeniero de Higiene y Seguridad Industrial

Elaborado por:

Jose Luis Rodriguez León

 [0009-0009-2881-689X](https://orcid.org/0009-0009-2881-689X)

Asesor:

Ing. Jorge Alberto Villena Chavez

 [0000-0003-2564-5158](https://orcid.org/0000-0003-2564-5158)

LIMA - PERÚ

2025

Citar/How to cite	Rodriguez León (1)
Referencia/Reference	(1) J. Rodriguez León, " <i>Evaluación de la exposición al calor del personal de una planta de fundición de una mina de oro utilizando la metodología del índice TGBH</i> " (Tesis de pregrado). Lima (Perú): Universidad Nacional de Ingeniería, 2025.
Estilo/Style: IEEE (2020)	

Citar/How to cite	(Rodriguez, 2025)
Referencia/Reference	Rodriguez, J. (2025). <i>Evaluación de la exposición al calor del personal de una planta de fundición de una mina de oro utilizando la metodología del índice TGBH</i> . (Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería). Repositorio institucional Cybertesis UNI.
Estilo/Style: APA (7ma ed.)	

Dedicatoria

A mis abuelos, mamama y papapa, por ser esas personas quienes me motivan a ser una buena persona y a continuar creciendo en el amor ayer, hoy y siempre.

Agradecimiento

Agradezco a mis padres, Angélica y Victor por el soporte brindado durante toda mi etapa académica y por el esfuerzo cada día. A mis hermanos, Cecilia y Victor, por el soporte emocional y por acompañarme en mis aventuras. A la UNI, mi alma mater, por los sólidos conocimientos técnicos impartidos y a mi asesor, Ing. Jorge Villena por el soporte para el desarrollo del presente trabajo académico.

Resumen

La presente investigación se centra en estimar los niveles de estrés térmico por calor en las que están expuestos los colaboradores de una planta de fundición de una mina de oro ubicada a más de 4400 m.s.n.m. utilizando la metodología del índice de Temperatura del Globo y Bulbo Húmedo (TGBH) de acuerdo con la metodología ISO 7243:2017, identificando los puestos de trabajo con mayor riesgo a estrés térmico, los riesgos a la salud y su relación con el índice de masa corporal (IMC).

La tesis aborda el análisis utilizando la normativa nacional e internacional, con un enfoque cuantitativo y descriptivo, evaluando las condiciones ambientales de la planta, las actividades físicas involucradas en la operación del horno y la ropa de trabajo utilizada. Asimismo, se realiza la evaluación subjetiva de la percepción del estado térmico bajo la metodología UNE-UNE-EN ISO 10551:2019, el cual analiza el estado del trabajador y del lugar donde se ejecuta la actividad.

Los resultados de la investigación brindan información sobre el nivel de estrés térmico por calor, lo cual permite establecer medidas preventivas para la disminución del riesgo, resaltando la importancia de controlar los riesgos térmicos en el trabajo para mejorar el bienestar y productividad de los colaboradores, cumpliendo con la normativa nacional de seguridad y salud ocupacional.

Palabras Clave – Estrés térmico por calor, Higiene Ocupacional, Metodología TGBH, percepción de estado térmico, Planta de Fundición, Minería.

Abstract

The current research focuses on estimating the levels of heat stress to which the workers of a smelting plant in a gold mine, located at over 4,400 meters above sea level, are exposed, using the Wet Bulb Globe Temperature (WBGT) methodology in accordance with the ISO 7243:2017 standard. It identifies the job positions with the highest risk of thermal stress, the associated health risks, and their relationship with the Body Mass Index (BMI).

The thesis applies to both national and international standards, with a quantitative and descriptive approach, evaluating the environmental conditions of the plant, the physical activities involved in furnace operation, and the work clothing used. Additionally, a subjective assessment of thermal perception is conducted following the UNE-EN ISO 10551:2019 methodology, which analyzes the worker's condition and the environment where the activity takes place.

The research results provide information on the level of heat stress, enabling the establishment of preventive measures to reduce risk. It highlights the importance of controlling thermal risks in the workplace to improve the well-being and productivity of the workers, ensuring compliance with national occupational health and safety regulations.

Keywords – Heat stress, Occupational Hygiene, WBGT methodology, thermal perception, Smelting Plant, Mining.

Tabla de contenido

Resumen.....	v
Abstract.....	vi
Introducción	xvi
Capítulo I: Parte introductoria del trabajo	1
1.1 Generalidades	1
1.2 Descripción del problema.....	2
1.2.1 Problema general	2
1.2.2 Problemas específicos	2
1.3 Objetivos del estudio.....	2
1.3.1 Objetivo general	2
1.3.2 Objetivos específicos.....	2
1.4 Justificación y viabilidad	3
1.4.1 Justificación e importancia.....	3
1.4.2 Viabilidad y factibilidad	5
1.5 Antecedentes investigativos.....	6
1.5.1 Antecedentes nacionales	6
1.5.2 Antecedentes internacionales.....	8
Capítulo II: Marco teórico y conceptual	11
2.1 Marco Teórico.....	11
2.1.1 Termodinámica y Energía	11
2.1.2 Balance del Calor Humano.....	14
2.1.3 Termorregulación del Cuerpo Humano.....	19

2.1.4 Estrés Térmico	21
2.1.5 Efectos del Calor Sobre el Organismo	24
2.2 Marco Conceptual.....	28
2.2.1 Índice de Evaluación Térmica.....	28
2.2.2 Ergonomía del Ambiente Térmico	37
2.2.3 Medidas Preventivas y de Control en Ambientes Térmicos	39
2.3 Marco Legal.....	42
2.2.1 Normativa Nacional	42
Capítulo III: Hipótesis y variabilidad	45
3.1 Hipótesis de la investigación	45
3.1.1 Hipótesis general.....	45
3.1.2 Hipótesis específicas.....	45
3.2 Variables.....	45
3.2.1 Variable Independiente.....	45
3.2.2 Variable Dependiente	45
3.2.3 Variable Intervenientes	45
3.3 Operacionalización de las variables	46
Capítulo IV: Desarrollo del trabajo de investigación	47
4.1 Características generales	47
4.2 Actividades y mapa de procesos.....	47
4.2.1 Actividades principales.....	47
4.2.2 Mapa de procesos.....	48
4.3 Proceso operativo	49

4.3.1 Chancando y Reclamo de Mineral.....	49
4.3.2 Lixiviación de Mineral	51
4.3.3 Poza de Solución Pregnant (PLS) y Poza de Grandes Eventos (PGE)	52
4.3.4 Planta de Adsorción, Desorción y Reactivación de Carbón	53
4.3.5 Fundición y Obtención de Barras Doré	57
4.4 Descripción del Procedimiento Operativo del Proceso de Fundición.....	58
4.4.1 Descripción del proceso	58
4.4.2 Personal	61
4.4.3 Equipos de Protección Personal.....	62
4.4.4 Equipos de Trabajo	63
4.4.5 Herramientas.....	63
4.4.6 Materiales.....	64
4.5 Tipo y diseño de la investigación	65
4.6 Unidad de análisis	65
4.7 Población y muestra de estudio	65
4.8 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	66
4.9 Técnica de recolección de datos.....	67
4.10 Instrumento de recolección de datos	67
4.11 Análisis e interpretación de la información	68
Capítulo V: Análisis y discusión de resultados	69
5.1 Proceso de obtención de datos.....	69
5.1.1 Recolección de información.....	69
5.1.2 Instrumentos y herramientas	70

5.1.3 Caracterización del Nivel de Exposición	71
5.1.4 Determinación del Valor Límite Umbral	72
5.1.6 Ubicación de los Puntos de Medición	75
5.1.8 Evaluación Subjetiva de Percepción del Estado Térmico	77
5.1.8 Validación de los datos.....	80
5.2 Resultados del método de índice TGBH	80
5.3 Resultados del método de percepción subjetiva de ambientes térmicos.....	83
5.3 Resultados a los objetivos planteados	87
Conclusiones	93
Recomendaciones	95
Referencias bibliográficas	97
Anexos.....	101

Lista de tablas

Tabla 1.	Clasificación de la tasa metabólica (en W/m ²) para tipos de actividad.	16
Tabla 2.	Tasa metabólica (en W/m ²) en función de la parte del cuerpo empleado y de la intensidad del trabajo ejecutado con ella.....	17
Tabla 3.	Tasa metabólica (en W/m ²) según actividades específicas.	18
Tabla 4.	Valores del aislamiento de la ropa en clo.....	24
Tabla 5.	Distancias verticales o alturas (en metros) para medición del índice TGBH.	29
Tabla 6.	Valores de ajuste de la vestimenta para cálculo del TGBHeff.	33
Tabla 7.	Categorías de tasas metabólicas y tasas metabólica representativa.	35
Tabla 8.	Matriz de consistencia	46
Tabla 9.	Distribución de actividades por personal.....	61
Tabla 10.	Instrumento utilizado para la medición.....	70
Tabla 11.	Clasificación de niveles de exposición.	71
Tabla 12.	Tipos de trabajo clasificados según con el gasto energético.....	72
Tabla 13.	Tipos de trabajo clasificados según con el gasto energético.....	74
Tabla 14.	Tabla de la escala perceptiva.	77
Tabla 15.	Tabla de la escala afectiva.....	77
Tabla 16.	Tabla de la escala de preferencia térmica.....	78
Tabla 17.	Tabla de la escala de aceptabilidad personal.	78
Tabla 18.	Tabla de la escala de tolerancia personal.	79

Tabla 19.	Resultados de homogeneidad del ambiente térmico más crítico de la Plata de Fundición.....	80
Tabla 20.	Índice TGBH para puesto de trabajo Fundidor.....	81
Tabla 21.	Índice TGBH para puesto de trabajo Basculador.....	81
Tabla 22.	Índice TGBH para puesto de trabajo Lavador de lingotes.....	81
Tabla 23.	Estimación de la tasa metabólica para el puesto de trabajo fundidor.....	82
Tabla 24.	Estimación de la tasa metabólica para el puesto de trabajo basculador.....	82
Tabla 25.	Estimación de la tasa metabólica para el puesto de trabajo lavador de lingotes.....	82
Tabla 26.	Cálculo de TLV y Limite de acción para los puestos de trabajo en la Planta de Fundición.....	83
Tabla 27.	Población muestral para la evaluación de percepción del estado térmico y del ambiente de trabajo.....	84
Tabla 28.	Resultados primarios de la evaluación de la escala perceptiva de los colaboradores de la planta de fundición.....	84
Tabla 29.	Resultados primarios de la evaluación de la escala afectiva de los colaboradores de la planta de fundición.....	85
Tabla 30.	Resultados primarios de la evaluación de preferencia térmica de los colaboradores de la planta de fundición.....	85
Tabla 31.	Resultados primarios de la evaluación de aceptabilidad personal de los colaboradores de la planta de fundición.....	86
Tabla 32.	Resultados primarios de la evaluación de tolerancia personal de los colaboradores de la planta de fundición.....	87

Tabla 33.	Resumen de los resultados obtenidos para la evaluación de riesgos de exposición a calor en la Planta de Fundición.	88
Tabla 34.	Tabla de frecuencia observadas según las evaluaciones de percepción.	90
Tabla 35.	Tabla de frecuencia esperadas según las evaluaciones de percepción.	90

Lista de figuras

Figura 1. TLV (línea continua) y Límite de Acción (línea discontinua) para el estrés de calor.....	31
Figura 2. TLV para personal aclimatado y no aclimatado.....	34
Figura 3. Tipos de controles frente a las fuentes de calor.	41
Figura 4. Diagrama de bloques de la unidad minera.	48
Figura 5. Plano de ubicación de puntos de medición.	76
Figura 6. Resumen de evaluación subjetiva de estrés térmico.....	79

Lista de fórmulas

Fórmula 1. Cálculo de tasa de calor por convección.....	12
Fórmula 2. Cálculo de tasa de calor por radiación.	13
Fórmula 3. Cálculo de tasa de calor por evaporación.	14
Fórmula 4. Cálculo de balance de calor corporal.	15
Fórmula 5. Cálculo de temperatura corporal media.	20
Fórmula 6. Cálculo de TGBH sin exposición directa al sol (para interiores).	29
Fórmula 7. Cálculo de TGBH con exposición directa al sol (para exteriores).	29
Fórmula 8. Cálculo de índice TGBH medio.	30
Fórmula 9. Cálculo del Límite Máximo Permisible (TLV).....	32
Fórmula 10. Cálculo del Límite de Acción (AL).....	32
Fórmula 11. Cálculo para determinar el factor de corrección del M.	73
Fórmula 12. Cálculo para determinar la frecuencia esperada.....	90
Fórmula 13. Cálculo para el estadístico chi cuadrado.	91
Fórmula 14. Cálculo para determinación de los grados de libertad.	91

Introducción

El riesgo de estrés térmico por calor hoy en día es un desafío que las industrias que operan en condiciones de calor deben evaluar, como es el caso de las plantas de fundición debido a la operación de hornos que trabajan a altas temperaturas. El efecto del calor en los trabajadores significa un riesgo importante que debe ser abordado para evitar la ocurrencia de accidentes de trabajo o deterioro en la salud del personal que está expuesto a estos ambientes. Por ello, se vuelve crucial desarrollar estrategias para evaluar los entornos de trabajo e implementar condiciones adecuadas en estos espacios, para mejorar el bienestar de los trabajadores y potenciar la productividad de la organización.

En la presente investigación está orientada a evaluar los niveles de estrés térmico por calor en la planta de fundición de una mina de oro ubicada a 4400 m s.n.m. y el impacto en los trabajadores. La metodología utilizada es la del Índice de Temperatura del Globo y Bulbo Húmedo (TGBH), basada en la metodología ISO 7243:2017, la cual es la herramienta reconocida internacionalmente para la estimación del nivel riesgo de calor en ambientes de trabajo. Asimismo, sea definido identificar los puestos de trabajo con mayor exposición al calor, describir los riesgos asociados y su relación con el factor del índice de masa corporal de los trabajadores.

Las metodologías utilizadas se basan en un enfoque descriptivo y cuantitativo, que utilizan como referencia las normas internacionales, por otro lado, la investigación incorpora la evaluación de la percepción de térmica de los trabajadores debido a la influencia del ambiente físico, empleando escalas de juicio subjetivo para la valoración, basada en la metodología UNE-EN ISO 10551:2019. Los resultados de la investigación contribuyen a establecer medidas preventivas a reducir el riesgo de estrés térmico, para mejorar el bienestar y productividad de los trabajadores en condiciones de trabajo con altas temperaturas.

Capítulo I: Parte introductoria del trabajo

1.1 Generalidades

El proceso productivo para la obtención de barra doré en una mina de oro concluye en la etapa de Fundición en donde los cátodos electrolíticos se combinan con los fundentes y posterior a ello en un horno eléctrico se produce la fundición a altas temperaturas, para posterior a ello ejecutar la colada y así generar las barras requeridas. En dicho proceso existen diferentes riesgos térmicos provenientes de la misma operación del horno de fundición, así como las tareas biomecánicas que los empleados realizan en la actividad.

El riesgo térmico asociado en la ejecución de las tareas de fundición se evidencia principalmente gracias a la exigencia física de la actividad en zonas de grandes altitudes, la deshidratación de los colaboradores y la elevación de la temperatura a nivel ambiental. Es importante mencionar que si bien es cierto los riesgos de estrés térmico puede menoscabar la salud de los colaboradores dependiendo en gran medida de los factores fisiológicos que ellos mismos presentan según su capacidad de aclimatización. Por ende, cabe mencionar que el criterio técnico es muy importante al evaluar la tensión fisiológica y el nivel de estrés térmico por calor que proporcionen los lineamientos adecuados que protejan a la mayoría de los colaboradores con la correcta consideración de los factores personales y según el tipo de trabajo. (TLV's & BEI's, ACGIH 2024).

La presente investigación tiene por finalidad poder identificar los niveles de riesgo de estrés térmico correspondiente al proceso de fundición y disminuir la probabilidad de generación de algunas alteraciones médicas de los colaboradores.

1.2 Descripción del problema

1.2.1 Problema general

¿Cuáles son los niveles de exposición a estrés térmico al calor de los trabajadores de una Planta de Fundición de una mina de oro?

1.2.2 Problemas específicos

¿Cuál es la actividad dentro de la Planta de Fundición que presenta mayor estrés térmico?

¿Existe signos de presencia de tensión por calor en el desarrollo de las actividades de la Planta de Fundición?

¿Existe relación entre el nivel de confort térmico y el IMC de los colaboradores de una Planta de Fundición?

1.3 Objetivos del estudio

1.3.1 Objetivo general

Establecer los niveles de estrés térmico por calor a los que están expuestos los trabajadores de una Planta de Fundición de una mina de oro.

1.3.2 Objetivos específicos

Identificar la actividad dentro de la Planta de Fundición que presenta mayor exposición de estrés térmico.

Determinar si es que existen presencia de signos por tensión por calor en la ejecución de las tareas de la Planta de Fundición.

Reconocer si existe alguna relación entre el nivel de confort térmico y el IMC de los colaboradores de una Planta de Fundición.

1.4 Justificación y viabilidad

1.4.1 Justificación e importancia

Considerando que actualmente el mundo se encuentra en la búsqueda de mantener entornos de trabajos saludables y de acuerdo con la definición de salud según la Organización Mundial de la Salud - OMS (2014), quien la define como el estado de completo bienestar físico mental y social, no limitándose al concepto simple de la ausencia de la enfermedad. Es por lo que se propone realizar la presente investigación para incluir a la temperatura del trabajo como una variable a tener en consideración en las evaluaciones de riesgos ocupacionales.

Cabe mencionar que las organizaciones juegan un rol principal para asegurar y fomentar que existan estos entornos saludables, es por ello por lo que se vuelve importante debido a los siguientes puntos:

- La ética empresarial ha permitido durante los últimos años que las organizaciones se preocupen moralmente por desarrollar un entorno laboral que no afecte la salud de los colaboradores, incluyendo el bienestar y la seguridad. Existen circunstancias en que las organizaciones presentan presupuestos por encima de lo exigido en el marco normativo, dicho de otra manera, se preocupan por instaurar la Responsabilidad Social Corporativa, consiguiendo adicional a ello, un entorno de trabajo saludable y seguro.
- Lo que hace competitiva a una organización actualmente ya no solo se basa en términos económicos para compararse con otras empresas. Hoy en día, las organizaciones no solo trabajan para obtener ganancias económicas, sino también se ha incluido la

variable de bienestar. Por lo tanto, se ejecutan acciones necesarias para que las condiciones mentales y físicas sean saludables.

- En muchos países a nivel mundial, cuentan con legislaciones que exigen a las organizaciones establecer planes para proteger a sus colaboradores ante accidentes de trabajo. Es así como las organizaciones deben implementar distintas acciones para dar cumplimiento a lo establecido al marco legal vigente, evitando así sanciones o infracciones.

Este estado de bienestar que genera los ambientes de trabajo saludables busca mitigar las afectaciones médicas de los colaboradores en una organización. Entre las posibles consecuencias que podrían presentarse de no contar con un entorno laboral saludable tenemos:

- Reducción de la productividad laboral.
- Daños sobre la imagen de la organización.
- Incremento de los indicadores de accidentabilidad.
- Aumento del ausentismo laboral.
- Disminución en la motivación y compromiso.

La importancia de la presente investigación es debido a que busca poder evaluar el nivel de riesgo por estrés térmico a las que están inmerso los colaboradores que ejecutan las tareas en la planta de fundición de la mina de oro ubicada a más de 4400 m.s.n.m. Siendo la principal fuente de calor, el horno trabaja a altas temperaturas a fin de lograr fundir el mineral para la obtención de barra doré.

1.4.2 Viabilidad y factibilidad

La viabilidad de esta investigación que aborda la evaluación de estrés térmico por calor de la planta de fundición de una mina de oro, está asegurada debido a que se dispone de la información y evaluaciones realizadas en el entorno de trabajo permitiendo la recolección de primera mano de las condiciones de trabajo para la evaluación del riesgo de estrés térmico, asimismo, existe acceso a los colaboradores para poder recopilar la data de percepción subjetiva de las condiciones de operación de forma directa. Asimismo, se cuenta con la información operativa y los procedimientos de seguridad y salud correspondiente al caso en estudio.

La factibilidad del estudio se justifica con la disponibilidad de metodologías reconocidas internacionalmente como la de evaluación del Índice de Temperatura del Globo y Bulbo Húmedo (TGBH), basada en la metodología ISO 7243:2017 y la evaluación subjetiva bajo la metodología UNE-EN ISO 10551:2019, los cuales brindan el marco técnico requerido para la evaluación y posterior análisis para la determinación del riesgo de estrés térmico por calor en la planta de fundición.

Por otro lado, desde el punto de vista logístico y financiero, la investigación no demanda inversiones fuera del alcance del investigador, asimismo, se cuenta con la disposición e interés de desarrollar mejoras en las condiciones de trabajo que genere este estudio.

Dicho ello, la viabilidad y factibilidad de este estudio son aceptables, lo cual permiten desarrollar la presente investigación asegurando el cumplimiento de los objetivos establecidos.

1.5 Antecedentes investigativos

1.5.1 Antecedentes nacionales

Rivera, J. (2020) desarrolló la tesis denominada: "Riesgo de estrés térmico en los trabajadores expuestos al calor en un proceso térmico", para obtener el grado académico de Doctor en Ingeniería Industrial, en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, cuyo objetivo del estudio fue identificar los puestos de trabajo que evidencian una valoración aceptable de estrés térmico de acuerdo con la satisfacción de los colaboradores con exposición al calor en los procesos térmicos de una empresa siderúrgica en el Perú. En dicha investigación, se comprobó que el 60% de los puestos laborales presentaban un nivel de riesgo de estrés térmico no aceptable. Así también, en la evaluación de percepción laboral, el 83% de los empleados evaluados manifestaron que su percepción de estrés térmico influye directamente en sus niveles de satisfacción en el trabajo y a la vez, un 60% de la población asocia la inconformidad al aire que refrigera el ambiente térmico, es decir no encuentran satisfacción. Finalmente, para revertir estos resultados obtenidos, el autor recomienda proporcionar un mayor número de bebederos de agua (con un 0.1% de sal y azúcar) para el control de la deshidratación, el incremento a un 75% el tiempo de recuperación para la mejora del régimen trabajo-descanso y la ejecución de un rediseño de ingeniería a los puestos de trabajo asociados a la actividad.

