

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y
AGROINDUSTRIAL

EVALUACIÓN DE LAS MEDIDAS DE CONTROL Y
PREVENCIÓN PARA DISMINUIR EL RIESGO DE ESTRÉS
TÉRMICO EN EL CUARTO DE MÁQUINAS DE UN HOSPITAL
DE QUITO

TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL GRADO DE MAGÍSTER (M.Sc.)
EN SEGURIDAD INDUSTRIAL CON MENCIÓN EN PREVENCIÓN DE
RIESGOS LABORALES

SANDRA JACQUELINE CHIMBA CONTERÓN
sandra.chimba@epn.edu.ec

DIRECTOR: Dr. Roque Antonio Santos Torres MSc.
roque.santos@epn.edu.ec

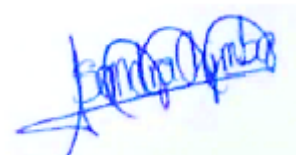
Quito, agosto 2023

© Escuela Politécnica Nacional (2023)
Reservados todos los derechos de reproducción

DECLARACIÓN

Yo, Sandra Jacqueline Chimba Conterón declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.



Sandra Jacqueline Chimba Conterón.

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Sandra Jacqueline Chimba Conterón, bajo mi supervisión.



Dr. Roque Antonio Santos Torres MSc.
DIRECTOR DE TESIS

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios, porque siempre me ha dado la fortaleza necesaria para cumplir mis metas.

Agradezco al ingeniero Roque Santos por su acompañamiento durante la elaboración de este trabajo.

De igual manera, mi sincero agradecimiento al equipo de docentes de la Escuela Politécnica Nacional por los conocimientos impartidos a lo largo del curso de la maestría.

También quiero dedicar unas palabras a mi amigo de universidad Jorge Núñez porque siempre está presto a brindarme unas palabras cuando entro en desesperación y siento que ya no puedo más, gracias una vez más gracias por darme ese impulso a terminar mi trabajo de titulación y no abandonarlo casi al último.

No puedo pasar por alto el apoyo incondicional de la Lic. Gladis Morales en distintos aspectos de mi vida, gracias por siempre tener las palabras precisas y adecuadas para mi, gracias por no permitir que me derrumbe, gracias porque he llegado hasta aquí por usted, las palabras no son suficientes.

Finalmente, agradezco a mi madre y a mi hermana por siempre estar presentes y darme ese ánimo necesario para terminar esta etapa de mi vida.

DEDICATORIA

Quiero dedicar este logro a Victor Castro, quien llegó para cambiar mi vida por completo; llegó para enseñarme a ser valiente y soñar, pero sobre todo me ha enseñado a esperar con paciencia por esas cosas de la vida que tanto nos llenan el alma. Gracias a él entiendo lo difícil que son las luchas personales pero que solo guerreros como él las libran a diario. Es un excelente ser humano, amigo y compañero y esta es mi manera de homenajearlo. Gracias por un año de locos, pero lleno de enseñanzas.

También dedico este trabajo a mis dos ángeles del cielo, mi papá y mi amiga del alma Alejandra Paredes, gracias por cuidarme desde allá arriba.

Finalmente, pero nunca menos importante dedico este logro a mi hijo Joaquín, mi compañero de vida por quien lucho todos los días.

INDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN.....	XIV
INTRODUCCIÓN.....	XVI
1 MARCO TEÓRICO.....	1
1.1 ESTRÉS TÉRMICO.....	1
1.1.1 DEFINICIÓN.....	1
1.1.2 FACTORES QUE INCIDEN EN LA APARICIÓN DE ESTRÉS TÉRMICO.....	2
1.2 MÉTODOS DE EVALUACIÓN DEL ESTRÉS TÉRMICO.....	5
1.2.1 VALORACIÓN DEL RIESGO DE ESTRÉS TÉRMICO: ÍNDICE WBGT.....	5
1.2.2 DETERMINACIÓN DEL METABOLISMO ENERGÉTICO.....	6
1.2.3 LÍMITES PERMISIBLES (TLV) PARA LA EXPOSICIÓN A LOCACIONES CON RIESGO DE ESTRÉS TÉRMICO.....	8
1.3 RIESGOS EN CALDEROS.....	9
1.4 MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y CONTROL PARA MITIGAR EL ESTRÉS TÉRMICO.....	11
1.4.1 MEDIDAS EN LA FUENTE.....	12
1.4.2 MEDIDAS EN EL MEDIO.....	12
1.4.3 MEDIDAS EN EL RECEPTOR.....	13
1.5 SIMULACIÓN DE PROCESOS.....	13
1.5.1 SIMULACIÓN DE TRANSFERENCIA DE CALOR.....	13
2 PARTE EXPERIMENTAL.....	15
2.1 IDENTIFICACIÓN DE LOS FACTORES DE RIESGO QUE GENERAN ESTRÉS TÉRMICO.....	15
2.2 EVALUACIÓN DEL RIESGO DE ESTRÉS TÉRMICO.....	18
2.3 EVALUACIÓN DE LAS MEDIDAS DE CONTROL Y/O CORRECCIÓN.	
22	
3 RESULTADOS.....	26
3.1 EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES DE TRABAJO MEDIANTE LA OBSERVACIÓN DIRECTA DE LAS INSTALACIONES Y ACTIVIDADES QUE	

REALIZAN LOS CALDERISTAS	26
3.2 VALORACIÓN CUALITATIVA DE LOS FACTORES DE RIESGO QUE POTENCIAN LA OCURRENCIA DEL RIESGO DE ESTRÉS TÉRMICO.....	32
3.3 EVALUACIÓN DEL RIESGO DE ESTRÉS TÉRMICO MEDIANTE EL ÍNDICE WBGT	33
3.4 PROPOSICIÓN DE MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y CONTROL PARA EL RIESGO TÉRMICO EN LA SALA DE CALDEROS.....	37
3.4.1 MEDIDAS DE CONTROL EN LA FUENTE.....	37
3.4.2 MEDIDAS DE CONTROL EN EL MEDIO.....	43
3.4.3 CÁLCULO DE UN REGIMEN DE TRABAJO DESCANSO.....	49
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	52
CONCLUSIONES.....	52
RECOMENDACIONES.....	53
BIBLIOGRAFÍA	54
ANEXOS.....	60

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Gasto metabólico del trabajador de acuerdo con el tipo de actividad que realiza durante su jornada