Huamán, R. (2019) trabajó en la tesis denominada "Evaluación de estrés térmico por calor mediante la medición del índice TGBH a operario que realizan limpieza de fachadas en edificios empresariales utilizando la técnica de acceso por cuerdas", para la obtención del título profesional de Ingeniero de Higiene y

Seguridad Industrial, en la Universidad Nacional de Ingeniería, se propuso reconocer si los operarios de limpieza de fachadas de edificios se encontraban expuestos al riesgo de estrés térmico por calor durante el desarrollo de sus actividades de trabajo y determinar los controles establecidos en su matriz IPERC. En el cual se obtuvo como resultado que el puesto de Técnico de Accesos presentaba riesgo alto a estrés térmico para las actividades de limpieza en las fachadas, asimismo, se establecía las recomendaciones de implementar un programa de climatización, programa de monitoreo de salud y de regímenes de trabajo-descanso para evitar la realización de trabajo bajo situaciones críticas a exposición al calor. Finalmente se propone el despliegue de un programa de vigilancia médica que involucre una planificación integral nutricional para prevenir condiciones de obesidad y sobrepeso en los trabajadores.

Estocalenko, J. (2018) desarrolló una investigación titulada, "Estrés térmico por calor de los trabajadores en la cocina del comedor universitario de la Universidad Nacional de Ingeniería", para la obtención del título profesional de Ingeniero de Higiene y Seguridad Industrial, de la Universidad Nacional de Ingeniería, cuyo objetivo de estudio fue el de evaluar el nivel de riesgo a estrés térmico por calor al que estaban expuestos los colaboradores del área de cocina del comedor de la UNI, asimismo, el de aplicar y comparar las metodologías de evaluación de estrés térmico según la metodología TGBH, Fanger y la de ISC. Concluyéndose así que los colaboradores se presentan exposición a ambientes de trabajo con riesgo de estrés térmico por calor según la metodología de Fanger pudiéndose incurrir en consecuencias contra la salud del personal del área de cocina. Dentro de las áreas más críticas que se identificaron estuvieron la de

preparación de sopas y la del horneado, esto debido a que el PMV obtenido fue de 1.710 y 2.170 con unos PPD de 62.3% y 83.8% cada caso. Sumado a las condiciones de actividad física incrementando el gasto metabólico que genera el personal. Por último, en cuanto a la comparación de los resultados obtenidos con las diferentes metodologías determina que los diferentes métodos cuentan con diferentes factores de evaluación, restricciones y escalas de ponderación, los cuales son complementarios y deben ser aplicados dependiendo a la necesidad y realidad de las condiciones de trabajo.

1.5.2 Antecedentes internacionales

Gomez, J. y Ruiz, E. (2017) realizaron en la ciudad de Santiago de Cali una investigación titulada, "Control de estrés térmico en el área de producción, en una empresa del sector de plásticos", para la obtención del título académico de Ingeniero Industrial, en la Universidad Autónoma de Occidente, en donde se propusieron determinar las variables críticas las cuales generaban el estrés térmico dentro del proceso de soplado de una planta de plásticos y posterior a ello implementar las medias de control para disminuir los niveles de riesgos asociados. Producto de la investigación se encontró que existía riesgo térmico de nivel alto que significaban una condición crítica contra la salud de los trabajadores, el cual fue controlado principalmente con la instalación de material con resistencia térmica en las fuentes generadoras de calor, disminuyendo el nivel de riesgo en el ambiente de trabajo con un TGBH de 25.16°C considerando un TGBH límite para la actividad de 27.5°C. Con esta mejora se pudo incrementar el rendimiento laboral, la motivación, los niveles productivos y otros beneficios adicionales como optimización energética y rentabilidad.

Chica, G. (2016) trabajó en la tesis denominada, "Implementación de medidas en prevención y control del riesgo de estrés térmico en la planta de utilidades de la refinería de esmeraldas", para obtener el grado académico de Magister en Seguridad Industrial y Salud Ocupacional, en la Escuela Politécnica Nacional de Quito, cuyo objetivo fue el de identificar, determinar, proponer, realizar la implementación y posterior verificación de los controles establecidos para el riesgo térmico. El cual concluyó que existían áreas de trabajo calurosas con un riesgo importante e intolerable evaluado, estas tenían relación con actividades forzadas desarrolladas en las zonas de Turbo Generadores y Calderas los cuales originaban un consumo metabólico promedio entre los 260 y los 300 kilo cal por hora. Dichas zonas registraban índices TGBH entre los 36°C y los 42°C generando afectaciones a la salud de los colaboradores. Entre los principales controles establecidos, la implementación de un régimen de trabajo-descanso en las áreas operativas logró controlar el problema de deshidratación que presentaban los trabajadores, el cual fue evidenciado logrando disminuir la densidad urinaria promedio por debajo del límite establecido en 1020 g/l.

Robalino, C. (2015) desarrolló en la ciudad de Ambato una investigación denominada, "Estudio de las condiciones térmicas de trabajo de los operadores de calderas del hospital Alfredo Noboa Montenegro de la Ciudad de Guaranda y su incidencia en el estrés por calor", para obtener el grado académico de ingeniero mecánico, en la Universidad Técnica de Ambato, en donde estableció como objetivos el de estudiar las condiciones de estrés térmico en el trabajo de los operarios de las calderas del nosocomio en investigación, y a su vez identificar los posibles trastornos sistémicos producto al estrés térmico que los colaboradores

están expuestos. De los resultados obtenidos se determinó que los operarios que presentaban valores de TGBH superiores a los 25°C (límite para la actividad definida) representaban el 80%, lo cual se interpreta que los trabajadores se encontraban a niveles de sobreexposición a altas temperaturas. Como principal característica de la condición térmica del área de trabajo se verificó que la circulación de aire era insuficiente, propiciando una elevación de la temperatura ambiental dado que no cumplía con el principio de recirculación de aire para asegurar una correcta disipación de la carga térmica. Finalmente, como parte de la investigación se concretó con la implementación de un sistema mecánico de ventilación el cual contribuyó con disminuir el riesgo térmico del área de las calderas, aumentando así el nivel de satisfacción en materia de confort térmico.

Capítulo II: Marco teórico y conceptual

2.1 Marco Teórico

Es el calor, uno de los principales agentes físicos del ambiente con mayor posibilidad de afectación a los trabajadores, especialmente en determinadas temporadas del año y según el tipo de actividad que realizan. El efecto inmediato que tiene el calor en el cuerpo humano genera en el organismo, un mecanismo de defensa para contrarrestar las variaciones de temperatura que pudiese afectar el normal estado fisiológico de las personas. En ese sentido, para comprender mejor el constructo del estrés térmico en el aspecto de la evaluación de riesgo se deben revisar, en principio, fundamentos básicos que rigen la ciencia de la termodinámica.

2.1.1 Termodinámica y Energía

En simples palabras, la termodinámica está definida como la ciencia que estudia la energía. Si bien es cierto, todos tenemos una noción de lo que significa la palabra energía, resulta complejo describirla con exactitud. Así también, la energía puede entenderse según (Çengel Y. & Ghajar A. 2011, p. 2) como aquella capacidad de generar cambios.

2.1.1.1 Calor

Podemos definir al calor como la energía en tránsito o energía en transferencia de un cuerpo o sistema a otro, esto debido exclusivamente debido a un cambio de temperatura, y no está relacionado con la cantidad de energía que se encuentra dentro de un sistema determinado (Young, H. & Freedman R. 2013, p. 562). Asimismo, es necesario aclarar el significado de temperatura, el cual solo

depende directamente del estado físico de un material y, proporciona una medida cuantitativa de su calidez o frialdad.

2.1.1.2 Proceso de Tránsito Térmico por Convección

El fenómeno de convección obedece al modelo de transferencia energética entre una superficie sólida y gas contiguo o el líquido que movimiento se encuentra, comprendiendo la combinación de efectos producto de la circulación y conducción del fluido. Considerando que, a mayor desplazamiento del fluido, se produce una mayor cantidad de calor Y, además, si el fluido no se desplaza, la transferencia de calor ocurre únicamente por conducción. (Çengel 2011, p. 25). De acuerdo con NIOSH (2016) en su libro denominado "Criterios para un estándar recomendado de exposición ocupacional a ambientes calurosos" define a la velocidad de transferencia de calor a aquella que se suscita entre la piel humana y el aire circundante, la cual se puede expresar algebraicamente para una persona que usa ropa de trabajo convencional de una sola capa según la siguiente ecuación:

Fórmula 1. Cálculo de tasa de calor por convección.

$$C = 7.0V_a^{0.6}(t_a - t_{sk})$$

En donde:

C: Intercambio de calor por convección (kcal/h).

V_a: Velocidad del aire (m/s).

t_a: Temperatura del aire (°C).

t_{sk}: Temperatura media ponderada de la piel (Generalmente se considera 35°C).

2.1.1.3 Proceso de Tránsito Térmico por Radiación

Rolando H. (2019) cita a (Belding 1971), quien indica que el intercambio de temperatura radiante es, fundamentalmente el intercambio de calor radiante se

determina por la diferencia en el gradiente de temperatura entre la temperatura radiante promedio del entorno (T_w) y la temperatura media ponderada de la piel (T_{sk}). Esta transferencia de calor se rige por la cuarta potencia de la diferencia absoluta de las temperaturas de los objetos en el entorno y la piel, expresada como $((T_w - T_{sk})^4)$. No obstante, para una persona vestida con una capa convencional, se puede emplear la siguiente aproximación aceptable:

Fórmula 2. Cálculo de tasa de calor por radiación.

$$R = 6.6(t_w - t_{sk})$$

En donde:

R: Intercambio de calor por radiación (kcal/h o W/m²).

t_w : Temperatura radiante media de la superficie circundante sólida (°C).

t_{sk} : Temperatura media ponderada de la piel (°C).

2.1.1.4 Proceso de Transferencia Térmica por Conducción

Este proceso implica la transferencia de energía de partículas con mayor energía a aquellas vecinas con menos energía mediante su interacción directa, independientemente de su estado físico. En gases y líquidos, este movimiento energético se debe a las colisiones y la difusión molecular durante su desplazamiento aleatorio. Por otro lado, en los sólidos, este fenómeno ocurre a través de las vibraciones de las moléculas en una estructura reticular y el movimiento de electrones libres que transportan energía. (Çengel 2011, p. 17-18). Si bien es cierto, según la NIOSH (2016) generalmente, la conducción no tiene un rol significativo en el estrés térmico en ambientes de trabajo donde las tareas involucran contactos breves del cuerpo con herramientas, equipos calientes, suelos u otros componentes del entorno de trabajo.

2.1.2 Balance del Calor Humano

Todos los seres humanos son animales homeotermos, es decir, de sangre caliente, y mantienen su temperatura corporal dentro de rangos biológicos establecidos, independientemente de la temperatura del ambiente en que se encuentren. En este contexto, si la temperatura central del cuerpo supera los 37 °C, el organismo puede enfriarse a través de mecanismos fisiológicos de termorregulación. (Instituto Riojano de Salud Laboral Logroño, 2010, p. 10).

La regulación de la temperatura corporal se alcanza mediante un intercambio continuo de calor entre el cuerpo y su entorno. Este intercambio, en cuanto a su ritmo y magnitud, está determinado por las leyes de la termodinámica, e incluye tanto el calor producido por el cuerpo, asociado al calor metabólico, como el calor que se adquiere del ambiente a través de diversos métodos de transferencia de calor.

Antes de examinar la ecuación del equilibrio térmico, es crucial mencionar un fenómeno adicional que influye en la termorregulación: la evaporación. Este fenómeno se refiere a la evaporación del agua (sudor) de la piel, que contribuye a la pérdida de calor corporal. Rolando H. (2019) cita a (Belding 1971), señalando que la capacidad máxima de evaporación (y la consecuente pérdida de calor) depende del movimiento del aire (V_a) y de la diferencia entre la presión de vapor de agua en el ambiente (P_a) y la presión de vapor de agua sobre la piel (P_{sk}).

Fórmula 3. Cálculo de tasa de calor por evaporación.

$$E = 14V_a^{0.6}(P_{sk} - P_a)$$

En donde:

E: Pérdida de calor por evaporación (kcal/h).

V_a: Velocidad del aire (m/s).

P_a: Presión de vapor de agua del aire (mmHg).

P_{sk}: Presión de vapor de agua sobre la piel (Generalmente se considera 42 mmHg, para una temperatura de la piel de 35°C).

Considerando estos fenómenos que consisten en el proceso de transferir calor, se puede simplificar la ecuación de balance de este de acuerdo con la siguiente ecuación establecida por NIOSH (2016).

Fórmula 4. Cálculo de balance de calor corporal.

$$S = (M - W) \pm C \pm R \pm K - E$$

En donde:

S: Variación del contenido de calor del cuerpo (kcal/h).

(M-W): Diferencia entre el metabolismo total y trabajo externo realizado.

C = Intercambio de calor por convección.

R = Intercambio de calor por radiación.

K = Intercambio de calor por conducción.

E = Pérdida de calor por evaporación de agua.

En el cálculo de tasa metabólica es importante considerar los métodos para determinación proporcionados desde la Norma UNE-EN ISO 8996:2005, y estos se muestran en tres formas distintas para estimar la tasa metabólica referida a diferentes actividades (ver tabla1, 2 y 3). Los cuales se muestran a continuación desde el método más simple hasta otro con mayor precisión.

Tabla 1. Clasificación de la tasa metabólica (en W/m²) para tipos de actividad.

Clase	W/m ²	Ejemplos
Descanso	70	Permanecer sentado o de pie en reposo.
Actividad muy ligera	90	Actividades como escribir, teclear o dibujar; manipulación de herramientas pequeñas, inspección, ensamblaje o selección de materiales livianos.
Actividad ligera	115	Conducir vehículos bajo condiciones normales, operar interruptores o pedales con los pies; manejo de herramientas de baja potencia o paseos caminando.
Actividad moderada	145	Actividades como martillar o limar; tareas que involucran el uso simultáneo de brazos y piernas, como operar camiones, tractores o maquinaria de construcción en espacios interiores.
Actividad entre moderada y alta	175	Manejo de herramientas como martillos neumáticos, enganche de tractores, manipulación intermitente de objetos moderadamente pesados, empujar o tirar de carros livianos; caminar a una velocidad moderada entre 4 y 5 km/h; conducir motos de nieve.
Actividad alta	200	Transporte de materiales pesados, manejo de palas, uso de herramientas pesadas como martillos, tala de árboles con motosierras, segado manual, excavación, o caminar a una velocidad entre 5 y 6 km/h. Empujar o tirar de carretillas pesadas, desbarbado de piezas

metálicas, construcción de paredes con bloques de hormigón, conducción de motos de nieve en terrenos difíciles.

Actividad muy alta	> 230	Trabajo de alta intensidad como cortar con hacha, excavar o palear vigorosamente, subir escaleras, rampas o escalas; caminar a paso rápido o correr; desplazarse a más de 6 km/h o caminar sobre nieve blanda y profunda.
--------------------	-------	---

Nota. Esta tabla muestra el valor de la tasa metabólica con respecto a algunas actividades que demandan menor o mayor actividad física. Adaptado de la norma española UNE-EN ISO 7933:2005.

Cabe indicar que las tasas metabólicas mostradas, fueron estimada con referencia a un trabajo continuo de 1 hora de duración media.

Tabla 2. Tasa metabólica (en W/m²) en función de la parte del cuerpo empleado y de la intensidad del trabajo ejecutado con ella.

Parte del cuerpo empleada	Tipo de trabajo		
	Ligero	Medio	Pesado
Dos manos	65	85	95
Solo un brazo	100	120	140
Dos brazos	135	150	165
Todo el cuerpo	190	255	345

Nota. Esta tabla muestra la tasa metabólica estimada en función al uso de las extremidades superiores del cuerpo y considerando la intensidad de la actividad física que se realiza.

Adaptado de la norma española UNE-EN ISO 7933:2005.

Tabla 3. Tasa metabólica (en W/m²) según actividades específicas.

Actividades específicas	W/m ²
Dormir	40
Descanso, sentado	55
Descanso, de pie	70
Caminar en horizontal, suelo llano y firme	
1. Sin carga a 2 km/h	110
a 3 km/h	140
a 4 km/h	165
a 5 km/h	200
2. Con carga 10 kg, 4 km/h	185
30 kg, 4 km/h	250
Caminar cuesta arriba, suelo liso y firme	
1. Sin carga	
inclinación de 5°, 4 km/h	180
inclinación de 15°, 3 km/h	210
inclinación de 25°, 3 km/h	300
2. con una carga de 20 kg	
inclinación de 15°, 4 km/h	270
inclinación de 25°, 4 km/h	410
Caminar cuesta abajo a 5 km/h, sin carga	
inclinación de 5°	135
inclinación de 15°	140
inclinación de 25°	180
Subir por una escalera de mano inclinada 70°, a una velocidad de 11,2 m/min sin carga	290
con una carga de 20 kg	360

Empujar o tirar de una vagoneta, 3,6 km/h, suelo llano y firme	
fuerza de empuje: 12 kg	290
fuerza de tiro: 16 kg	375
Empujar una carretilla, suelo llano, 4,5 km/h, ruedas de goma, 100kg	230
Limar hierro	42 golpes de lima/min
	100
	60 golpes de lima/min
	190
Trabajar con un mazo, a 2 manos, peso del mazo 4,4 kg,	
15golpes/min	290
Trabajo de carpintería serrado a mano	220
serrado a máquina	100
cepillado a mano	300
Colocar ladrillos, 5 ladrillos/min	170
Atornillar	100
Cavar una zanja	290
Trabajo con máquina herramienta- ligero (ajuste, montaje)	100
medio (carga)	140
pesado	210
Trabajo con herramienta manual- ligero (pulido ligero)	100
medio (pulido)	160
pesado (taladrado pesado)	230

Nota. Esta tabla presenta las tasas metabólicas asociadas a actividades físicas específicas. Adaptado de la norma española UNE-EN ISO 7933:2005.

2.1.3 Termorregulación del Cuerpo Humano

Para describir la termorregulación, se debe considerar al organismo como compuesto por dos elementos: el núcleo y la periferia (OIT 1998, p. 42.2). El nivel térmico del núcleo (T_c) está reflejada mediante el calor interno o profundo del cuerpo, y; por otro lado, la temperatura periférica está evidenciada por la ponderación de la temperatura media de la piel (T_{sk}). El nivel térmico corporal

medio (T_b) es, siempre, representado por un equilibrio que se pondera entre ambos niveles térmicos, representado de la siguiente manera:

Fórmula 5. Cálculo de temperatura corporal media.

$$T_b = kT_c + (1 - k)T_{sk}$$

En donde:

T_b : temperatura corporal media (°C).

K : Factor de ponderación (varia entre 0.67 y 0.90).

T_c : temperatura del núcleo(°C).

t_{sk} : Temperatura media de la piel (°C).

Cuando el organismo es expuesto a condiciones que alejen la temperatura central (T_c) a la temperatura neutral del cuerpo humano, ya sea debido al estrés térmico ya sea por nivel de frío o nivel de calor, el cuerpo intenta regular su temperatura a través de la homeostasis, con la T_c como la principal fuente de información para que el cerebro realice este autocontrol. Sin embargo, el nivel de temperatura media de la piel (T_{sk}) proporciona significativos datos a nivel sensorial, la T_{sk} varía significativamente según la temperatura ambiental, con una media de 33 °C, en condiciones neutrales y llegando a los 36 y 37 °C durante calurosos lapsos de trabajo pesado. Además, la exposición del cuerpo o de una parte de él al frío puede provocar un descenso considerable de la temperatura. Es importante señalar que los umbrales de dolor para la T_{sk} están aproximadamente entre los 43 °C y los 10 °C (OIT 1998, p. 42.2).

Cuando se estudia el estrés térmico por elevación de temperatura, el cuerpo activa sus mecanismos de control, centralizados en el hipotálamo del

cerebro. Este proceso de termorregulación se manifiesta por medio de la sudoración, que ayuda a enfriar el cuerpo a través de la evaporación, y un incremento del flujo sanguíneo hacia la piel, conocido como vasodilatación periférica. Esto permite que el calor interno se traslade hacia la superficie corporal y se disipe en el ambiente. Adicionalmente, este fenómeno provoca un incremento en el volumen de sangre que circula y también en la frecuencia cardíaca (Instituto Riojano de Salud Laboral Logroño, 2010, p. 10).

2.1.4 Estrés Térmico

En la guía elaborada por ISTAS en el año 2019 denominada Exposición laboral a estrés térmico por calor y sus efectos en la salud. ¿Qué hay que saber?", define el estrés térmico como la cantidad total de calor a la que está expuesto un trabajador, resultado de la combinación de tres tipos de factores que ocurren simultáneamente.

Condiciones ambientales tales como; elevadas temperaturas, alta humedad, calor por radiación y la velocidad del aire principalmente.

- Actividad física intensa.
- Ropa de trabajo o EPP que posee propiedades aislantes restringiendo la evaporación del sudor.

Para el caso de las condiciones ambientales, es importante indicar que la temperatura del aire indica el nivel de calor exacto en un área y tiempo determinado. Teniendo en cuenta que las mediciones no se vean afectadas por agentes externos u otros factores tales como la radiación de cuerpos cercanos; así también, en la humedad relativa o inclusive la velocidad del aire en el ambiente. La

temperatura se mide a través de un termómetro y la escala a utilizar en la materia de estudio es los grados centígrados ($^{\circ}\text{C}$).

Por otro lado, la humedad relativa juega un papel clave dado que su presencia afecta la capacidad atmosférica y puede permitir o no que se logre la evaporación del sudor de los trabajadores. Mientras mayor sea la humedad, la termorregulación a través del sudor disminuye su eficacia para dispersar el calor del cuerpo. La humedad ambiental se mide con un higrómetro y se expresa en porcentajes.

En cuanto a la temperatura de radiación alude al intercambio térmico entre el cuerpo y diversas fuentes de calor emisoras de calor que se encuentran alrededor. La medición de esta temperatura se mide haciendo uso de un termómetro (esfera negra), cuyo sensor está ubicado en el centro de la esfera el cual lo encierra completamente.

En relación con el movimiento del aire, cabe precisar que, a una mayor velocidad del aire se reduce el estrés térmico debido a que contribuye a dispersar el calor generado por el propio organismo. Además, facilita la eliminación del calor por el fenómeno de convección a través del sudor. No obstante, si la temperatura del aire es igual o superior a la de la piel (desde los 35°C) la velocidad del aire no tendría efecto significativo. La medida se realiza con el uso de un anemómetro y la unidad de medida son los metros por segundos (m/s).

La actividad física como segundo factor aumenta en el cuerpo humano el calor metabólico que se origina. Ya sea, en condiciones reposo, los órganos internos pueden producir el 70 % del calor metabólico total. En cambio, durante la

actividad física la generación de calor metabólico en el sistema musculoesquelético se puede incrementar por 10 veces y ser la fuente de generación de producción de calor metabólico en un 90% (ISTAS 2019, p. 10).

En suma, es necesario considerar que la carga de calor metabólica es muy variable entre personas dependiendo principalmente a niveles de aclimatación y a las condiciones físicas. Esta respuesta física puede verse modificada favorable o desfavorablemente de acuerdo con los resultados de un entrenamiento, que permitan mejorar la musculatura, y a su adaptación a temperaturas elevadas (CDC 1996, Cap. 3).

Asimismo, se debe tomar en cuenta que independientemente a la condición física y el grado de adaptación al clima de los trabajadores influyen en cómo la actividad física incrementa la carga térmica y, por consiguiente, los riesgos para la salud. Esto se acentúa al realizar esfuerzos en entornos cálidos. En este contexto, llevar a cabo tareas físicas en condiciones laborales que añaden calor propio o restringen la eliminación del calor corporal representa un desafío significativo para la regulación normal de la temperatura del cuerpo (Parsons, 2003).

Finalmente, como último elemento a considerar las características de las prendas o ropas de trabajo influyen de forma significativa en el estrés térmico, puesto que intervienen en la transpiración. Este mecanismo de termorregulación es la base fundamental con la que el cuerpo humano cuenta para lograr disminuir la temperatura corporal. La condición necesaria para que la transpiración se lleve a cabo como mecanismo para enfriar, es crucial que, sobre la piel, circule el aire permitiendo así el intercambio de calor mediante el proceso de evaporación y el de

convección. Esto se dará siempre que la temperatura del aire sea menor a la de la piel, además que la humedad relativa del ambiente sea baja y no se encuentre el trabajador en la zona impregnada de vapor de agua. Dicho ello, algunas propiedades de la ropa o equipos de protección personal intervienen en este proceso; la resistencia térmica y la permeabilidad, las cuales pueden impedir o dificultar dicho intercambio necesario para la liberación de calor o paso del vapor de agua (sudor) hacia el ambiente, generando estrés térmico al trabajador (ISTAS 2019, p. 12).

Las propiedades térmicas de la vestimenta se evalúan a través de la definida unidad "clo" (de la palabra en inglés *clothing*, que significa ropa). También se puede considerar como un equivalente a un aislamiento térmico de: 1 clo= 0,155 m² K/W.

Tabla 4. Valores del aislamiento de la ropa en clo.

Tipo de ropa	Aislamiento (clo)
Desnudo (sin ropa)	0.0
Ropa ligera (ropa de verano)	0.5
Ropa media (traje completo)	1.0
Ropa pesada (vestimenta militar de invierno)	1.5

Nota. Esta tabla presenta el valor de índice clo según el tipo de ropa de acuerdo con su ligereza. Adaptado de la norma española INSHT-NTP74.

2.1.5 Efectos del Calor Sobre el Organismo

El estrés térmico resulta de los efectos adversos para la salud causados por la acumulación excesiva de calor en el cuerpo. Esta acumulación de calor en los trabajadores proviene de la exposición a condiciones ambientales, la actividad

física realizada y las características de la ropa de trabajo. Como mecanismo para mantener la temperatura el cuerpo a los niveles normales, este activa los procesos de termorregulación, sin embargo, estos mecanismos fisiológicos no son suficientes, y por el contrario el cuerpo humano mantiene los factores que incrementan el nivel de energía central del cuerpo haciendo que pueda superar los 38 °C esto podría producir efectos dañinos contra la salud de las personas y hasta complicar alguna enfermedad crónica en caso existiese. (Instituto Riojano de Salud Laboral Logroño, 2010, p. 10).

Asimismo, aun habiendo cesado la dinámica laboral en condiciones de estrés térmico elevados y tampoco se genere calor corporal en exceso, los colaboradores podrían sufrir daños para la salud en caso no se realice la rehidratación incluido los electrolitos perdidos con sudoración.

Por otro lado, existen otras condiciones que intervienen en el riesgo de estrés térmico tales como; el tiempo de exponerse y los factores personales. Dentro de esta última categoría podemos encontrar la falta de climatización, el IMC, la edad, el estado de salud del colaborador, estado físico o musculación, falta de descanso, incorrecta hidratación, entre otros.

En la siguiente sección, se describe las principales enfermedades relacionadas a exposición a calor, considerando las posibles causas, síntomas y los primeros auxilios para la atención de estos casos, según el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo de España (2013).

2.1.5.1 Erupción Cutánea

Las principales causas pueden ser la presencia de piel mojada o húmeda debido a la sudoración excesiva o el grado de humedad relativa del ambiente. Como síntomas pueden generar erupción roja no uniforme en la piel, posibilidad de infección, así como también picores o molestias que impidan el buen descanso o ejecución del trabajo. Para ello, es importante considerar que se debe lavar la piel y mantenerla seca, asimismo, cambiar la ropa húmeda por otra seca.

2.1.5.2 Calambres

Esta patología se presenta normalmente por pérdida excesiva de sales, que son pérdidas a través de un cuadro de sudoración excesiva. Además de ingestas de excesivas cantidades de líquido, sin adición de sales para la reposición de estas. Ante la aparición de los calambres, estos se evidencian por aparición de contracciones no voluntarias de los músculos e incluso, dolor muscular de abdomen, piernas, brazos, etc. Como medidas a tomar, se debe considerar el descanso en un ambiente fresco, así como también la reposición de las sales a través de bebidas isotónicas. Por otro lado, se recomienda realizar ejercicios suaves que permitan estirar el músculo involucrado, de no desaparecer los síntomas dentro de la primera hora se debe acudir al médico.

2.1.5.3 Síncope por Calor

Este caso puede presentarse producto de mantener una posición inmóvil y de pie por tiempo prolongado en un ambiente caluroso, haciendo que no llegue suficiente flujo sanguíneo al cerebro. Esta enfermedad es más común que pueda desarrollarse en trabajadores no aclimatados al calor. El cual puede evidenciarse por desvanecimiento, alteración en la visión, mareos, debilidad y ausencia de

pulso. Es recomendable en estos casos posicionar al individuo recostado con las piernas en elevadas en un entorno ventilado.

2.1.5.4 Deshidratación

Es provocada por la pérdida en exceso de agua, esto se produce debido al mecanismo de transpiración, sin reposición de agua. Bajo esta condición se manifiesta sensación de sed, sequedad en la boca y mucosas, cansancio, ritmo cardíaco acelerado, piel seca, y reducción en la cantidad y frecuencia de las micciones, así como una orina de mayor concentración y coloración oscura. Esto se debe regular bebiendo agua en cantidades dosificadas de en periodos de treinta minutos.

2.1.5.5 Agotamiento por Calor

Bajo circunstancias de estrés térmico como las que se evidencian producto de trabajo continuo y sin descanso, además, de presencia de sudoración sin reposición de agua ni de los electrolitos que se pierden en ese momento, se puede producir un golpe de calor. Las manifestaciones por considerar son; la debilidad y fatiga extrema, náuseas y mareos, malestar general, cefalea, desmayo, pero sin confusión, además de presentar la piel fría, pálida y húmeda por el sudor. Incluso, el nivel térmico rectal podría incluso estar por encima de los 39 °C. Para estos casos, es importante trasladar al auxiliado a un lugar ventilado y posicionarlo echado manteniendo los pies levantados, desajustar e incluso retirarle la ropa, así como también proceder con refrescar con agua y proporcionar bebidas con sales isotónicas.

2.1.5.6 Golpe de Calor

Esta patología puede presentarse en condiciones de estrés térmico de trabajos continuos de personal no aclimatado, sin condiciones físicas y presencia de susceptibilidad individual tales como; enfermedad cardiovascular, medicación activa, índice de masa corporal superior o igual al nivel de obesidad, consumo de alcohol, deshidratación e incluso por no controlar el agotamiento por calor. El llamado "golpe de calor" puede manifestarse de forma inmediata y sin la aparición de síntomas previos. Es importante considerar que este caso es una emergencia médica con peligro de morir. Los síntomas están asociados con: taquicardia, respiración débil y rápida, alteración en la presión arterial, aminoración de la sudoración, piel seca, confusión, desmayos e incluso cuadros de irritabilidad. La temperatura rectal podría elevarse superior a los 40 °C. Considerando que es una emergencia se debe alejar rápidamente al afectado de la zona caliente, iniciar con el proceso de enfriamiento y a su vez llamar al médico. Desajustar o quitarle la ropa, envolviéndolo con una manta mojada, asegurar la ventilación de aire fresco, o introducirlo a una tina con agua fría. Tener siempre en cuenta que es una emergencia médica.

2.2 Marco Conceptual

2.2.1 Índice de Evaluación Térmica

En la presente investigación para el cálculo de los niveles de estrés térmico se utilizará el método conocido como medición de temperatura de globo y bulbo húmedo (TGBH). El cual ofrece un índice valioso de primer orden sobre el impacto ambiental hacia el estrés térmico. Esto en base a los valores de T° del aire, del

calor radiante, aire en movimiento y la humedad. El índice se puede obtener a través de las siguientes ecuaciones.

Fórmula 6. Cálculo de TGBH sin exposición directa al sol (para interiores).

$$T_{GBH} = 0.7 T_{BH} + 0.3 T_G$$

Fórmula 7. Cálculo de TGBH con exposición directa al sol (para exteriores).

$$T_{GBH} = 0.7 T_{BH} + 0.2 T_G + 0.1 T_{BS}$$

En donde:

TGBH: Temperatura de globo y bulbo húmedo. (°C).

T_{BH}: temperatura del bulbo húmedo (°C).

T_G: temperatura del globo (°C).

T_{BS}: temperatura del bulbo seco o del aire (°C).

Asimismo, se debe considerar que, si la temperatura no es constante en el área de trabajo, es decir, el ambiente presenta heterogeneidad térmica, es necesario determinar el índice TGBH bajo la medición en tres niveles que se encuentran definidas a la altura de la cabeza, el abdomen y los tobillos, tomando como referencia el suelo. Las distancias verticales medidas desde suelo se reflejan en la siguiente tabla.

Tabla 5. Distancias verticales o alturas (en metros) para medición del índice TGBH.

Altura de referencia	Distancia para trabajos de pie (m)	Distancia para trabajos sentado (m)
----------------------	------------------------------------	-------------------------------------

Cabeza	1.7	1.1
Abdomen	1.1	0.6
Tobillos	0.1	0.1

Nota. Esta tabla muestra las alturas en metros para la medición de temperaturas en ambientes con heterogeneidad térmica. Adaptado de la norma internacional ISO 7243:2017

El valor medio del índice se obtiene con los valores obtenidos de la ponderación de los tres índices, considerando la siguiente expresión.

Fórmula 8. Cálculo de índice TGBH medio.

$$TGBH = \frac{TGBH_{Cabeza} + 2 TGBH_{Abdomen} + TGBH_{Tobillos}}{4}$$

Cabe indicar que si dentro de un análisis previo o durante el monitoreo se determina que el ambiente térmico es prácticamente homogéneo (con una heterogeneidad menor o igual al 5%) se puede utilizar el procedimiento simplificado, el cual consiste en tomar una única determinación del índice TGBH, que está ubicado a la altura del abdomen.

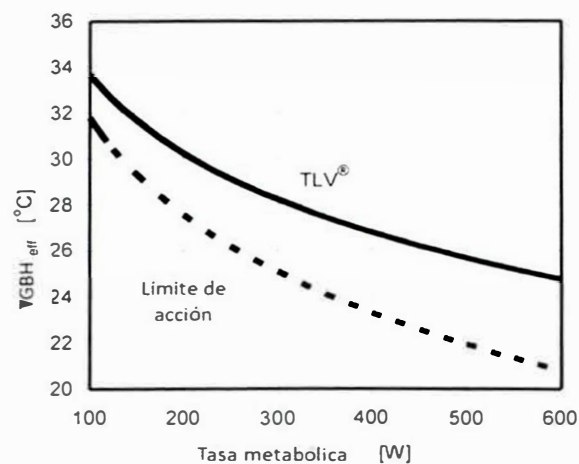
Si se desea alcanzar un cálculo rápido del índice, basta con realizar una sola medida en el nivel más crítico de estrés térmico. Ejecutar este procedimiento considera una sobrevaluación del estrés térmico sesgado hacia la seguridad (ISO 7243:2017).

Teniendo en cuenta que el índice TGBH es un valor medido que considera solo características del ambiente laboral, es necesario realizar un ajuste referidos al movimiento físico y también, a la ropa de trabajo. Para ello se considera un

Límite Máximo Permitido o conocido como TLV (de las siglas en inglés *Threshold Limit Values*), que dependerá del calor metabólico que el trabajador genere en la ejecución de la actividad.

A continuación, se presenta un gráfico que representa a una curva correspondiente al TLV que debe llegar al índice TGBH de acuerdo con el valor de la tasa metabólica asociada al trabajo.

Figura 1. TLV (línea continua) y Límite de Acción (línea discontinua) para el estrés de calor.



Nota. La imagen representa las curvas del TLV y Límite de Acción con el cual considerando el índice TGBH efectivo y la tasa metabólica se puede determinar el nivel de riesgo por calor. Adaptado del libro ACGIH 2024 "TLV's & BEI's".

El objetivo del TLV es establecer un límite al estar expuesto al estrés por calor de los colaboradores, ya que puede mantenerse durante horas; es decir, donde personas sanas y aclimatadas que puedan alcanzar y mantener el equilibrio térmico corporal. Por otro lado, cabe indicar que el Límite de Acción describe las

condiciones donde la mayoría de los trabajadores sanos y no aclimatados pueden alcanzar el equilibrio térmico corporal.

Para fines matemáticos, el Límite Máximo Permisible (TLV) y Límite de Acción (AL) se calculan según las siguientes ecuaciones.

Fórmula 9. Cálculo del Límite Máximo Permisible (TLV).

$$TLV = 56.7 - 11.5 \log_{10} M$$

Fórmula 10. Cálculo del Límite de Acción (AL).

$$AL = 60 - 14.1 \log_{10} M$$

En donde:

TLV: Límite máximo permisible. (°C).

AL: Límite de acción (°C).

M: Tasa metabólica (W).

Cabe indicar que el TGBH efectivo (TGBHeff) es la medida del índice TGBH sumado al factor de ajuste de la vestimenta. Para términos de referencia la metodología mostrada fue desarrollada para una vestimenta ligera de verano el cual considerará un índice de aislamiento aproximado de 0.5 clo. En caso la actividad a monitorear no se ajuste al tipo de vestimenta mencionado, es decir, en la realidad se cuenta con ropa de trabajo con mayor nivel de aislamiento térmico y mayor impermeabilidad al agua, entonces el TLV se reduce y se deben considerar unos factores de corrección según el tipo de vestimenta que presentan.

En el cuadro que se presenta se evidencian los rangos de ajuste del índice de aislamiento de la ropa conocido como CAV (de las siglas en inglés de *clothing adjustment values*) que se deben corregir el TGBH para estimar el TGBH_{eff}.

Tabla 6. Valores de ajuste de la vestimenta para cálculo del TGBH_{eff}.

Tipo de ropa	CAV (°C)
Mangas cortas y pantalones de material tejido	-1.0
Ropa de trabajo (camisa manga larga y pantalones).	0
Overoles de material tejido	0
Overoles de SMS polipropileno	+0.5
Overoles de poliolefina	+1.0
Ropa tejida de doble capa	+3.0
Overoles con barrera de vapor de uso limitado con capucha	+11.0
Agregar una capucha (que cubra toda la cabeza y el cuello; no la cara)	+1.0

Nota. En la tabla se muestra el valor de ajuste por tipo de ropa que se debe añadir al TGBH calculado, para obtener el TGBH efectivo. Adaptado del libro ACGIH 2024 "TLV's & BEI's".

Consideraciones importantes:

- a) Los valores no deben ser utilizados para trajes encapsulados en totalidad, estos son conocidos como trajes de nivel A según la definición de OSHA.

- b) Los CAV no deben ser añadidos para múltiples capas o trajes.
- c) Con el uso de overoles se asume que solo se usa ropa interior debajo, no una segunda capa de ropa.
- d) No hay evidencia que indique que los respiradores o los protectores faciales aumentan la carga del estrés térmico.
- e) Por otro lado, se puede determinar los TLV con referencia a la tasa metabólica, la relación de trabajo-descanso (% de tiempo trabajado en un periodo de 1 hora) y la aclimatación de los trabajadores.

Por otro lado, se puede determinar los TLV con referencia a la tasa metabólica, la relación de trabajo-descanso (% de tiempo trabajado en un periodo de 1 hora) y la aclimatación de los trabajadores.

Figura 2. TLV para personal aclimatado y no aclimatado.

Relación del trabajo en un ciclo de trabajo y recuperación	Tasa metabólica para personal aclimatado				Tasa metabólica para personal no aclimatado			
	Ligero	Moderado	Pesado	Muy pesado	Ligero	Moderado	Pesado	Muy pesado
75 to 100%	31.0	28.0	—	—	28.0	25.0	—	—
50 to 75%	31.0	29.0	27.5	—	28.5	26.0	24.0	—
25 to 50%	32.0	30.0	29.0	28.0	29.5	27.0	25.5	24.5
0 to 25%	32.5	31.5	30.5	30.0	30.0	29.0	28.0	27.0

Nota. La imagen muestra los valores de los TLV establecidos para diferentes tasas metabólicas del personal aclimatado y no aclimatado, según la relación trabajo-descanso para un ciclo de trabajo. Adaptado del libro ACGIH 2024 “TLV’s & BEI’s”.

Se debe considerar que la tasa metabólica para personal aclimatado hace referencia al valor límite umbral mientras que la tasa metabólica para personal no aclimatado se asocia al límite de acción.

Notas importantes:

- a) Para determinar la categoría de demanda de tasa metabólica de trabajo se puede considerar la siguiente tabla.

Tabla 7. *Categorías de tasas metabólicas y tasas metabólica representativa.*

Categoría	Tasa metabólica asignado (W)	Ejemplos
Descanso	115	Permanecer en reposo mientras se está sentado
Ligero 115 a 235 W	180	Actividades manuales suaves utilizando solo las manos o combinando manos y brazos, incluyendo labores de control y manejo. También incluye estar de pie realizando tareas ligeras con un brazo y caminar ocasionalmente.
Moderado 235 a 360 W	300	Actividades que requieren un uso constante de manos y brazos, o aquellas que involucran el uso combinado de brazos y piernas, como conducir camiones. También se incluyen tareas que implican empujar y tirar cargas, además de caminar de manera continua.
Pesado 360 a 470 W	415	Actividades que demandan el uso del tronco y los brazos, como trasladar objetos, palear, serrar manualmente, o mover cargas pesadas mediante empuje y tracción, así como caminar a un ritmo rápido.
Muy pesado >470 W	520	Actividades realizadas al mayor nivel de intensidad posible.

Nota. Esta tabla muestra las tasas metabólicas representativas para diferentes rangos según la actividad física. Adaptado del libro ACGIH 2024 "TLV's & BEI's".

- b) Los valores del índice TGBH son expresados al 0.5 ° C más cercano.
- c) Si las zonas de trabajo y descanso están separadas o distribuidas en varios lugares, es esencial calcular y aplicar el índice TWA-TGBH. Las tasas TWA para el trabajo deben emplearse también cuando las demandas laborales cambian durante la hora. Es crucial recordar que la tasa metabólica del período de descanso ya está contemplada en el límite establecido. Además, el TWA debe usarse para calcular tasas de trabajo que involucren actividades diversas en el lapso de una hora, pero se debe considerar que la tasa metabólica del descanso ya está incorporada en el límite indicado.
- d) Los valores de la tabla son considerando un régimen de 8 horas diarias por 5 días trabajados en la semana, con refrigerios convencionales.
- e) Debido a que la tensión fisiológica resultante de realizar trabajo pesado o muy pesado por parte de trabajadores en baja condición física puede ser inmanejable, sin importar el índice TGBH, no se definen valores de TLV para trabajo continuo ni para trabajos muy pesados que incluyan hasta un 25% de descanso por hora. Por ello, resulta crucial realizar un análisis del TWA y efectuar un seguimiento fisiológico continuo
- f) Los datos mostrados en la Figura 2, tienen como objetivo ser una herramienta de evaluación preliminar para determinar si puede haber una situación de estrés térmico. Por lo tanto, esta tabla ofrece una protección mayor que el TLV o el Límite de Acción. Teniendo en cuenta que los valores tienen un mayor

nivel de protección, lo cual no pretenden prescribir períodos de trabajo y descanso.

2.2.2 Ergonomía del Ambiente Térmico

Se define a la ergonomía como aquella ciencia multidisciplinaria que aborda varios factores, los cuales buscan mejorar la relación del hombre con su trabajo, en ese sentido, mantiene una relación directamente con el entorno laboral, incluido los componentes físicos como lo son: la temperatura, la humedad, el movimiento del aire, entre otros. Como parte de la evaluación de ambientes de trabajos y sus efectos en los trabajadores, el ergónomo es capaz de determinar las metodologías para calcular uno o varios índices (tales como WCI, PMV-PPD o TGBH) para predecir las condiciones ambientales las cuales son aceptables para el trabajador dependiendo a las características intrínsecas de la actividad y condiciones laborales con las que trabaja (UNE-EN ISO 10551:2019).

Cabe resaltar que, en la praxis los casos específicos son diferentes a los casos generales en aspectos variables como por ejemplo la heterogeneidad térmica del ambiente, las fluctuaciones temporales (temporadas), el tipo de vestimenta, las características corporales del individuo, etc. Es por ello, la necesidad de incorporar y complementar los índices mencionados anteriormente con una aproximación inicial predictiva a través de la determinación directa del juicio subjetivo de los trabajadores con una evaluación del efecto del ambiente térmico bajo la experiencia individual de los colaboradores.

Cabe recalcar que la aplicación de evaluaciones de juicios subjetivos es una medida complementaria y no debe tomarse decisiones antes considerar los

resultados de las evaluaciones bajo métodos físicos y fisiológicos de estrés térmico por calor.

Las evaluaciones de juicios subjetivos en ambientes térmicos tienen diferentes escalas y metodologías, las cuales se diferencian principalmente en el enfoque con el cual se diseñan, por ejemplo: los perceptivos o afectivo (evaluativo y preferencial), global (conjunto de ambiente) o localizado, presente o pasado, instantáneo o en un periodo de tiempo. Por otro lado, también se diferencian en el objeto de juicio: persona o ambiente, completo o una de sus partes (temperatura, humedad del aire, velocidad del aire, estado del cuerpo, humedad de la piel, transpiración, respiración, etc.), en condiciones extremas o moderadas.

Para el presente estudio, se utilizará la escala de juicio subjetivo basada en el estado térmico del cuerpo. Bajo condiciones ambientales estables, con actividades sedentarias ($60\text{W/m}^2 \leq M \leq 70\text{W/m}^2$) y vestidas con prendas normales ($0.5 \text{ clo} \pm 0.2 \text{ clo} < I_{cl} \leq 1.0 \text{ clo} \pm 0.2 \text{ clo}$) y luego de por lo menos 30 minutos de permanencia el juicio global que realizan sobre su propio estado térmico que perciben y el juicio global sobre la temperatura del ambiente coincide generalmente. Para casos diferenciados a los descritos anteriormente los juicios emitidos no coinciden necesariamente. Para estos casos, es importante conocer desde el punto de vista ergonómico cómo se sienten los trabajadores más que conocer cómo juzgan el ambiente térmico. Es por ello por lo que la norma internacional reúne los juicios que los trabajadores realizan sobre su propio estado térmico como un todo, diferenciando entre la percepción, la evaluación afectiva presente (bienestar/malestar) y la preferencia futura (UNE-EN ISO 10551:2019).

2.2.3 Medidas Preventivas y de Control en Ambientes Térmicos

Las estrategias de prevención y control del estrés térmico pueden ser orientadas hacia la intervención en la fuente, el medio de transmisión o el trabajador como receptor. Estos se determinarán de acuerdo con un análisis de algunos parámetros tales como el tipo de medio para la generación de calor, la ubicación, el tamaño, frecuencia o intervalos de exposición, condiciones del recinto o ambiente, tipo de actividades que se desarrollan, entre otras.

2.2.3.1 Control en la Fuente

En el caso donde el mecanismo emisor de calor se ubique en exteriores, como por ejemplo la energía aportada por el sol o por distintos procesos productivos de la empresa se puede optar por construir tabiques opacos o de vidrio que ayuden a separar la actividad del trabajador con la fuente. Por otro lado, la protección contra la fuente de calor en interiores debe estar orientadas en el caso de calor convectivo en la instalación de campanas extractoras o estudios de la infraestructura de los recintos y para calor radiactivo en la instalación de pantallas térmicas. (CORTES 2012, p. 499).

2.2.3.2 Control en la Medio de Transmisión

La primera medida que se implementa en favor de actuar frente al mecanismo de transmisión será el implementar la ventilación natural, las cuales son diseñadas de acuerdo con estudios ingenieriles el cual tiene por objetivo permitir el ingreso de aire fresco natural y la remoción del aire caliente o enrarecido dentro del recinto. En caso este control no sea posible de ejecutar, o simplemente la medida no sea suficientemente efectiva, se debe optar por la implementación de ventilación mecanizada la misma que debe ser asistida por la

instalación de ventiladores industriales. Por otro lado, también se puede considerar la instalación de aparatos para la regulación de la temperatura, también la aclimatación localizada según las ubicaciones de los puestos de trabajo (Chica 2016, p. 28-29).

2.2.3.3 Control en el Receptor

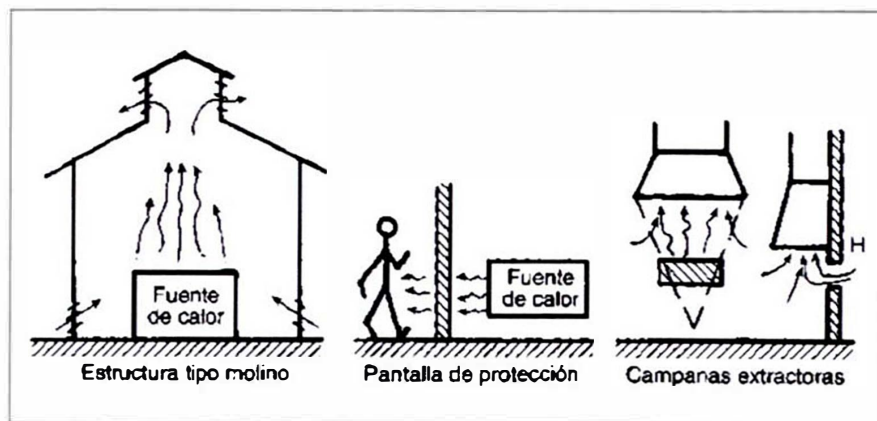
En caso las medidas mencionadas anteriormente no hayan sido suficientes para mitigar el riesgo o resulten inviables económicamente, existe la posibilidad de implementar controles en el receptor. La principal medida que se debe considerar es en lograr reducir la producción de gasto metabólico de los colaboradores, con la minoración de actividad física, mejoramiento de manipulación manual de cargas o movimientos que emplea durante la jornada laboral. Además, es importante limitar la duración del tiempo en el que se está expuesto a ambientes donde exista riesgo de sufrir estrés térmico, estableciendo los regímenes de trabajo-descanso, buscando la menor exposición posible y cumpliendo las tareas establecidas. Una estrategia como control administrativo es gestionar una correcta rotación de puestos de trabajo, que contribuyan con el control.

Otra alternativa es la generación de microclimas en el puesto de trabajo, el cual permita que los trabajadores permanezcan en áreas de trabajo frescas y confortables, con una suficiente circulación de aire sin que se generen grandes corrientes de aire incómodos para los trabajadores. Para el cumplimiento de este control es posible con la instalación de cabinas climatizadas, contar con ambientes adecuados para el descanso, que incluyan aire acondicionado o la implementación de ventiladores focalizados en las áreas de exposición. (Chica 2016, p. 28-29).

Finalmente, cabe indicar que la ropa de trabajo que se considere es de vital importancia dado que, de acuerdo con las características propias, permitirán una mejor ventilación y autorregulación de la temperatura corporal del individuo. Sin embargo, es importante también considerar que ciertos tipos de vestimentas pueden resultar voluminosos, incómodos y con limitación al libre movimiento del trabajador.

En la siguiente figura se muestran diferentes formas de controlar el calor transmitido por convección producido en operaciones industriales. El control se realiza a través de la abertura en la parte superior de la instalación para que se facilite la salida del aire caliente y las aberturas inferiores para facilitar el ingreso de aire fresco, entre otras medidas.

Figura 3. Tipos de controles frente a las fuentes de calor.



Nota. La figura representa los diferentes tipos de controles que pueden emplearse para minimizar el riesgo por calor. Adaptado del libro "Técnicas de prevención de riesgos laborales" (Cortés, 2012).

2.3 Marco Legal

2.2.1 Normativa Nacional

En el marco normativo peruano, el trabajo se reconoce como un pilar esencial para el bienestar social y la realización del ciudadano, tal como se estipula en el artículo 22° de la Constitución Política del Perú de 1993. Este principio resalta que el trabajo no solo constituye un derecho fundamental, sino también un deber, posicionándose como un medio para alcanzar la plenitud individual y colectiva.

Dicho ello, en concordancia con la Ley No. 29783, Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo (2011), establece un robusto sistema normativo orientado a garantizar condiciones laborales que protejan la vida y el bienestar de los trabajadores. Bajo el Principio de Prevención, el cual otorga al empleador la responsabilidad de implementar medidas que aborden los riesgos laborales desde una perspectiva integral, considerando factores sociales y laborales. Asimismo, el Principio de Protección consagra el derecho de los trabajadores a desempeñarse en condiciones dignas, que promuevan su salud física, mental y social. Estas condiciones deben asegurar un entorno laboral seguro y permitir el desarrollo personal y profesional de cada trabajador.

El artículo 21° de esta ley detalla el orden de prioridad en la aplicación de medidas preventivas y de protección, privilegiando la eliminación de riesgos en su origen. Cuando esto no sea factible, se establece la sustitución progresiva de tecnologías o sustancias peligrosas, la adopción de medidas de control técnico o administrativo, y, como último recurso, la provisión de equipos de protección personal.

Como marco reglamentario se promulgó el Decreto Supremo No. 005-2012-TR el cual regula la implementación del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo. En su artículo 25°, se señala que dicha implementación debe adaptarse a las características específicas de cada organización, considerando el nivel de exposición a riesgos y la cantidad de trabajadores implicados. Además, el artículo 80° enfatiza la planificación estratégica de la seguridad y salud ocupacional, la cual debe basarse en evaluaciones iniciales y periódicas, con la participación de los trabajadores y sus representantes. Esta planificación incluye la definición de objetivos claros, la elaboración de planes con metas precisas, la asignación de recursos y la selección de indicadores de desempeño.

El Decreto Supremo No. 024-2016-EM, por otra parte, profundiza en la gestión de la higiene ocupacional en el sector minero, detallando en el artículo 101° la exigencia de la identificación y evaluación de riesgos relacionados con agentes físicos, químicos, biológicos y ergonómicos, estableciendo controles basados en límites de exposición ocupacional. Asimismo, el artículo 102° ordena un monitoreo constante de estos agentes, garantizando la protección de los trabajadores en este sector altamente exigente.

La Resolución Ministerial No. 375-2008-TR, el cual establece la norma básica de ergonomía, también se enfoca en las condiciones ambientales del trabajo, ajustándolas a las características físicas y mentales de los trabajadores y a la naturaleza específica de cada tarea. En este sentido, se incorporan estándares internacionales como el índice TGBH, para evaluar el ambiente térmico y la velocidad del aire, asegurando así condiciones óptimas de confort y seguridad.

Finalmente, en la Ley N° 26842, Ley General de Salud, en su Capítulo VII, refuerza la obligación de las entidades que administran actividades económicas de implementar medidas que promuevan la salud y seguridad en los centros laborales. Los artículos 100° a 102° de esta ley subrayan la uniformidad de las condiciones higiénicas y sanitarias en todos los centros de trabajo, independientemente de la actividad que se realice, garantizando así un entorno laboral seguro y saludable para todos.

Este marco normativo, integral y progresivo, refleja el compromiso del Estado peruano en salvaguardar la vida, la salud y la dignidad de los trabajadores, promoviendo al mismo tiempo un ambiente laboral que favorezca el desarrollo humano y profesional.

Capítulo III: Hipótesis y variabilidad

3.1 Hipótesis de la investigación

3.1.1 Hipótesis general

Los colaboradores de una planta de fundición de una mina de oro están expuestos a niveles tolerables de estrés térmico por calor.

3.1.2 Hipótesis específicas

Las actividades de fundidor en el horno pillar son las que presentan mayor exposición de estrés térmico.

No se evidencia signos representativos de tensión por calor en la ejecución de las actividades de la Planta de Fundición.

Existe relación significativa entre el personal con IMC mayor a 25kg/m² y el confort térmico de los trabajadores de una Planta de Fundición.

3.2 Variables

3.2.1 Variable Independiente

Actividades físicas y condiciones de trabajo en la planta de fundición.

3.2.2 Variable Dependiente

Estrés térmico TGBH.

3.2.3 Variable Intervinientes

Temperatura del globo, temperatura del bulbo húmedo y temperatura del aire seco.

Gasto metabólico.

3.3 Operacionalización de las variables

Tabla 8. Matriz de consistencia

MATRIZ DE CONSISTENCIA					
TÍTULO:	"EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN AL CALOR DEL PERSONAL DE UNA PLANTA DE FUNDICIÓN DE UNA MINA DE ORO UTILIZANDO LA METODOLOGÍA DEL ÍNDICE TGBH"				
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLE	MÉTODO DE INVESTIGACIÓN	POBLACIÓN Y MUESTREO
¿Cuáles son los niveles de exposición al calor de los colaboradores de una Planta de Fundición de una mina de oro?	Determinar los niveles de estrés térmico a los que están expuestos los colaboradores de una Planta de Fundición de una mina de oro.	Los colaboradores de una Planta de Fundición de una mina de oro se encuentran expuestos a niveles tolerables de estrés térmico.	VARIABLE INDEPENDIENTE: • Actividades físicas y condiciones de trabajo en la Planta de Refinería y Fundición.	TIPO: Investigación descriptiva del tipo mixta (cualitativa y cuantitativa). El nivel de investigación es no experimental con muestreo no probabilístico.	POBLACIÓN: Para la investigación se considera al personal operativo que laboran en la Planta de Fundición y Refinería de la unidad minera.
PROBLEMA ESPECÍFICO ¿Cuál es la actividad dentro de la Planta de Fundición que presenta mayor estrés térmico?	OBJETIVO ESPECÍFICO Determinar la actividad dentro de la Planta de Fundición que presenta mayor exposición de estrés térmico.	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS Las actividades de fundidor en el horno pillar son las que presentan mayor exposición de estrés térmico.	VARIABLE DEPENDIENTE: • Estrés térmico TGBH.	MÉTODO: ISO 7243:2017 – Ergonomía del ambiente térmico Estimación del estrés térmico basado en el índice TGBH y Guía N°2, Medición de Estrés Térmico, D.S.024-2016-EM Reglamento de SSO en Minería.	MUESTRA: Para la investigación la metodología seleccionada es No Probabilística o Por Juicio teniendo en cuenta que la muestra elegida es determinada por el investigador teniendo en cuenta la exposición más crítica según las condiciones de trabajo desarrolladas en la operación minera.
¿Existe signos de presencia de tensión por calor en el desarrollo de las actividades de la Planta de Fundición?	Determinar si es que existen presencia de signos por tensión por calor en el desarrollo de las actividades de la Planta de Fundición.	No se evidencian signos representativos de tensión por calor en el desarrollo de las actividades de la Planta de Fundición.	VARIABLE INTERVINIENTE: • Temperatura del globo. • Temperatura húmeda natural. • Temperatura seca del aire. • Gasto metabólico.	UNE-EN ISO 10551:2019 – Ergonomía del ambiente físico. Evaluación de la influencia del ambiente físico empleando escalas de juicio subjetivo.	
¿Existe relación entre el nivel de confort térmico y el IMC de los colaboradores de una Planta de Fundición?	Identificar si existe relación entre el nivel de confort térmico y el IMC de los colaboradores de una Planta de Fundición	Existe relación significativa entre el personal con IMC mayor a 25kg/m² y el confort térmico de los colaboradores de una Planta de Fundición.			

Nota: La siguiente tabla muestra la configuración de la matriz de consistencia de la presente investigación. Elaboración propia.

Capítulo IV: Desarrollo del trabajo de investigación

4.1 Características generales

El presente estudio se focaliza en el proceso térmico para las actividades de la planta de fundición de una mina que procesa minerales tales como el oro y la plata, transformándolos en barras doré como producto final. La unidad minera está ubicada en el sur del Perú, a una altitud geográfica superior de los 4400 m.s.n.m., la geografía de la región tiene predominio de topografía montañosa y accidentada.

Por otro lado, de acuerdo con el histórico de los registros de datos meteorológicos de la zona se puede precisar que la temperatura ambiental promedio en la unidad minera es de 3.6 °C, con una humedad relativa que se aproxima a los 50.2 %, una presión barométrica de 447.29 mmHg y una velocidad del aire de 2.4 m/s.

4.2 Actividades y mapa de procesos

4.2.1 Actividades principales

Dentro de los procesos metalúrgicos hay una rama denominada Hidrometalurgia, este proceso es utilizado junto con el proceso de fundición; la unidad minera es de tipo a open pit o también conocido como a cielo abierto, donde se explota mineral con contenido aurífero, el cual es enviado en camiones mineros modelo CAT-777 de 100 toneladas de capacidad hacia la Planta Chancadora para reducir el tamaño del mineral, obteniendo un P80 menor a 2.5 pulgadas. Posteriormente mediante un sistema de carguío automático en el ore bin el mineral es transportado hacia el Pad de Lixiviación con camiones mineros CAT-777 de la misma capacidad.

Para la disolución del oro que contiene el mineral se dispone como reactivo lixivante el Cianuro de Sodio (NaCN) en un proceso de lixiviación mediante pilas múltiples. El oro de la solución rica es recuperado en la Planta ADR (siglas de las iniciales de adsorción, desorción y reactivación) donde la solución super rica de la desorción es enviada a las celdas electrolíticas en donde se obtiene un cemento electrolítico con contenido oro el cual posteriormente, se funde para la obtención de las barras de dore (composición de Au y Ag). Las instalaciones principales para el procesamiento de minerales son las siguientes:

Chancado primario y zona de reclamo de mineral.

Pad de Lixiviación.

Pozas de solución Rica (pregnant) y Poza de Grandes Eventos.

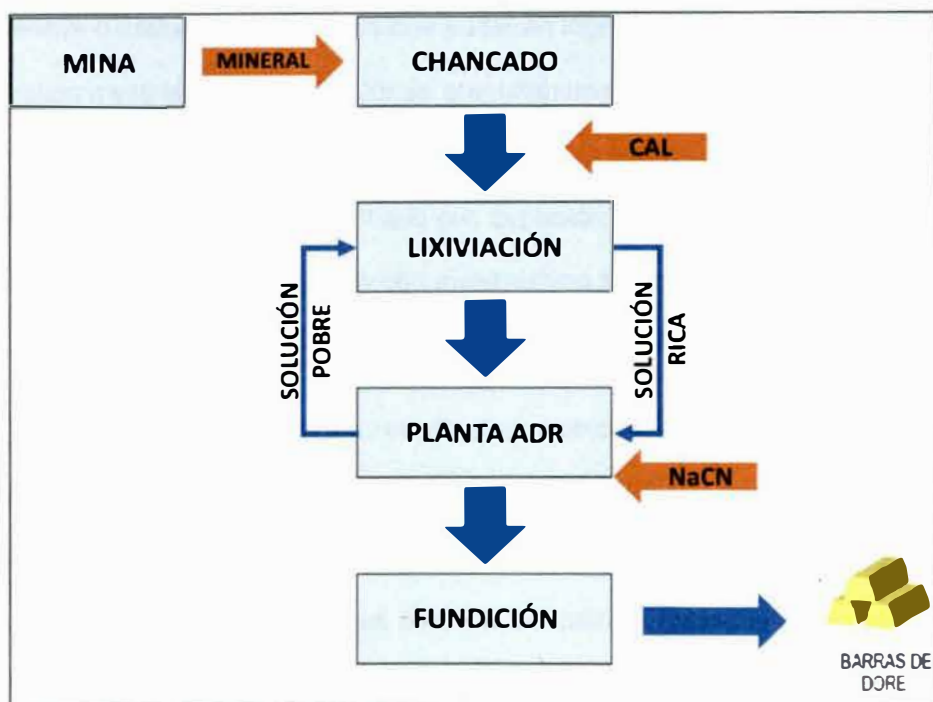
Planta de ADR (Adsorción, Desorción y Reactivación de Carbón).

Fundición donde se obtiene las barras de Dore de Oro y Plata.

4.2.2 Mapa de procesos

A continuación, en la figura 4 se muestra el diagrama de bloques de la operación, en donde se visualiza el resumen el flujo del proceso productivo.

Figura 4. Diagrama de bloques de la unidad minera.



Nota. La figura resume el flujo de procesos a través del esquema de diagramas por bloques. Elaboración propia.

4.3 Proceso operativo

4.3.1 Chancando y Reclamo de Mineral

El mineral procedente de mina es transportado hacia la única chancadora primaria por camiones de la marca CAT del modelo 777F que descargan en la tolva de gruesos (dump pocket), para reducir el tamaño del mineral a través de la chancadora giratoria Allis Chalmer de 48" x 74", de capacidad de 1,300 toneladas por hora para obtener una granulometría P80 menor a 2.5 pulgadas.

El mineral chancado descarga en el alimentador de placas (apron feeder) de velocidad regulable, que a su vez alimenta a la faja transportadora número 01, al ingreso de la faja 01 se tiene instalado una banda imantada para recuperar

piezas o estructuras metálicas que pudieran ingresar al circuito por accidente, una balanza y el sistema analizador de granulometría (split on line). Posteriormente el mineral es descargado en la faja transportadora número 02 para la formación del stock pile intermedio de chancado con capacidad de 30,000 Ton. Para la mitigación de polvo se cuenta con mecanismos supresores de polvo con aspersores de agua en la tolva de gruesos y chutes de transferencia de las fajas.

Luego tres alimentadores vibratorios ubicados debajo del stock pile intermedio de Chancado alimentan hacia la faja N° 3 que cuenta con una balanza en línea para controlar el tonelaje procesado y el sistema analizador de granulometría (split on line); en esta faja también se realiza la dosificación de cal (óxido de calcio) con un ratio de 0.85 kg de Cal / Ton de mineral con la finalidad de darle condiciones de alcalinidad protectora necesaria al mineral para continuar con el proceso de riego con solución cianurada; dicha dosificación de cal se realiza a través de dos tornillos independientes por cada uno de los dos silos de Cal de 60 ton de capacidad.

La faja transportadora número 03, descarga el mineral en la tolva de concreto de 200 toneladas (Ore Bin); el cual en la zona baja tiene instalado dos compuertas hidráulicas que sirven para controlar la alimentación a la tolva de los camiones CAT 777 de manera automática, transportando luego el mineral hacia el Pad de Lixiviación.

El circuito de transporte de mineral es diseñado de tal forma que, si alguna faja transportadora falle, las demás se detienen, comunicando la falla o error a la sala de control de chancado a través de los sensores; de esta forma el reinicio del circuito del transporte se da en todo el sistema. En esta sala de control se opera

todo el proceso de chancado y descarga de mineral los cuales son activados remotamente con la instrumentación y sensores automáticos.

4.3.2 Lixiviación de Mineral

El mineral procedente de la planta de chancado es apilado en el Pad de lixiviación formando Lift de 8m de altura donde se divide en celdas de una extensión promedio de 8,000 m²; posterior a la conformación de celdas se procede a realizar fluffing y la remoción con un tractor orugas CAT D8 en la parte superior de la celda con la finalidad de mitigar la segregación y compactación del mineral de los niveles apilados.

La solución lixivante es transportada mediante dos líneas de 14 pulgadas de acero al carbono SCH 40 que parten del tanque de solución barren el cual tiene las siguientes dimensiones: 13m de diámetro por 6m de altura hacia el Pad de lixiviación a través de un sistema de bombeo conformado por: dos bombas de 1,250 HP (en stand by, para casos de contingencias) y una bomba de 1,750 HP (en operación). Estas tuberías de impulsión se encuentran sobre un canal completamente impermeabilizado durante todo su trayecto que finaliza en la parte superior del pad en un manifold con filtros de 6 pulgadas de malla 130 micrones para la retención de las partículas que obstruyen el gotero. Desde las tuberías de acero se ramifican a través de tuberías de HDPE de 14" SDR 13.5 y 17 para luego ramificarse en sub troncales de 6" (mangueras lay flat) desde donde se distribuyen las soluciones a las celdas de riego. Estas celdas están conformadas por dos tuberías lay flat de 6 pulgadas y de 4 pulgadas donde se acoplan las mangueras de riego por goteo con una malla de riego de 0.45m x 0.40m.

El proceso de lixiviación se desarrolla con solución alcalina de cianuro de sodio (donde se mantiene un pH entre los valores de 10.0 a 11.0) para evitar la generación de cianuro por descomposición en ácido cianhídrico (HCN). El cianuro libre en la solución lixivante tiene una concentración de 60 ppm y una ratio aproximada de consumo de cianuro a razón de 0.076 kg/ton, con una densidad de riego 11 l/hm² con un ciclo de Lixiviación de 60 días.

La solución rica que percola o se infiltra a través de la pila de mineral es recolectada por una red de tuberías de drenaje instalado sobre geosintéticos que recubren todo el nivel de la plataforma de lixiviación; la solución colectada se direcciona hacia el sumidero y por intermedio de dos líneas de HDPE de 300 mm de diámetro, se procede con descarga de la solución en la poza PLS de solución rica (Pregnant), el cual posteriormente es bombeado hacia el circuito de adsorción.

Por otro lado, la solución pobre sobrante del circuito de adsorción es descargado en el tanque barren donde se corrige la concentración añadiendo cianuro de sodio para que este sea bombeado luego al pad de lixiviación nuevamente, asegurando así que el ciclo sea un circuito cerrado, lo cual asegura que este proceso no genere efluentes.

4.3.3 Poza de Solución Pregnant (PLS) y Poza de Grandes Eventos (PGE)

El funcionamiento del proceso del pad de lixiviación hace uso de 2 pozas las cuales tienen un rol muy importante, dado que aseguran que el circuito se realice bajo el concepto de generación de cero efluentes.

4.3.3.1 Poza de Solución Pregnant (PLS)

Poza de operación que cuenta tiene una capacidad instalada de 45,000 m³, en el cual se almacena la solución rica que son captados en el Pad de lixiviación, desde la poza PLS se transporta hacia la planta mediante 3 bombas sumergibles de 60HP. La Poza PLS cuenta con doble revestimiento de geomembrana HDPE (lisa y conductiva) así como una bomba en el sistema de detección de fugas ubicada entre ambas láminas; asimismo; esta poza posee una línea de subdrenaje el cual se conecta con una poza impermeabilizada con geomembrana para la ejecución de monitoreos respectivos.

4.3.3.2 Poza de Grandes Eventos (PGE)

Poza de contingencia está diseñada para contener hasta 100,000 m³ y puede almacenar las soluciones excedentes de la poza PLS, los cuales luego son reincorporadas al proceso. La superficie de la poza PGE es impermeable con una lámina instalada de geomembrana de HDPE y también tiene instalado un sistema de tuberías de subdrenaje que descargan en una poza de monitoreo.

4.3.4 Planta de Adsorción, Desorción y Reactivación de Carbón

4.3.4.1 Adsorción

La solución rica proveniente de la percolación del Pad es almacenada en la poza PLS donde se tiene tres bombas sumergibles de 60 HP cada una, las líneas de descarga de estas bombas se unen en una tubería de acero SCH 40 de 16 pulgadas donde es conducida la solución rica hacia los dos trenes de adsorción.

En la entrada de cada tren de adsorción se tiene válvulas mariposa para poder operar en forma paralela o independientemente cada circuito de adsorción, de acuerdo con el volumen que se tenga disponible.

El tren de adsorción N°1 es en cascada, el cual procesa 400 m³/hr de solución rica que es alimentado desde la poza PLS, esta solución presenta leyes de oro y plata principalmente y es procesada en la batería de 5 tanques de 3.85m de diámetro x 4.0 m. de altura, los cuales contienen 6,000 kg de carbón activado de malla 6 x 12 en cada tanque.

La absorción de los complejos cianurados de oro, plata y otros metales en solución rica se realiza con la ayuda del carbón activado que contiene los tanques; esto debido a las propiedades y a su estructura porosa. La solución más rica es introducida al tanque N° 1, donde se adsorbe una mayor proporción de oro, y así sucesivamente hasta el último tanque el cual contiene carbón más activo con una menor carga y al final del circuito de adsorción sale la solución pobre hacia el tanque barren. El proceso de adsorción tiene una eficiencia promedio del 92% con una carga estimada de 2.0 Kg. Au/TM de carbón.

Luego de que el carbón del tanque N° 01 haya concluido su carga, este es transferido a circuito de desorción, y se inicia el movimiento mediante bomba o eductores el carbón del tanque N° 02 hacia el N° 01, tanque N° 03 hacia N° 02 y tanque N° 04 hacia N° 03, tanque N° 05 hacia N° 04 y se adiciona en el tanque N° 05 carbón regenerado o nuevo.

El segundo tren de adsorción procesa como máximo 860 m³/h de solución rica proveniente de la poza PLS, mediante la tubería de 16 pulgadas de acero SCH 40 mediante una derivación, este tren de adsorción con 6 tanques de 4.1 de diámetro x 5.34 m de altura están instalados en una configuración horizontal; cada tanque tiene una capacidad de 6,000 kg de carbón activado de malla 6 x 12 estos tanques están diseñadas para asegurar una buena fluidización del lecho de

carbón, de manera tal que permita el contacto. adecuado de la solución rica y el carbón activado.

Para la alimentación de la solución rica proveniente de la PLS se realiza mediante una derivación con una tubería donde se ubica el flujo metro para controlar el caudal procesado. La solución pobre (barren) proveniente del último tanque pasa. por una malla estacionara N° 100 DSM donde retiene los finos del carbón, y luego es conducida al tanque barren. En esta etapa se tiene una eficiencia en promedio de 95% con una carga de 2.0 kg Au / TM de carbón.

Cada tanque cuenta con manómetros para leer la presión en la operación, el circuito cuenta con un sistema de muestreo continuo ubicado en la línea de solución rica y en la línea de solución pobre; también cuenta con un punto de muestreo manual en el ingreso y salida de solución de cada tanque para realizar el monitoreo de la eficiencia de adsorción y determinar la cantidad de oro dentro del carbón activado.

La operación del circuito de adsorción horizontal es continua por lo tanto el procedimiento de operación para descarga del carbón será aislando el tanque que se va a descargar por medio de válvulas tipo mariposa que cortarían el ingreso de solución rica al tanque derivando la solución rica al tanque siguiente con la cual se continuara el proceso, mientras que el carbón del tanque aislado será descargado mediante el uso de un eductor hacia la etapa de desorción. Cuando el tanque ha descargado las 6 ton de carbón esta cantidad será repuesta con carbón reactivado o nuevo.

4.3.4.2 Desorción

Finalizado los circuitos de carga del carbón en los tanques de adsorción, éste será descargado y transportado al circuito de desorción a presión tipo Zadra. En esta etapa se requiere entre 12 a 18 horas para culminar un ciclo, en el proceso se tienen instalados 2 reactores de 3.0 TM de carbón los cuales pueden operar en simultaneo o en paralelo.

El contenido del oro y la plata son extraídos continuamente durante el ciclo de la elución mediante la electro-obtención de la solución eluyente enriquecida simultáneamente con la desorción. Posterior a ello, el carbón rico se transfiere al reactor de desorción para la recuperación del contenido metálico adsorbidas en los ciclos anteriores. En esta etapa, en el tanque de elusión se prepara una solución el cual contiene 1% de NaOH y 0.1% de NaCN, y a su vez es calentado a través de unas resistencias eléctricas denominadas heaters, y finalmente se bombea la solución en manera ascendente a través de la columna de carbón que se encuentra dentro el reactor de desorción donde se extrae el oro y plata que contiene el carbón.

La solución de rica del proceso de desorción es dirigida por la parte superior del reactor, para disminuir la temperatura a 75 °C a través de un intercambiador de calor y posterior a ello es depositado en dos celdas electrolíticas que pueden operar simultáneamente o en serie. En esta etapa el contenido rico de los metales es precipitado en los cátodos en forma de lodo; mientras que la solución eluyente pobre es transportada al tanque de elución para la corrección de concentraciones y temperatura y con ello reanudar el ciclo de desorción del

carbón. Este proceso finaliza cuando el ratio de oro/plata en el carbón pobre sea menor a 40 g/t.

4.3.4.3 Reactivación del Carbón Activado

El proceso de reactivación química del carbón se realiza para quitar los carbonatos que se han formado en la superficie del carbón, lo cual disminuye su capacidad para adsorber oro. Para llevar a cabo esta tarea, se utilizan dos reactores con una capacidad de 3 toneladas cada uno. Al finalizar el proceso de desorción, el carbón es descargado y luego introducido en estos reactores para su reactivación química.

Se adiciona ácido clorhídrico (33% de concentración) diluyéndolo a 3% hasta un pH de 3, luego se recircula la solución por un periodo de 04 horas. La solución resultante del proceso de reactivación química se neutraliza con una solución de hidróxido de sodio antes de ser dirigida a la poza de almacenamiento. Durante este proceso, se consume aproximadamente 1,000 kg de ácido clorhídrico por cada 6 toneladas de carbón. Además, se adiciona hidróxido de sodio para asegurar la neutralización completa de la solución de reactivación.

4.3.5 Fundición y Obtención de Barras Doré

En la celda electrolítica, los cátodos saturados de precipitado electrolítico se lavan con agua a presión y posteriormente se filtran para obtener el precipitado de oro y plata.

Posteriormente, el precipitado se introduce en un horno retorta para eliminar cualquier presencia de mercurio residual. Se añaden fundentes tales como bórax, carbonato de sodio, sílice y nitrato de potasio, y se lleva a cabo el

proceso de fundición en un horno eléctrico de inducción a una temperatura de 1,300 °C. Luego, se realiza la colada de metal fundido para producir barras Dore, que contienen aproximadamente un 40% de oro (Au) y un 45% de plata (Ag).

Los gases generados durante la fundición son dirigidos a través de una campana y un extractor hacia una columna de lavado, donde se recapturan los gases en el proceso de fundición junto con los polvos arrastrados. Posteriormente, estos polvos se funden con una colada normal de producción para recuperar el oro y la plata. Una vez que los gases estén libres de sólidos y completamente fríos, se liberan a la atmósfera.

Es en este último proceso en el que desarrollaremos la evaluación de estrés térmico en los trabajos asociados en la operación del horno eléctrico y la obtención de la barra doré. Para ello, describiremos las principales consideraciones de recursos utilizados para la ejecución de estos trabajos, asimismo, se describe las tareas realizadas para la actividad.

4.4 Descripción del Procedimiento Operativo del Proceso de Fundición

4.4.1 Descripción del proceso

Inspección del área de refinería y llenado de herramientas de gestión (Orden De Trabajo, IPERC, PETAR). El ingreso a vestuario de refinería será en bata y los EPP se llevarán aparte.

Monitoreo de vapores de mercurio (Hg) en todos los puntos internos de refinería y anotar valores en formato de control de ambiente de refinería.

Verificación anticipada (1 día antes) del buen estado de los sistemas de enfriamiento, basculación, horno pillar, balanza, apilador eléctrico, lingoteras y herramientas.

Energizado y encendido del horno Pillar con nivel de poder al mínimo.

Entre 2 personas se retiran de la retorta las bandejas con precipitado o cemento seco con ayuda del apilador eléctrico hacia la zona de pesaje.

Anotar pesos en formato de fundentes.

Vaciar cemento seco a bandeja de homogenización y limpiar bandejas de retorta con espátulas y cincel. En caso la bandeja de homogenización se encuentre cargada con otro lote, éste deberá retirarse y almacenarse en bolsas de 20kg.

Pesar los reactivos de fundición: Bórax, Nitrato de Potasio, Carbonato de sodio y Sílice de acuerdo con los pesos indicados por el Supervisor de Planta.

Vaciar la cantidad pesada de reactivos en la bandeja de homogenización y mezclar el precipitado y fundentes (homogenizado para precipitados o escorias ricas). Luego el precipitado preparado se almacenará en bolsas de 20 kg y se irá vaciando dentro del horno paulatinamente (hasta 120 kg aprox.). Se elevará temperatura del horno de acuerdo con cantidad de carga.

Se inspeccionará continuamente dentro del horno para verificar la fusión completa del precipitado y el nivel de la carga. Se irá agitando la carga con ayuda de una barreta. En caso sea necesario agregar más bolsas con precipitado.

Mientras se funde la carga se deberá ir apilando las lingoteras en forma de cascada en el carro lingotero. Primero irá el cono lingoteador, luego las lingoteras una a una hasta llegar a la base donde irá una bandeja que evite el derrame de escorias o metal líquido.

Verificar si toda la masa se encuentra fundida (caldo) habiendo transcurrido entre 30 a 50 min, en tal caso se debe despejar el área y solo debe quedar en refinería el fundidor, el basculador y el ayudante del carrito lingotero.

Dependiendo de la cantidad de escorias dentro del crisol se tomará la decisión de escorificar o no. En caso sea conveniente escorificar el fundidor guiará al basculador (encargado de levantar el horno con palanca neumática) para ir colando la escoria a las lingoteras y no perder metal líquido.

Posterior a ello se procederá con la colada del metal líquido y se irá vertiendo lenta y constantemente al cono lingotero hasta cargar todas las lingoteras con la carga fundida. El fundidor guiará en todo momento al basculador.

Una vez colada toda la carga, inmediatamente el fundidor debe tomar muestra del metal líquido en la lingotera 1, 2 o 3 con la ayuda de pines Pirex. Esto debe realizarse antes de solidificarse el metal.

Cuando el metal se encuentre en las lingoteras, verificar que haya solidificado.

Ya solidificado el metal se procederá a desmoldar las barras de las lingoteras.

Una vez retiradas las barras recogerlas con ayuda de tenazas o lampas y llevarlas a la bandeja con agua fría.

El personal fundidor debe realizar la limpieza de todas las trazas generadas segregando en un recipiente toda la escoria rica caliente, así mismo debe reubicar las lingoteras en el carrito y trasladar las muestras tomadas de doré hacia la bóveda.

Una vez enfriadas las escorias ricas, estas deben fraccionarse, luego retirar del recipiente y pesarse en sacos de polipropileno codificados con fechas y pesos para su posterior refundición según se requiera.

Una vez que las barras doré se han enfriado se deben retirar de la bandeja de agua con ayuda de las tenazas hacia la mesa de lavado de barras doré. Ya en la mesa de lavado emplear el desincrustrador de agujas neumáticas para retirar impurezas de los poros de las barras.

Si es necesario, emplear esmeril de escobilla, escobilla metálica o lija al agua para retirar impurezas muy adheridas.

Realizar un lavado con agua y detergente para dar brillo a la barra.

Una vez lavadas las barras se procede con la apilación y posterior gestión de almacenamiento

4.4.2 Personal

Para el proceso operativo, se requiere personal que desarrolle las siguientes posiciones operativas claves; Fundidor, Basculador y lavador de lingotes. Para la primera actividad, se designa a un Técnico Operador de Planta y para las otras dos, a un operador de planta para la ejecución de las actividades. En todo momento el ingeniero de planta está a cargo de todo el desarrollo del proceso. En el siguiente cuadro, se resume la distribución de actividades por puesto de trabajo

Tabla 9. *Distribución de actividades por personal*

Puesto de trabajo	Actividad	Cantidad de trabajadores
Técnico Multifuncional de Planta	Fundidor	02

Puesto de trabajo	Actividad	Cantidad de trabajadores
Operador Multifuncional de Planta	Basculador y/o lavador de lingotes	03
Jefe de Guardia / Ingeniero de Planta	Supervisión	01

Nota. La tabla muestra la cantidad de trabajadores que se requiere por actividad y puesto de trabajo necesario para los trabajos de fundición en una guardia. Elaboración propia.

4.4.3 Equipos de Protección Personal

Los EPP que se utilizan para la ejecución de trabajos en la planta de fundición son seleccionados de tal forma que protejan a los colaboradores de todos los riesgos asociados al desarrollo de las actividades.

- Casco - OSHA, ANSI Z89.1-2014.
- Tapón auditivo y orejeras protección auditiva - EN 352 / EN 397.
- Equipo PAPR (purificador de aire a presión positiva) - OSHA, ANSI Z89.1-2009 (cabeza tipo 1 class G), ANSI Z87.1-2010 (ojos).
- Respirador de cara completa (Full Face) - NIOSH/MSHA.
- Cartuchos de vapor de Hg - NIOSH 42 CFR especificación 100.
- Filtros para polvo - NIOSH 42 CFR especificación 100.
- Traje ignífugo (camisa y pantalón) - EN ISO 11612:2010, ISO 17493:2000, ISO 9151, UNE EN ISO 6942, ISO 9185 (Aluminio), ISO 9185 (Hierro), ISO 12127, UNE EN ISO 11611:08, ISO 9150:88, UNE EN 1149-3.
- Guantes aluminizados – EN 407 / EN 388.
- Mameluco descartable - EN 14605 / EN 14126 / EN ISO 13982-1

Guantes de nitrilo descartable - EN374:2003 / EN ISO 374-1:2016 / EN

ISO 374-5: 2016

Guantes de neopreno - EN388:2016

Zapatos de seguridad - ASTM F2412:2018 / EN ISO 20344:2004

4.4.4 Equipos de Trabajo

Balanza 150 Kg

Horno Pillar

Sistema de enfriamiento

Sistema de basculación

Apilador eléctrico

Balanza bóveda

Carrito de lingoteras

Lingoteras

Desincrustrador de agujas neumáticas

Esmeril de escobilla

PC

4.4.5 Herramientas

Palana o lampa

Bandejas de precipitado

Bandeja de homogenizado

Bandeja pequeña

Espátulas

Cinzel

Bolas plásticas grandes

Comba
Escobillas metálicas
Lijas al agua
Manguera de agua
Escobas
Sacos
Recogedor
Pines de muestreo
Jarras
Caja metálica de escoria
Barreta para fusión

4.4.6 Materiales

Bolsas
Precipitado seco
Reactivos fundentes
Detergente
Cajas codificadas
Precintos

4.5 Tipo y diseño de la investigación

La presente investigación está centrada en evaluar el estrés térmico por calor en una planta de fundición de una operación minera en el sur del Perú, utilizando la metodología TGBH basado en los principios establecidos de la norma ISO 7243:2017. El estudio se fundamentará en el análisis cuantitativo de las condiciones térmicas ambientales y de la operación, así como la carga metabólica que genera las actividades inmersas en el proceso de fundición, esta información permitirá realizar la evaluación del riesgo higiénico.

Posterior a ello, de acuerdo con los resultados obtenidos se plantearán las recomendaciones específicas que se pueden implementar en la operación, a fin de mejorar las condiciones de bienestar según se requieran. Esta investigación busca que las condiciones de trabajo se encuentren dentro del rango aceptable según normativa nacional e internacional, promoviendo así un trabajo decente en línea con los objetivos de desarrollo sostenible.

4.6 Unidad de análisis

La unidad de análisis del presente estudio es la planta de fundición de la operación minera ubicada a más de 4,400 m.s.n.m, además de los factores de riesgo de estrés térmico por calor generado por las condiciones ambientales y de la operación, así como también la carga metabólica generado por el desarrollo de la actividad física.

4.7 Población y muestra de estudio

Población: Para la investigación se considera a todos los trabajadores que laboran en la planta de fundición de la unidad minera.

Muestra: La metodología utilizada es del tipo No Probabilística o Por Juicio teniendo en cuenta que la muestra escogida fue determinada por el investigador teniendo en cuenta la exposición más crítica según las condiciones de trabajo desarrolladas en la operación minera.

4.8 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Técnica: Se empleó la observación directa, medición de parámetros de higiene ocupacional y el análisis de información documentada. Estos métodos facilitan la recopilación e interpretación de los resultados obtenidos, las condiciones de higiene y las medidas de control de calor en la planta de fundición. Asimismo, cabe indicar que las características de la investigación son las siguientes:

Descriptiva: De acuerdo con la observación y cuantificación del nivel de estrés térmico en el ambiente de trabajo, de acuerdo con la metodología TGBH. Asimismo, con el levantamiento de información subjetiva frente a la percepción de confort térmico de los colaboradores.

Cuantitativa: Debido a que se obtienen datos de las variables ambientales tales como: temperaturas, humedad, velocidad del aire para el cálculo del índice de estrés térmico.

Transversal: Puesto que el estudio se realiza con información levantada en el 2022.

No experimental: El desarrollo de esta investigación se limita a observar y medir el nivel de riesgo de estrés térmico del ambiente de trabajo y evaluación subjetiva de percepción térmica sin intervenir en las variaciones de estos.

De campo: La tarea de recolección de datos se realiza durante la ejecución de actividades en la Planta de Fundición de la mina de oro.

Herramientas: Dentro de este campo se incluyen las listas de verificación, la hoja de recolección de datos de medición, cuestionarios de entrevistas estructurados, mapa detallado de la planta de fundición, los cuales se utilizan para el análisis del presente estudio.

4.9 Técnica de recolección de datos

La investigación se basa principalmente en la metodología de Índice de Temperatura del Globo y Bulbo Húmedo según la norma ISO 7243:2017 como herramienta para la estimación del nivel de riesgo de calor en ambientes de trabajo. Asimismo, se utilizó la metodología para estimación de juicio subjetivo de condiciones de ambientes térmicos según la metodología UNE-EN ISO 10551:2019. Estos enfoques integran y facilitan la recopilación de información requerida para analizar los factores de riesgo térmico de la planta de fundición. Esta investigación se complementa a través de la recopilación observación directa, entrevistas estructuradas con el personal y la revisión de la información documentada de la operación.

4.10 Instrumento de recolección de datos

Para el presente estudio se utilizan las siguientes herramientas:

Lista de recopilación de datos de monitoreo de estrés térmico por calor.

Cuestionario estructurado: Evaluación de escalas de percepción del estado térmico y del ambiente térmico en la planta de fundición.

Croquis de la planta de fundición: mapa de puntos de monitoreo.

Fichas técnicas de equipos y certificado de calibración.

4.11 Análisis e interpretación de la información

El análisis se centrará en desarrollar las siguientes acciones.

Recolectar la información de la estimación de riesgo de estrés térmico por calor en el ambiente de trabajo según la norma ISO 7243:2017 y los datos de la estimación subjetiva de la percepción del ambiente térmico de los trabajadores de acuerdo con la metodología establecida en la norma UNE-EN ISO 10551:2019.

Evaluar los niveles de riesgo y comparar los resultados con el nivel aceptable de acuerdo con el marco conceptual de la evaluación de riesgo de estrés térmico por calor.

Realizar en análisis de brechas y establecer las recomendaciones según los niveles de riesgo evaluados.

Capítulo V: Análisis y discusión de resultados

Este capítulo aporta un análisis exhaustivo y una discusión detallada de los resultados obtenidos en la evaluación de riesgo de estrés térmico bajo la metodología del índice TGBH, asimismo, brinda información sobre los resultados de la percepción subjetiva del ambiente térmico de los trabajadores para las actividades de la planta de fundición de una mina de oro.

5.1 Proceso de obtención de datos

5.1.1 Recolección de información

El método utilizado para evaluación de estrés térmico fue la ISO 7243:2017 – ergonomía del ambiente térmico estimación del estrés térmico basado en el índice TGBH (Temperatura de globo y de bulbo húmedo) y la Guía N°2, Medición de Estrés Térmico del Decreto Supremo No. 024-2016-EM Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería.

Se mencionan los criterios de medición a continuación.

Antes de instalar el equipo y realizar las mediciones, el sensor de la temperatura del bulbo húmedo debe humedecerse, revisando que el algodón tenga contacto con el agua destilada y se espera hasta que el sensor de globo se estabilice.

El medidor de estrés térmico se verifica antes y después de cada serie de mediciones, de acuerdo con los criterios establecidos por el fabricante.

El equipo se ubicará a distintas alturas (cabeza, abdomen y tobillos). En caso de que la temperatura sea homogénea, se puede adoptar un

procedimiento simplificado que consiste en realizar una medición TGBH a nivel de abdomen.

Asimismo, debe ubicarse lo más cerca posible al puesto de trabajo y donde no interfiera con el desarrollo normal de las actividades.


Para las mediciones de velocidad del aire se emplea el Termo -

Anemómetro, el cual se ubica al costado del medidor de estrés térmico, direccionando hacia la dirección del viento.

5.1.2 Instrumentos y herramientas

Para la evaluación de riesgo de estrés térmico se utilizó un medidor de estrés térmico, el cual en la tabla 10 se presenta la marca, modelo y número de serie respectivo.

Tabla 10. Instrumento utilizado para la medición.

Equipos de medición	
Nombre de equipo	Medidor de Estrés Térmico
Cantidad	1
Marca	INLITE
Modelo	ITEMP
N° de serie	20090104904A
Imagen	

Nota. La tabla muestra la característica del equipo de medición de estrés térmico empleado para el presente estudio. Elaboración propia.

5.1.3 Caracterización del Nivel de Exposición

La determinación del nivel de exposición a estrés térmico por calor se dará tomando en cuenta los criterios establecidos en el Decreto Supremo No. 024-2016-EM y del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT), del cual se obtiene la siguiente tabla.

Tabla 11. Clasificación de niveles de exposición.

Nivel de exposición	Interpretación
Bajo	Índice de TGBH menor o igual al límite de acción (AL).
Medio	Índice de TGBH mayor al límite de acción y menor al Límite Máximo Permisible (TLV).
Alto	Índice de TGBH mayor al Límite Máximo Permisible (TLV).

Nota. La tabla muestra las definiciones de los niveles de riesgo considerando los TLV y AL de referencia. Adaptado de la guía "No. 2 del D.S. 024-2016-EM".

El límite de acción hace referencia al valor máximo que debe alcanzar el índice TGBH de un ambiente caluroso. Sin embargo, esta no es una curva definida entre las condiciones seguras o inseguras, por lo que es necesario utilizarlo siempre con el nivel de acción.

En cuanto al nivel de acción umbral este se interpreta como el valor de temperatura TGBH por encima del cual se deben tomar medidas preventivas y correctivas a fin de controlar la exposición de calor en el ambiente laboral. Estas incluyen implementar medidas de vigilancia médica que garanticen la no presencia de signos y síntomas frente al estrés térmico.

5.1.4 Determinación del Valor Límite Umbral

El índice TGBH calculado expresa características ambientales del lugar de trabajo, el cual debe ser comparado con el valor límite que depende del calor metabólico que el trabajador genera de acuerdo con el tipo y durante el trabajo (M).

Para nuestro caso de estudio, utilizaremos la siguiente tabla para estimar el calor metabólico asociado a las actividades de fundición.

Tabla 12. Tipos de trabajo clasificados según con el gasto energético.

Estimación de calor metabólicos por posición y movimiento del cuerpo y tipo de trabajo			
A. Posición y movimiento del cuerpo			
			Kcal/min
	Sentado		0.3
	De pie		0.6
	Caminando		2.0 – 3.0
	Subida en una pendiente caminando		Adicionar 0.8 por metro de subida.
B. Tipo de trabajo			
Parte del cuerpo	Intensidad	Media (kcal/min)	Rango (kcal/min)
Trabajo manual	Ligero	0.4	0.2 - 1.2

	Pesado	0.9	
Trabajo con (1)	Ligero	1.0	0.7 – 2.5
un brazo	Pesado	1.8	
Trabajo con (2)	Ligero	1.5	1.0 - 3.5
dos brazos	Pesado	2.5	
	Ligero	3.5	
Trabajo con el	Moderado	5.0	2.5 - 15.0
cuerpo	Pesado	7.0	
	Muy Pesado	9.0	

C. Gasto metabólico basal

1 kcal/min

Nota. La tabla muestra los valores de gastos metabólicos, integrando la posición y movimiento del cuerpo, el tipo de actividad física y el gasto metabólico basal. Adaptado de la guía "No. 2 del D.S. 024-2016-EM".

Estos datos son aplicables para una persona con un peso de 70kg, en caso se evalúe a un colaborador con diferente peso, se debe considerar el factor de corrección el cual se muestra a continuación.

Fórmula 11. Cálculo para determinar el factor de corrección del M.

$$F = \frac{W}{70kg}$$

En donde:

F: Factor de corrección (adimensional)

W: Peso del trabajador (en kg).

Para la aplicación del valor límite umbral se debe calcular el gasto metabólico total de la actividad realizada y ubicarlo dentro de una de las siguientes clasificaciones:

Tabla 13. Tipos de trabajo clasificados según con el gasto energético.

Nivel	Carga de Trabajo	Gasto metabólico
1	Actividades realizadas en estado de reposo o con esfuerzo mínimo.	Menor o igual a 100 kcal/h
2	<p>Ligero: Labores manuales suaves como escribir, mecanografiar o coser; actividades que requieren el uso de manos y brazos (manejo de herramientas pequeñas, inspección o montaje de materiales ligeros); y tareas que involucren brazos y piernas, como conducir en condiciones normales o accionar pedales.</p> <p>De pie: Operar una prensa taladradora o fresadora con piezas pequeñas, devanado de pequeños inducidos, trabajos de fabricación utilizando herramientas eléctricas pequeñas; paseos tranquilos a un ritmo de hasta 3 km/h.</p> <p>Moderado: Con manos y brazos: Tareas como clavar o archivar. Con brazos y piernas: Operación de furgonetas, tractores o maquinaria de construcción en terrenos irregulares. Con brazos y tronco: Uso de martillos neumáticos, ensamblaje de tractores, aplicar emplaste, manipulación ocasional de materiales moderadamente pesados, desherbar, cavar o recolectar frutas y verduras. También incluye empujar o tirar de carros o carretillas ligeras y caminar entre 3 y 5 km/h.</p>	101 - 200 Kcal/h
3		201 - 300 kcal/h

4	<p>Pesado: Actividades intensas que involucran el tronco y los brazos, como mover materiales pesados, palear, martillar, serrar, cincelar madera, cortar césped manualmente, cavar, caminar a 6 km/h, empujar o tirar de carros cargados, o colocar cemento.</p>	301 - 400 kcal/h
5	<p>Muy pesado: Esfuerzo extremo realizado a un ritmo rápido, incluyendo actividades como cortar con hacha, cavar o palear intensamente, subir escaleras de mano, practicar aeróbicos, correr, caminar a más de 6 km/h, o levantar más de 20 kg repetidamente (10 veces por minuto).</p>	Mayor o igual de 401 kcal/h

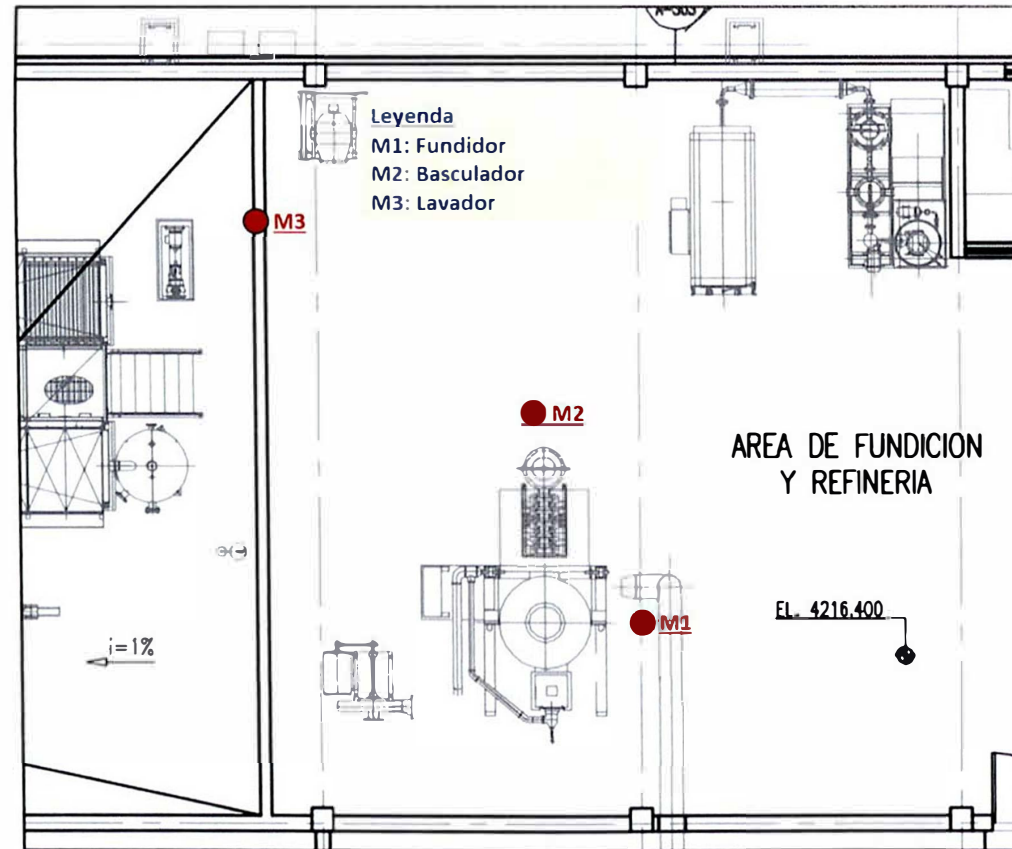
Nota. La tabla muestra gasto metabólico con algunos ejemplos de carga de trabajo en kilocalorías por hora. Adaptado de la NTP 1011. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene.

Posterior a ello, se determina la ubicación del trabajo dentro del ciclo trabajo-descanso en un tiempo de una hora y con ello se halla el valor límite umbral y el límite de acción según lo mostrado en la Figura 2. "TLV para personal aclimatado y no aclimatado".

5.1.6 Ubicación de los Puntos de Medición

Los puntos de muestreo se tomarán dentro de las instalaciones de la planta de fundición para las actividades relacionadas a la obtención de barras doré. Para ello, se realizarán mediciones a una distancia aproximada de 1.0 metro del personal fundidor, basculador y en el lavador de barras.

Figura 5. Plano de ubicación de puntos de medición.



Nota. La figura muestra el plano de ubicación de los puntos para evaluación del TGBH en la planta de fundición. Elaboración propia.

5.1.8 Evaluación Subjetiva de Percepción del Estado Térmico

Se elaborará un cuestionario en base los criterios definidos en la norma internacional UNE-EN ISO 10551:2019 - Ergonomía del ambiente físico.

Evaluación de la influencia del ambiente físico empleando escalas de juicio subjetivo. El cual está conformado por una evaluación de 5 escalas, los 3 primeros están orientados a una evaluación del estado térmico del trabajador y los otros 2 en la percepción con respecto al ambiente térmico donde se ejecuta la actividad.

Escala perceptiva

Es una escala simétrica bipolar de 7 grados que podría ampliarse a 9 grados (dependiendo de la intensidad del ambiente), el cual parte de un punto central de indiferencia y dos partes con grados de intensidad creciente.

Tabla 14. *Tabla de la escala perceptiva.*

	Grados	Punto	Grados	
Polo A	(-4), -3, -2, -1	0	+1, +2, +3, (+4)	Polo B
	De intensidad	De indiferencia	De intensidad	

Nota. Esta tabla muestra los rangos establecidos para la prueba subjetiva en el campo de la escala perceptiva. Adaptado de la norma internacional UNE-EN ISO 10551:2019 - Ergonomía del ambiente físico.

Escala Afectiva

Es una escala unipolar de 4 grados que podría ampliarse a 5 grados (dependiendo de la intensidad del ambiente), el cual parte de un punto de origen que indica ausencia de afecto y 3 (o 4) grados de intensidad creciente de afecto.

Tabla 15. *Tabla de la escala afectiva.*

Punto	Grados	
0	1, 2, 3, (4)	Polo único
De origen	De intensidad	

Nota. Esta tabla muestra los rangos establecidos para la prueba subjetiva en el campo de la escala afectiva. Adaptado de la norma internacional UNE-EN ISO 10551:2019 - Ergonomía del ambiente físico.

Preferencia térmica

Es una escala simétrica bipolar de 7 grados comprende un punto de origen de indecisión y dos partes cada una con 3 grados de intensidad creciente.

Tabla 16. Tabla de la escala de preferencia térmica.

	Grados	Punto	Grados	
Polo A	-3, -2, -1	0	+1, +2, +3	Polo B
	De intensidad	De indiferencia	De intensidad	

Nota. Esta tabla muestra los rangos establecidos para la prueba subjetiva en el campo de la escala de preferencia térmica. Adaptado de la norma internacional UNE-EN ISO 10551:2019 - Ergonomía del ambiente físico.

Aceptabilidad personal

Es una escala de estructura binaria del siguiente tipo

Tabla 17. Tabla de la escala de aceptabilidad personal.

Aceptación personal	Rechazo personal
(Generalmente Aceptable)	(Generalmente Inaceptable)

Nota. Esta tabla muestra los rangos establecidos para la prueba subjetiva en el campo de aceptabilidad personal. Adaptado de la norma internacional UNE-EN ISO 10551:2019 - Ergonomía del ambiente físico.

Tolerancia personal

Es una escala unipolar de 5 grados con un solo polo que expresa la dificultad para tolerar el ambiente térmico, con un punto de origen que indica la ausencia de dificultad para tolerar y 4 grados para tolerar.

Tabla 18. Tabla de la escala de tolerancia personal.

Punto	Grados	
0	1, 2, 3, 4	Polo único
De origen	De intensidad	

Nota. Esta tabla muestra los rangos establecidos para la prueba subjetiva en el campo de la escala de tolerancia personal. Adaptado de la norma internacional UNE-EN ISO 10551:2019 - Ergonomía del ambiente físico.

En la siguiente figura se puede visualizar las diferentes escalas de juicio que se van a recoger para evaluar la percepción del estrés o confort térmico basado en datos de juicio subjetivos.

Figura 6. Resumen de evaluación subjetiva de estrés térmico.

	1	2	3	4	5
Tipos de juicios	Perceptivo	Evaluación afectiva	Preferencia térmica	Aceptabilidad personal	Tolerancia personal
Objeto de los juicios	Estado térmico personal			Ambiente térmico	
Formulación	“¿Qué siente usted en este preciso momento?” 7 ó 9 grados, desde MUCHO (o excesivo) FRÍO a MUCHO (o excesivo) CALOR	“Se encuentra usted ...” 4 ó 5 grados, desde CÓMODO a MUY (o extremadamente) INCÓMODO	“En este momento preferiría tener ...” 7 (ó 3) grados, de (mucho) MÁS FRÍO a (mucho) MÁS CALOR	“Teniendo en cuenta únicamente sus preferencias personales ¿Cómo consideraría usted este ambiente (entorno próximo)?” 2 categorías: GENERAL- MENTE ACEPTABLE. GENERAL- MENTE INACEPTABLE	“En su opinión, este ambiente es ...” 5 grados, de perfectamente TOLERABLE a INTOLERABLE

Nota. La figura muestra el resumen de los rangos de posibles resultados para la evaluación de la influencia del ambiente físico empleando escalas de juicio subjetivo. Recuperado de la norma internacional UNE-EN ISO 10551:2019 - Ergonomía del ambiente físico.

En el anexo 1 se muestra el formato de la ficha para la evaluación de escalas de percepción del estado térmico y del ambiente térmico en la planta de fundición.

5.1.8 Validación de los datos

Se validaron los datos recopilados revisando los registros y confirmando la coherencia para garantizar la precisión de los resultados obtenidos.

5.2 Resultados del método de índice TGBH

Para el cálculo del nivel de exposición de calor según la metodología TGBH se realizó las mediciones dentro de la planta de Fundición. En las mediciones iniciales para determinar la homogeneidad o heterogeneidad del ambiente térmico, se obtuvieron los siguientes resultados en el punto más crítico, en el punto de medición más próximo al horno pillar (horno de fundición).

Tabla 19. Resultados de homogeneidad del ambiente térmico más crítico de la Plata de Fundición.

Altura de referencia	Distancia para trabajos de pie (m)	Temperatura TA (°C)
Cabeza	1.7	16.9
Abdomen	1.1	17.1
Tobillos	0.1	17.1

Nota. En la tabla se muestran los resultados de las medidas que se tomaron para determinar la homogeneidad del ambiente térmico de trabajo. Elaboración propia.

Considerando estos resultados, se determina que el ambiente térmico es prácticamente homogéneo debido a que presenta un grado de heterogeneidad de 1.18%. Lo cual permite realizar el procedimiento simplificado, para la determinación del índice TGBH tomando en cuenta únicamente las mediciones realizadas a la altura del abdomen.

Los resultados del TGBH para las 3 actividades determinadas a evaluar se muestran a continuación, cabe indicar que el desarrollo de las tareas se

realizó dentro de la Planta de Fundición, la cual se encuentra techada, sin exposición directa a la radiación solar. Asimismo, como parte de la vestimenta propia para el desarrollo de las actividades de fundición, se considera el uso de ropa de trabajo con tela tratada y con capucha que cubre la cabeza y cuello, en donde el factor de ajuste por vestimenta corresponde a +1 °C según lo mostrado en la tabla 6.

Tabla 20. Índice TGBH para puesto de trabajo Fundidor.

Cálculo de índice TGBH – Fundidor	
Temperatura de Bulbo Seco	17.7 °C
Temperatura de Bulbo Húmedo:	8.2 °C
Temperatura de Globo	19.9 °C
Índice TGBH	11.71 °C
Factor de ajuste por vestimenta	+1 °C
Índice TGBH efectivo	12.71 °C

Nota. La tabla presenta el resumen de los resultados obtenidos para calcular el índice TGBH para el puesto de trabajo de fundidor. Elaboración propia.

Tabla 21. Índice TGBH para puesto de trabajo Basculador.

Cálculo de índice TGBH – Basculador	
Temperatura de Bulbo Seco	17.0 °C
Temperatura de Bulbo Húmedo:	7.8 °C
Temperatura de Globo	18.4 °C
Índice TGBH	10.98 °C
Factor de ajuste por vestimenta	+1 °C
Índice TGBH efectivo	11.98 °C

Nota. La tabla presenta el resumen de los resultados obtenidos para calcular el índice TGBH para el puesto de trabajo de basculador. Elaboración propia.

Tabla 22. Índice TGBH para puesto de trabajo Lavador de lingotes.

Cálculo de índice TGBH – Lavador de lingotes	
--	--

Temperatura de Bulbo Seco	17.3 °C
Temperatura de Bulbo Húmedo:	7.3 °C
Temperatura de Globo	17.8 °C
Índice TGBH	10.45 °C
Factor de ajuste por vestimenta	+1 °C
Índice TGBH efectivo	11.45 °C

Nota. La tabla presenta el resumen de los resultados obtenidos para calcular el índice TGBH para el puesto de trabajo de lavador de lingotes. Elaboración propia.

Posterior al cálculo del índice TGBH para cada puesto de trabajo analizado, se realiza la estimación de la tasa metabólica considerando la posición y movimiento del cuerpo, así como también, el tipo de trabajo y considerando la corrección del gasto metabólico basal realizado según el peso del colaborador.

Tabla 23. Estimación de la tasa metabólica para el puesto de trabajo fundidor.

Metabolismo Basal (kcal/min)	Peso del Trabajador (Kg)	Tasa Metabólica (kcal/min)	Tasa Metabólica (kcal/h)	Tasa Metabólica (W)	Tasa Metabólica (W/m ²)
0.89	62.00	2.94	176.21	204.40	112.77

Nota. La tabla presenta la estimación de la tasa metabólica para calcular el índice TGBH para el puesto de trabajo de fundidor. Elaboración propia.

Tabla 24. Estimación de la tasa metabólica para el puesto de trabajo basculador.

Metabolismo Basal (kcal/min)	Peso del Trabajador (Kg)	Tasa Metabólica (kcal/min)	Tasa Metabólica (kcal/h)	Tasa Metabólica (W)	Tasa Metabólica (W/m ²)
1.21	85.00	4.79	287.27	333.23	183.85

Nota. La tabla presenta la estimación de la tasa metabólica para calcular el índice TGBH para el puesto de trabajo de basculador. Elaboración propia.

Tabla 25. Estimación de la tasa metabólica para el puesto de trabajo lavador de lingotes.

Metabolismo Basal (kcal/min)	Peso del Trabajador (Kg)	Tasa Metabólica (kcal/min)	Tasa Metabólica (kcal/h)	Tasa Metabólica (W)	Tasa Metabólica (W/m ²)
1.03	72.00	4.67	280.36	325.22	179.43

Nota. La tabla presenta la estimación de la tasa metabólica para calcular el índice TGBH para el puesto de trabajo de lavador de lingotes. Elaboración propia.

Finalmente, para el hallar el Límite Máximo Permisible (TLV) y el Límite de Acción (AL), se utiliza las fórmulas 9 y 10 respectivamente para cada puesto de trabajo. Cabe recordar que el TLV lo utilizamos para personal aclimatada y el AL para personal no aclimatada.

Tabla 26. Cálculo de TLV y Límite de acción para los puestos de trabajo en la Planta de Fundición.

Puesto de trabajo	Tasa Metabólica (W)	TLV (°C)	Límite de Acción (°C)
Fundidor	204.40	30.1	27.4
Basculador	333.23	27.7	24.4
Lavador de lingotes	325.22	27.8	24.6

Nota. La tabla muestra los valores del TLV y LA calculados para los tres puestos de trabajos del estudio. Elaboración propia.

5.3 Resultados del método de percepción subjetiva de ambientes térmicos

Para el presente análisis se recopiló la información, obtenida de las fichas de evaluación subjetivas ver anexo 2 denominada evaluación de la percepción del estado térmico y del ambiente térmico en la planta de fundición. Para ello, se presenta las 10 evaluaciones muestrales que se realizaron para un grupo de exposición similar de 15 personas.

Tabla 27. Población muestral para la evaluación de percepción del estado térmico y del ambiente de trabajo.

Colaborador	Edad	IMC	Clasificación del IMC	Puesto de trabajo	Actividad
JMC	44	27.68	Sobrepeso	Operador Multifuncional	Lavador de barras
JMZ	33	30.86	Obesidad I	Técnico Operador	Fundidor
AAO	35	28.70	Sobrepeso	Operador Multifuncional	Lavador de barras
RIA	44	25.00	Sobrepeso	Operador Multifuncional	Lavador de barras
ATT	35	25.60	Sobrepeso	Operador Multifuncional	Basculador
EBV	48	29.80	Sobrepeso	Operador Multifuncional	Lavador de barras
VCA	39	24.50	Normal	Técnico Operador	Fundidor
EVT	33	25.28	Sobrepeso	Operador Multifuncional	Basculador
OBP	38	21.80	Normal	Técnico Operador	Fundidor
SVE	52	30.11	Obesidad I	Operador Multifuncional	Basculador

Nota. La tabla muestra el resumen de la población muestral para las evaluaciones subjetivas de confort térmico del presente estudio. Elaboración propia.

Luego de ello se presentan los resultados primarios recolectados según los siguientes criterios; escala de perceptiva, escala afectiva, preferencia térmica, aceptabilidad y tolerancia personales.

Tabla 28. Resultados primarios de la evaluación de la escala perceptiva de los colaboradores de la planta de fundición.

Colaborador	Edad	IMC	Clasificación del IMC	Escala perceptiva
JMC	44	27.68	Sobrepeso	5. Algo de calor

JMZ	33	30.86	Obesidad I	6. Calor
AAO	35	28.70	Sobrepeso	4. Ni frío ni calor
RIA	44	25.00	Sobrepeso	4. Ni frío ni calor
ATT	35	25.60	Sobrepeso	5. Algo de calor
EBV	48	29.80	Sobrepeso	4. Ni frío ni calor
VCA	39	24.50	Normal	5. Algo de calor
EVT	33	25.28	Sobrepeso	6. Calor
OBP	38	21.80	Normal	6. Calor
SVE	52	30.11	Obesidad I	6. Calor

Nota. La tabla muestra el resumen de la población muestral con sus respectivos valores de índice de masa corporal, la clasificación y el resultado de la escala perceptiva. Elaboración propia.

Tabla 29. Resultados primarios de la evaluación de la escala afectiva de los colaboradores de la planta de fundición.

Colaborador	Edad	IMC	Clasificación del IMC	Escala Afectiva
JMC	44	27.68	Sobrepeso	2. Algo incómodo
JMZ	33	30.86	Obesidad I	2. Algo incómodo
AAO	35	28.70	Sobrepeso	1. Cómodo
RIA	44	25.00	Sobrepeso	2. Algo incómodo
ATT	35	25.60	Sobrepeso	2. Algo incómodo
EBV	48	29.80	Sobrepeso	1. Cómodo
VCA	39	24.50	Normal	1. Cómodo
EVT	33	25.28	Sobrepeso	1. Cómodo
OBP	38	21.80	Normal	2. Algo incómodo
SVE	52	30.11	Obesidad I	2. Algo incómodo

Nota. La tabla muestra el resumen de la población muestral con sus respectivos valores de índice de masa corporal, la clasificación y el resultado de la escala afectiva. Elaboración propia.

Tabla 30. Resultados primarios de la evaluación de preferencia térmica de los colaboradores de la planta de fundición.

Colaborador	Edad	IMC	Clasificación del IMC	Preferencia térmica
JMC	44	27.68	Sobrepeso	4. Ni más frío ni más calor
JMZ	33	30.86	Obesidad I	4. Ni más frío ni más calor
AAO	35	28.70	Sobrepeso	4. Ni más frío ni más calor
RIA	44	25.00	Sobrepeso	4. Ni más frío ni más calor
ATT	35	25.60	Sobrepeso	4. Ni más frío ni más calor
EBV	48	29.80	Sobrepeso	4. Ni más frío ni más calor
VCA	39	24.50	Normal	3. Un poco más de frío
EVT	33	25.28	Sobrepeso	4. Ni más frío ni más calor
OBP	38	21.80	Normal	4. Ni más frío ni más calor
SVE	52	30.11	Obesidad I	4. Ni más frío ni más calor

Nota. La tabla muestra el resumen de la población muestral con sus respectivos valores de índice de masa corporal, la clasificación y el resultado de la preferencia térmica.
Elaborado por el autor

Tabla 31. Resultados primarios de la evaluación de aceptabilidad personal de los colaboradores de la planta de fundición.

Colaborador	Edad	IMC	Clasificación del IMC	Aceptabilidad personal
JMC	44	27.68	Sobrepeso	2. Inaceptable
JMZ	33	30.86	Obesidad I	2. Inaceptable
AAO	35	28.70	Sobrepeso	1. Aceptable
RIA	44	25.00	Sobrepeso	1. Aceptable
ATT	35	25.60	Sobrepeso	1. Aceptable
EBV	48	29.80	Sobrepeso	1. Aceptable
VCA	39	24.50	Normal	1. Aceptable
EVT	33	25.28	Sobrepeso	1. Aceptable
OBP	38	21.80	Normal	2. Inaceptable
SVE	52	30.11	Obesidad I	2. Inaceptable

Nota. La tabla muestra el resumen de la población muestral con sus respectivos valores de índice de masa corporal, la clasificación y el resultado de la aceptabilidad personal.
Elaborado por el autor

Tabla 32. Resultados primarios de la evaluación de tolerancia personal de los colaboradores de la planta de fundición.

Colaborador	Edad	IMC	Clasificación del IMC	Tolerancia personal
JMC	44	27.68	Sobrepeso	3. Bastante difícil de soportar
JMZ	33	30.86	Obesidad I	2. Un poco difícil de soportar
AAO	35	28.70	Sobrepeso	1. Perfectamente soportable
RIA	44	25.00	Sobrepeso	1. Perfectamente soportable
ATT	35	25.60	Sobrepeso	2. Un poco difícil de soportar
EBV	48	29.80	Sobrepeso	1. Perfectamente soportable
VCA	39	24.50	Normal	1. Perfectamente soportable
EVT	33	25.28	Sobrepeso	1. Perfectamente soportable
OBP	38	21.80	Normal	2. Un poco difícil de soportar
SVE	52	30.11	Obesidad I	2. Un poco difícil de soportar

Nota. La tabla muestra el resumen de la población muestral con sus respectivos valores de índice de masa corporal, la clasificación y el resultado de la tolerancia personal. Elaboración propia.

5.3 Resultados a los objetivos planteados

A continuación, se presenta el cuadro resumen de los resultados de evaluación de nivel de riesgo de exposición a calor bajo la metodología TGBH para cada posición en materia de estudio

Tabla 33. Resumen de los resultados obtenidos para la evaluación de riesgos de exposición a calor en la Planta de Fundición.

Código	Puesto de trabajo	Descripción de actividades	Jornada Laboral	Índice TGBH efectivo (°C)	Tasa Metabólica (W)	TLV TGBH Aclimatado (°C)	TLV TGBH No Aclimatado (°C)	Nivel de Exposición
ETC-01	Fundidor	Fundición y operación del horno, limpieza y carga de cemento electrolítico.	8 horas	12.71	204.4	30.1	27.3	Bajo
ETC-02	Basculador	Apoyo en la carga de cemento electrolítico, colado de metal fundido y desmoldaje de lingotes.	8 horas	11.98	333.2	27.7	24.3	Bajo
ETC-03	Lavador de lingotes	Lavado de lingotes con uso de esmeril y escobilla, asimismo, traslado de lingotes.	8 horas	11.45	325.2	27.8	24.5	Bajo

Nota. La tabla muestra el resumen de los resultados del índice TGBH efectivo, comparado con el TLV y AL para determinación de los niveles de riesgo. Elaboración propia.

De cuadro mostrado anteriormente, se puede observar que, para los 3 casos de análisis de estudio, el TGBH efectivo de las actividades en evaluación son menor al TGBH no aclimatado. Estando incluso por debajo del 50% del Límite de Acción establecido, en ese sentido podemos afirmar que no existe riesgo ocupacional para las actividades desarrolladas en el proceso de Fundición.

Asimismo, se puede evidenciar que, de acuerdo con los datos obtenidos, la actividad realizada por el técnico fundidor en el horno pillar son las que presentan mayor exposición a estrés térmico, principalmente por el entorno y las condiciones de cercanía al punto generador de calor, aun teniendo en cuenta que la carga de esfuerzo físico por los trabajos realizados en la menor en comparación con las actividades del Basculador y Lavador de lingotes.

Por otro lado, se evaluó si se existía alguna relación estadística significativa entre las variables $IMC \geq 25 \text{ kg/cm}^2$, el cual clasifica a los trabajadores en un grado superior o igual a sobrepeso y el confort térmico percibido, el cual está definido como el estar "cómodo" o "incómodo" según los siguientes criterios de escalabilidad, una calificación de 1 significa comodidad mientras que, clasificaciones desde el 2 al 5 reflejan confort de incomodidad.

Este análisis examina la relación entre el Índice de Masa Corporal (IMC) y la percepción de confort térmico en un grupo de trabajadores, utilizando datos categorizados según su IMC (mayor o igual a 25, y menor a 25) y su nivel de confort térmico (cómodo o incómodo). La prueba estadística utilizada para evaluar esta relación es el Chi-cuadrado de independencia. Se tomó la muestra de los trabajadores obteniendo las siguientes frecuencias.

Tabla 34. Tabla de frecuencia observadas según las evaluaciones de percepción.

Rango de IMC	Cómodo (verdadero)	Incómodo (falso)	Total por filas
IMC < 25	1	1	2
IMC >= 25	3	5	8
Total por columnas	4	6	10

Nota. La tabla muestra la frecuencia de datos observados del personal que presenta confort y discomfort térmico agrupados en colaboradores con IMC menor a 25 y colaboradores con IMC mayor o igual 25. Elaboración propia.

Las frecuencias esperadas bajo la hipótesis de independencia, calculadas con base a los datos obtenidos son los siguientes, considerando la siguiente fórmula.

Fórmula 12. Cálculo para determinar la frecuencia esperada.

$$E_{ij} = \frac{R_i * C_j}{N}$$

En donde:

E_{ij} : frecuencia esperada para la celda en la fila i y columna j.

R_i : total de la fila i.

C_j : total de la fila j.

N : total general de la muestra.

Las frecuencias esperadas bajo la hipótesis de independencia, calculadas con base a los datos obtenidos son los siguientes, considerando la siguiente fórmula.

Tabla 35. Tabla de frecuencia esperadas según las evaluaciones de percepción.

Rango de IMC	Cómodo (verdadero)	Incómodo (falso)
IMC < 25	0.8	1.2
IMC >= 25	3.2	4.8

Nota. La tabla muestra la frecuencia de datos esperados del personal que presenta confort y discomfort térmico agrupados en colaboradores con IMC menor a 25 y colaboradores con IMC mayor o igual 25. Elaboración propia.

La prueba de Chi-cuadrado evalúa si existe una relación significativa entre dos variables categóricas comparando las frecuencias observadas con las frecuencias esperadas bajo la hipótesis de independencia. El cálculo se realiza mediante la siguiente fórmula:

Fórmula 13. Cálculo para el estadístico chi cuadrado.

$$\chi^2 = \sum \frac{(O_{ij} - E_{ij})^2}{E_{ij}}$$

En donde:

χ^2 : Estadístico chi cuadrado.

O_{ij} : frecuencia observada de la celda ij.

E_{ij} : frecuencia esperada de la celda ij.

Desarrollando todos los componentes se obtiene el siguiente estadístico chi cuadrado.

$$\chi^2 = 0.0333 + 0.0500 + 0.0083 + 0.0125 = 0.1041$$

Por otro lado, el grado de libertad (df) para la prueba chi cuadrado se calcula para este caso según la siguiente fórmula.

Fórmula 14. Cálculo para determinación de los grados de libertad.

$$df = (\text{número de filas} - 1) * (\text{número de columnas} - 1)$$

Para el presente caso, resulta un grado de libertad igual a 1.

El valor p se obtiene comparando el estadístico chi cuadrado ($\chi^2=0.1041$) con la distribución Chi-cuadrado para 1 grado de libertad. El cálculo exacto del valor p se efectuó haciendo uso de tabla estadísticas, para el presente caso, el valor p es aproximadamente a 1. Finalmente se tiene que el chi cuadrado representa un valor muy bajo, el cual indica que las diferencias entre las frecuencias observadas y esperadas son mínimas. Por otro lado, un valor de p cercano a 1 implica que no hay evidencia estadísticamente significativa para afirmar que el IMC esté relacionado con el confort térmico.

Conclusiones

Para los 3 puestos de trabajo evaluados en el presente estudio se ha determinado que el índice TGBH se encuentran por debajo del nivel de acción, por lo que representa un nivel de riesgo bajo para estrés térmico por calor de acuerdo con lo establecido en el Decreto Supremo No. 024-2016-EM Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería. Confirmando que las condiciones térmicas durante el levantamiento de información no representan un riesgo significativo para la salud de los colaboradores.

Las actividades que desarrolla el técnico de planta para los trabajos como fundidor en el horno pillar presenta el mayor índice de exposición a estrés térmico por calor. Este resultado corresponde principalmente a la distancia cercana que se requiere hacia el punto origen de calor y al entorno de trabajo que realiza, aún presentando una carga metabólica menor en comparación a los puestos que realizan los trabajos de basculado y lavado de lingotes.

Los resultados obtenidos en el estudio presentan índices TGBH efectivos por debajo de los niveles de acción establecido, con lo cual podemos considerar que la ropa de trabajo para fundición que se utilizó no genera riesgo higiénico significativo por exposición al calor.

A pesar de que los índices TGBH que fueron evaluados durante el estudio reflejaron niveles de riesgo bajo, los resultados a la evaluación subjetiva revelan que un grupo mayoritario de trabajadores percibe un cierto grado de incomodidad térmica durante el desarrollo de sus actividades en la planta de fundición. Esta

percepción puede estar influenciada por los factores individuales que podrían ser evaluados con mayor amplitud en otro estudio.

Mediante el análisis estadístico de la prueba Chi-cuadrado se determina que no existe relación significativa entre el índice de masa corporal (IMC) y la percepción del confort térmico de los colaboradores. Esto implica que aun cuando el IMC puede influir en otros aspectos del rendimiento laboral, este no es un factor determinante para indicar la percepción subjetiva sobre el confort térmico que se generan en la planta de fundición.

Recomendaciones

Continuar con los mantenimientos de los sistemas de ventilación industrial utilizadas estratégicamente en la zona del horno pillar, el cual ayuda con el control de temperatura ambiental y mejora el confort térmico de los colaboradores en la planta de fundición.

Asegurar el programa de pausas estructuradas durante el desarrollo de actividades de fundición, donde los colaboradores puedan acceder a áreas acondicionadas con temperaturas controladas y realicen la correcta hidratación para mitigar el riesgo de estrés térmico y promover la recuperación efectiva de las exigencias físicas.

Revisar oportunidades de mejora en el uso de nuevas tecnologías en las ropas de trabajo, evaluando materiales más ligeros, con propiedades de resistencia al calor y diseños que permitan la ventilación y flexibilidad, sin que estas comprometan las condiciones de seguridad requeridos.

Implementar programas formativos sobre los riesgos de estrés térmico por calor, resaltando la identificación temprana ante síntomas o efectos que produce el golpe por calor, así como también incluir en las capacitaciones los temas de la adecuada hidratación y mejoras prácticas para minimizar el impacto que genera el calor en el desempeño de trabajo.

Mantener las mediciones continuas del índice TGBH y las encuestas de percepción subjetiva para monitorear el confort térmico, así como también para evaluar las condiciones objetivas. Con estos datos permitirán ajustar las medidas

preventivas de manera dinámica, garantizando un ambiente de trabajo más seguro y saludable.

Referencias bibliográficas

- American Conference of Governmental Industrial Hygienists. (2024). Threshold limit values (TLVs) and biological exposure indices (BEIs): 2024 edition. ACGIH.
- Armendáriz, P. (2013). Calor y trabajo: Prevención de riesgos laborales debido al estrés térmico por calor. Centro Nacional de Nuevas Tecnologías, Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.
- Asociación Española de Normalización. (2005). UNE-EN ISO 7933:2005: Ergonomía del ambiente térmico. Determinación analítica e interpretación del estrés térmico mediante el cálculo de la sobrecarga térmica estimada (ISO 7933:2004). AENOR.
- Asociación Española de Normalización. (2005). UNE-EN ISO 8996:2005: Ergonomía del ambiente térmico. Determinación de la tasa metabólica (ISO 8996:2004). AENOR.
- Asociación Española de Normalización. (2019). UNE-EN ISO 10551:2019: Ergonomía del ambiente físico. Evaluación de la influencia del ambiente físico empleando escalas de juicio subjetivo. UNE.
- Centers for Disease Control and Prevention. (1996). Physiologic responses and long-term adaptations to exercise. En *Physical activity and health: A report of the Surgeon General* (pp. 61-77). U.S. Department of Health and Human Services.
- Çengel, Y & Ghajar, A. (2011). Transferencia de calor y masa: Fundamentos y aplicaciones (4ª ed.). McGraw-Hill Interamericana.
- Chica, G. (2016). Implementación de medidas en prevención y control del riesgo de estrés térmico en la planta de utilidades de la Refinería de Esmeraldas (Tesis de maestría, Escuela Politécnica Nacional). Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Química y Agroindustria.

- Congreso de la República del Perú. (1993). Constitución Política del Perú. Diario oficial "El Peruano".
- Congreso de la República del Perú. (1997). Ley General de Salud (Ley N.º 26842). Diario Oficial "El Peruano".
- Congreso de la República del Perú. (2011). Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo (Ley N.º 29783). Diario Oficial "El Peruano".
- Cortés, J. (2012). Seguridad e higiene en el trabajo: Técnicas de prevención de riesgos laborales (10ª ed.). Editorial Tébar Flores.
- Estocalenko, J. (2018). Estrés térmico por calor de los trabajadores en la cocina del comedor universitario de la Universidad Nacional de Ingeniería (Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Ingeniería). Facultad de Ingeniería Ambiental.
- Gobierno del Perú. (2012). Decreto Supremo N.º 005-2012-TR: Reglamento de la Ley N.º 29783, Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo. Diario Oficial "El Peruano".
- Gobierno del Perú. (2016). Decreto Supremo N.º 024-2016-EM: Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería. Diario Oficial "El Peruano".
- Gómez, J. & Ruiz, E. (2017). Control de estrés térmico en el área de producción, en una empresa del sector de plásticos (Proyecto de grado, Universidad Autónoma de Occidente). Universidad Autónoma de Occidente, Facultad de Ingenierías.
- Huamán, R. (2019). Evaluación de estrés térmico por calor mediante la medición del índice TGBH a operarios que realizan limpieza de fachadas en edificios empresariales utilizando la técnica de acceso por cuerdas (Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Ingeniería). Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Ambiental.
- Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo. (2014). NTP 1011: Determinación del metabolismo energético mediante tablas. INSST.

- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. (1983). NTP 74: Confort térmico. Método de Fanger para su evaluación. Ministerio de Trabajo y Seguridad Social.
- International Organization for Standardization. (2017). ISO 7243:2017: Ergonomics of the thermal environment — Assessment of heat stress using the WBGT (wet bulb globe temperature) index (3rd ed.). ISO.
- Instituto Riojano de Salud Laboral. (2010). Riesgo de estrés térmico por calor. Logroño: Instituto Riojano de Salud Laboral.
- Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud (ISTAS-CCOO). (2019). Guía sobre estrés térmico por exposición a calor. Valencia: ISTAS-CCOO.
- Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo del Perú. (2008). Resolución Ministerial N.º 375-2008-TR: Norma Básica de Ergonomía y de Procedimiento de Evaluación de Riesgo Disergonómico. Diario Oficial "El Peruano".
- National Institute for Occupational Safety and Health. (2016). Occupational exposure to heat and hot environments: Revised criteria. U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention.
- Organización Internacional del Trabajo. (1998). Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo: Capítulo 42. Calor y frío. OIT.
- Organización Mundial de la Salud. (2014). Documentos básicos (48ª ed.). OMS.
- Parsons, K. (2003). Human thermal environments: The effects of hot, moderate, and cold environments on human health, comfort and performance (2nd ed.). Taylor & Francis.
- Rivera, J. (2020). Riesgo de estrés térmico en trabajadores expuestos al calor en un proceso térmico (Tesis doctoral, Universidad Nacional Mayor de San Marcos). Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Industrial.

- Robalino, C. (2015). Estudio de las condiciones térmicas de trabajo de los operadores de calderas del Hospital Alfredo Noboa Montenegro de la ciudad de Guaranda y su incidencia en el estrés por calor (Tesis de grado, Universidad Técnica de Ambato). Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.
- Young, H. & Freedman, R. (2013). Física universitaria: Con física moderna, Vol. 1 (13ª ed., trad. A. E. Brito). Pearson Educación de México.

Anexos

- Anexo 1. Ficha de evaluación de escalas subjetivas de percepción de estado y ambiente térmicos de la planta..... 1
- Anexo 2. Cálculo de estimación de tasa metabólica para el puesto de fundidor.
..... ¡Error! Marcador no definido.
- Anexo 3. Cálculo de estimación de tasa metabólica para el puesto de basculador.
..... ¡Error! Marcador no definido.
- Anexo 4. Cálculo de estimación de tasa metabólica para el puesto de lavador de lingotes..... ¡Error! Marcador no definido.
- Anexo 5. Ficha de datos de resultados – Fundidor.... ¡Error! Marcador no definido.
- Anexo 6. Ficha de datos de resultados – Basculado . ¡Error! Marcador no definido.
- Anexo 7. Ficha de datos de resultados – Lavador de lingotes... ¡Error! Marcador no definido.
- Anexo 8. Certificado de calibración de equipo de medición..... ¡Error! Marcador no definido.
- Anexo 9. Especificaciones técnicas del equipo de medición. ¡Error! Marcador no definido.

Anexo 1. Ficha de evaluación de escalas subjetivas de percepción de estado y ambiente térmicos de la planta.

EVALUACIÓN DE ESCALAS DE PERCEPCIÓN DEL ESTADO TÉRMICO Y DEL AMBIENTE TÉRMICO EN LA PLANTA DE FUNDICIÓN

A continuación, se le presenta una encuesta donde se busca conocer desde su punto de vista personal como se siente respecto a su propio estado térmico y al ambiente térmico para los trabajos en el proceso de fundición. Al llenar los campos mostrados a continuación se acepta la participación en la evaluación, los cuales buscan recolectar información para fines académicos.

Nombre completos

Edad

Puesto de trabajo

Actividad desarrollada en fundición

Tiempo de experiencia en el puesto

Fecha de evaluación

Evaluator

Por favor marcar luego de cada pregunta la casilla que usted considera apropiada.

1. ¿Qué siente usted en este momento?

Tengo...

Mucho frío Frío Algo de frío Ni frío ni calor Algo de calor Calor Mucho calor

☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

2. Se encuentra usted...

Cómodo Algo incómodo Incómodo Muy incómodo Extremadamente incómodo

☐ ☐ ☐ ☐ ☐

3. En este momento preferiría tener:

Mucho más frío Más frío Un poco más de frío Ni más frío ni más calor Un poco más de calor Más calor Mucho más calor

☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

4. Teniendo en cuenta únicamente sus preferencias personales, ¿Cómo considera este ambiente de trabajo?

Aceptable ☐ Inaceptable ☐

5. En su opinión, este ambiente térmico en fundición es:

Perfectamente soportable Un poco difícil de soportar Bastante difícil de soportar Muy difícil de soportar Insoportable

☐ ☐ ☐ ☐ ☐

Firma del evaluado

Anexo 2. Cálculo de estimación de tasa metabólica para el puesto de fundidor.

N°	TAREAS	TIEMPO (min)	TAREAS (%)	ESTIMACIÓN TASA METABÓLICA						Sub Total (kcal/min)	Metabolismo Basal (kcal/min)	Peso del Trabajador (Kg)	Tasa Metabólica (kcal/min)	Tasa Metabólica (kcal/h)	Tasa Metabólica (W)	Tasa Metabólica (W/m²)
				Posición y movimiento del cuerpo		Tipo de trabajo		Valor (kcal/min)	Sub Total (kcal/min)							
				Posición y movimiento del cuerpo	Valor (kcal/min)	Parte del cuerpo	Intensidad									
1	Entrar al horno	1	2.0%	Andando (2.0 - 3.0 Kcal/min)	2.5	Trabajo Manual (0.2 - 1.2 Kcal/min)	Ligero (0.4 Kcal/min)	0.4	0.057	1.00	62	2.9	176.2	204.4	112.8	
2	Hacer limpieza del horno parte superior	1	2.0%	De pie (0.6 Kcal/min)	0.6	Trabajo con dos brazos (1.0 - 3.5 Kcal/min)	Ligero (1.5 Kcal/min)	1.5	0.041							
3	Poner cemento electrolítico al horno	5	9.8%	Andando (2.0 - 3.0 Kcal/min)	2.5	Trabajo con dos brazos (1.0 - 3.5 Kcal/min)	Ligero (1.5 Kcal/min)	2	0.441							
4	Observación desde la zona de las bolsas de cementos electrolítico	10	19.6%	De pie (0.6 Kcal/min)	0.6	Trabajo Manual (0.2 - 1.2 Kcal/min)	Ligero (0.4 Kcal/min)	0.4	0.196							
5	Mueve la mezcla en el horno	1	2.0%	De pie (0.6 Kcal/min)	0.6	Trabajo con dos brazos (1.0 - 3.5 Kcal/min)	Ligero (1.5 Kcal/min)	2	0.051							
6	Poner cemento electrolítico al horno	3	5.9%	Andando (2.0 - 3.0 Kcal/min)	2.5	Trabajo con dos brazos (1.0 - 3.5 Kcal/min)	Ligero (1.5 Kcal/min)	2	0.265							
7	Hacer limpieza del horno parte superior	2	3.9%	De pie (0.6 Kcal/min)	0.6	Trabajo con dos brazos (1.0 - 3.5 Kcal/min)	Ligero (1.5 Kcal/min)	1.5	0.082							
8	Observación desde la zona de las bolsas de cementos electrolítico	10	19.6%	De pie (0.6 Kcal/min)	0.6	Trabajo Manual (0.2 - 1.2 Kcal/min)	Ligero (0.4 Kcal/min)	0.4	0.196							
9	Operación del horno	3	5.9%	De pie (0.6 Kcal/min)	0.6	Trabajo Manual (0.2 - 1.2 Kcal/min)	Ligero (0.4 Kcal/min)	0.4	0.059							
10	Mueve la mezcla en el horno	2	3.9%	De pie (0.6 Kcal/min)	0.6	Trabajo con dos brazos (1.0 - 3.5 Kcal/min)	Ligero (1.5 Kcal/min)	2	0.102							
11	Hacer limpieza del horno parte inferior del horno	2	3.9%	Andando (2.0 - 3.0 Kcal/min)	2.5	Trabajo con dos brazos (1.0 - 3.5 Kcal/min)	Ligero (1.5 Kcal/min)	1.5	0.157							
12	Mueve la mezcla en el horno	2	3.9%	De pie (0.6 Kcal/min)	0.6	Trabajo con dos brazos (1.0 - 3.5 Kcal/min)	Ligero (1.5 Kcal/min)	2	0.102							
13	Colado de metal volteando el horno con un mando electrónico	4	7.8%	De pie (0.6 Kcal/min)	0.6	Trabajo Manual (0.2 - 1.2 Kcal/min)	Ligero (0.4 Kcal/min)	1	0.125							
14	Poner cemento electrolítico al horno	5	9.8%	Andando (2.0 - 3.0 Kcal/min)	2.5	Trabajo con dos brazos (1.0 - 3.5 Kcal/min)	Ligero (1.5 Kcal/min)	2	0.441							

Anexo 3. Cálculo de estimación de tasa metabólica para el puesto de basculador.

N°	TAREAS	TIEMPO (min)	TAREAS (%)	ESTIMACIÓN TASA METABÓLICA					Sub Total (kcal/min)	Metabolismo Basal (kcal/min)	Peso del Trabajador (Kg)	Tasa Metabólica (kcal/min)	Tasa Meta bólica (kcal/h)	Tasa Metabólica (W)	Tasa Metabólica (W/m²)
				Posición y movimiento del cuerpo	Tipo de trabajo			Valor (kcal/min)							
					Posición y movimiento del cuerpo	Valor (kcal/min)	Parte del cuerpo								
1	Colado de metal fundido	6	11%	De pie (0.6 Kcal/min)	0.6	Trabajo con dos brazos (1.0 - 3.5 Kcal/min)	Ligero (1.5 Kcal/min)	2	0.279	1.21	85	4.8	287.3	333.2	183.8
2	Sacado de lingotes	20	36%	Andando (2.0 - 3.0 Kcal/min)	2	Trabajo con dos brazos (1.0 - 3.5 Kcal/min)	Ligero (1.5 Kcal/min)	15	1.250						
3	Limpieza de lingotera y acomodarlo	12	21%	De pie (0.6 Kcal/min)	0.6	Trabajo con dos brazos (1.0 - 3.5 Kcal/min)	Ligero (1.5 Kcal/min)	2	0.557						
4	Apoyo en la carga de cemento electrolítico	8	14%	De pie (0.6 Kcal/min)	0.6	Trabajo Manual (0.2 - 1.2 Kcal/min)	Ligero (0.4 Kcal/min)	0.4	0.143						
5	Observación desde la zona de las bolsas de cements electrolítico	10	18%	Andando (2.0 - 3.0 Kcal/min)	2	Trabajo con dos brazos (1.0 - 3.5 Kcal/min)	Ligero (1.5 Kcal/min)	2	0.714						

Anexo 4. Cálculo de estimación de tasa metabólica para el puesto de lavador de lingotes.

N°	TAREAS	TIEMPO (min)	TAREAS (%)	ESTIMACIÓN TASA METABÓLICA					Sub Total (kcal/min)	Metabolismo Basal (kcal/min)	Peso del Trabajador (Kg)	Tasa Metabólica (kcal/min)	Tasa Metabólica (kcal/h)	Tasa Metabólica (W)	Tasa Metabólica (W/m²)
				Posición y movimiento del cuerpo		Tipo de trabajo									
				Posición y movimiento del cuerpo	Valor (kcal/min)	Parte del cuerpo	Intensidad	Valor (kcal/min)							
1	Limpieza de lingotes de cuchillas.	20	29%	Andando (2.0 - 3.0 Kcal/min)	2.5	Trabajo con dos brazos (1.0 - 3.5 Kcal/min)	Pesado (2.5 Kcal/min)	2.5	1.429	1.03	72	4.7	280.4	325.2	179.4
2	Limpieza de lingotes en la mesa.	30	43%	De pie (0.6 Kcal/min)	0.6	Trabajo con dos brazos (1.0 - 3.5 Kcal/min)	Pesado (2.5 Kcal/min)	2.5	1.329						
3	Traslado de lingotes.	10	14%	Andando (2.0 - 3.0 Kcal/min)	2	Trabajo con dos brazos (1.0 - 3.5 Kcal/min)	Pesado (2.5 Kcal/min)	2.5	0.643						
4	Observación desde la zona de las bolsas de cementos electrolítico.	10	14%	De pie (0.6 Kcal/min)	0.6	Trabajo Manual (0.2 - 1.2 Kcal/min)	Ligero (0.4 Kcal/min)	0.4	0.143						

Anexo 5. Ficha de datos de resultados – Fundidor.

FICHA DE RESULTADOS: TÉCNICO DE FUNDICIÓN - FUNDIDOR				CÓDIGO: 23057 - ETC - 01		
Descripción del puesto						
Puesto de trabajo:	Técnico de Fundición		Área de trabajo:	Planta		
Nombre del trabajador:	OPB		Régimen de trabajo:	14x7		
Código del trabajador:	230574264		Jornada laboral:	12 horas		
Peso / Talla / Edad:	62Kg / 1.7m / 40años		Radiación solar:	No		
Ropa de trabajo:	Polo manga larga y pantalón delgado, traje ignífugo REPELETEK 375W300C, casco aluminizado TR6000 con visor y quantes aluminizados.					
Descripción del área de trabajo						
Fuentes de calor:	Horno Pillar					
Sistema de ventilación:	Si					
Equipos de medición						
Monitor de estrés térmico (Marca / Modelo / Serie):	Inlite / Itemp / 20090104904A					
Registros de medición			Comparación con el LMP			
Hora de inicio:	11:35:00		<p>Índice TGBH efectivo [°C]</p> <p>Tasa Metabólica [Watt]</p> <p>— LMP - - - Límite de acción</p>			
Tiempo total:	00:15:00					
PARÁMETROS	MEDICIÓN 1					
Ubicación de medición	Abdomen (homogeneidad)					
Temperatura de Bulbo Seco:	17.7 °C					
Temperatura de Bulbo Húmedo:	8.2 °C					
Temperatura de Globo _{corregida} :	19.9 °C					
Índice TGBH:	11.71 °C					
Adición por vestimenta:	1					
Índice TGBH _{Efectivo} :	12.71 °C					
Estimación Gasto Metabólico			Registro Fotográfico			
Descripción de actividades:	Fundición (operación del horno, limpieza, carga de cemento electrolítico).					
Metabolismo Basal:	.89 Kcal/min	Tasa Metabólica:				204.40 W
Nivel de Acción TGBH:	27.3 °C	Valor Límite TGBH:				30.1 °C
Condición		ÓPTIMO				

Anexo 6. Ficha de datos de resultados – Basculado

FICHA DE RESULTADOS: OPERADOR DE FUNDICIÓN - BASCULADOR			CÓDIGO: 23007 - ETC - 02
Descripción del puesto			
Puesto de trabajo:	Operador de Fundición - Vascularizado	Área de trabajo:	Planta
Nombre del trabajador:	JMC	Régimen de trabajo:	14x7
Código del trabajador:	230074421	Jornada laboral:	12 horas
Peso / Talla / Edad:	85Kg / 1.73m / 46años	Radiación solar:	No
Ropa de trabajo:	Polo manga larga y pantalón delgado, traje ignífugo REPELETEK 375W300C, casco aluminizado TR6000 con visor y guantes aluminizados.		
Descripción del área de trabajo			
Fuentes de calor:	Horno Pilar		
Sistema de ventilación:	Si		
Equipos de medición			
Monitor de estrés térmico (Marca / Modelo / Serie):	Inlite / Itemp / 20090104904A		
Registros de medición		Comparación con el LMP	
Hora de inicio:	11:57:00		
Tiempo total:	00:15:00		
PARÁMETROS	MEDICIÓN 1		
Ubicación de medición	Abdomen (homogeneidad)		
Temperatura de Bulbo Seco:	17.0 °C		
Temperatura de Bulbo Húmedo:	7.8 °C		
Temperatura de Globo ^{correcta} :	18.4 °C		
Índice TGBH:	10.98 °C		
Adición por vestimenta:	1		
Índice TGBH ^{Efectivo} :	11.98 °C		
Estimación Gasto Metabólico		Registro Fotográfico	
Descripción de actividades:	Apoyo en la carga de cemento electrolítico, colado de metal fundido, desmoldaje de lingotes.		
Metabolismo Basal:	1.21 Kcal/min	Tasa Metabólica:	333.23 W
Nivel de Acción TGBH:	24.3 °C	Valor Límite TGBH:	27.7 °C
Condición		ÓPTIMO	

Índice TGBH [°C]

Tasa Metabólica [Watt]

— LMP — Límite de acción

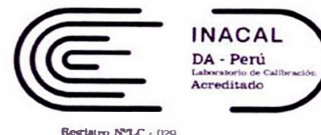
Anexo 7. Ficha de datos de resultados – Lavador de lingotes.

FICHA DE RESULTADOS: OPERADOR DE FUNDICIÓN - LAVADOR DE LINGOTES				CÓDIGO: 23007 - ETC - 03	
Descripción del puesto					
Puesto de trabajo:	Operador de Fundición - Lavado de Lingotes		Área de trabajo:	Planta	
Nombre del trabajador:	DFM		Régimen de trabajo:	14x7	
DNI del trabajador:	230074598		Jornada laboral:	12 horas	
Peso / Talla / Edad:	72Kg / 1.7m / 34años		Radiación solar:	No	
Ropa de trabajo:	Overol de trabajo, traje tuve, polo manga larga y buso. Guantes salves, casco y respiradores.				
Descripción del área de trabajo					
Fuentes de calor:	Horno Pillar				
Sistema de ventilación:	Si				
Equipos de medición					
Monitor de estrés térmico (Marca / Modelo / Serie):	Inlite / Itemp / 20090104904A				
Registros de medición			Comparación con el LMP		
Hora de inicio:			11:10:00		
Tiempo total:			00:15:00		
PARÁMETROS			MEDICIÓN 1		
Ubicación de medición			Abdomen (homogeneidad)		
Temperatura de Bulbo Seco:			17.3 °C		
Temperatura de Bulbo Húmedo:			7.3 °C		
Temperatura de Globo <small>corregida</small> :			17.8 °C		
Índice TGBH:			10.45 °C		
Adición por vestimenta:			1		
Índice TGBH _{Efectivo} :			11.45 °C		
Estimación Gasto Metabólico					
Descripción de actividades:		Lavado de lingotes con uso de esmeril, escobilla. Traslado de lingotes.			
Metabolismo Basal:	1.03 Kcal/min	Tasa Metabólica:	325.22 W		
Nivel de Acción TGBH:	24.5 °C	Valor Límite TGBH:	27.8 °C		
Condición		ÓPTIMO			
			Registro Fotográfico 		

Anexo 8. Certificado de calibración de equipo de medición.



LABORATORIO DE CALIBRACIÓN
ACREDITADO POR EL ORGANISMO DE
ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LC - 029



Registro N° LC - 029

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN OHLTH-199-2023

1.- SOLICITANTE

Razón social: C & D HIGIENISTAS OCUPACIONALES E.I.R.L.
Dirección: AV. SEPARADORA INDUSTRIAL NRO. 2616 DPTO. 501 URB. SANTA
RAQUEL ET. DOS LIMA - LIMA - LA MOLINA
OTI: LC-375

2.- INSTRUMENTO DE MEDICIÓN

Estrés Térmico

Marca : Iníite
Modelo : Itemp
N° de Serie : 20090104904A
Código de identif. : No indica
Intervalo de Medición : 0 °C a 80 °C
Resolución : 0,1 °C
Procedencia : Brasil

3.- PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN

La calibración se efectuó según el PC-026 "PROCEDIMIENTO PARA LA CALIBRACIÓN DE HIGRÓMETROS Y TERMOMETROS AMBIENTALES" Del INACAL

4.- FECHA Y LUGAR DE CALIBRACIÓN

- * El instrumento fue calibrado el 2023 - 08 - 14.
- * La calibración se realizó en el Área de Temperatura del Laboratorio OHLAB.

5.- TRAZABILIDAD

N° de Certificado	Patrón utilizado	Marca	Modelo
1AT-1281-2023	Termohigrómetro Digital	DELTA OHM	HD 2301.0R
METROIL S.A.C.			
LT-072-2023	Termómetro Digital	TRACEABLE	4000
INACAL / DM			

6.- CONDICIONES AMBIENTALES

Temperatura	22,9 °C	± 0,1 °C
Humedad	54,6 % HR	± 0,4 % HR

Este certificado de calibración solo puede ser difundido completamente y sin modificaciones. Los extractos y/o modificaciones requieren la autorización del Laboratorio de Metrología OHLAB. Certificado sin firma y sello carecen de validez.
Los resultados de este certificado no deben utilizarse como certificado de conformidad de producto.

Fecha de emisión: 2023 - 08 - 14.

Sello



OCCUPATIONAL HYGIENE LABORATORY S.A.C.

Juan Diego Arribasplata
JEFE DE LABORATORIO DE METROLOGIA

OCCUPATIONAL HYGIENE LABORATORY S.A.C.
Laboratorio de Metrología
Avenida La Manna 365, La Parla, Callao - Perú
Telf.: (01) 454 3009 Cel.: (+51) 983 731 672
Email: comercial@ohlaboratory.com
Web: www.ohlaboratory.com

Pág. 1 de 2

FGC-042/JUNIO 2023/Rev.06

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN OHLTH-199-2023

7.- RESULTADOS

TEMPERATURA

TCV	Indicación de Termómetro	Corrección	Incertidumbre
°C	°C	°C	°C
10.0	10.3	-0.3	0.3
20.0	20.2	-0.2	0.3
30.0	30.0	0.0	0.3

TCV: Temperatura Convencionalmente Verdadera

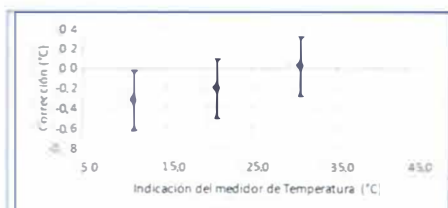


Figura 1 - Curva de calibración del medidor de Temperatura

7.1.- NOTAS

- * El tiempo mínimo de estabilización fue de al menos 30 minutos
- * Los datos obtenidos son el resultado del promedio de 10 mediciones por punto de calibración
- * Se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación "CALIBRADO"
- * La periodicidad de la calibración esta en función al uso y mantenimiento del equipo de medición
- * La incertidumbre de la medición ha sido determinada usando un factor de cobertura $k=2$ para un nivel aproximado de confianza del 95%.

(Fin del Documento)

Anexo 9. Especificaciones técnicas del equipo de medición.



Manual
Itemp
Inlite

2. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Normas cumplidas: ISO 7243, INSHT NTP 322

Pantalla: LCD TFT a color de 320 x 240 píxeles de 2,2 "con ajuste de brillo;

Escala de medida: +1 a +125 °C;

Precisión: ± 0.25 °C;

Resolución: 0,1 °C;

Temperatura de funcionamiento: 0 a 80°C;

Humedad de funcionamiento: 0 a 95%;

Tiempo de estabilización del sensor: aproximadamente 10 minutos;

Capacidad de memoria: 80 registros de 8h;

Lecturas en grados Celsius (°C) o Fahrenheit (°F)

Función de bloqueo de teclas para proteger el medidor contra la operación accidental;

Fuente de alimentación: batería interna recargable de polímero de litio (Li-Po);

Duración de la batería: 30h;

Indicación del porcentaje de batería 0 a 100% en la pantalla;

Mini comunicación por cable USB para cargar y descargar datos;

Apagado automático de la pantalla ajustable de 1 a 9 minutos;

Dimensiones: 190 x 180 x 50 mm;

Peso aproximado: 300g;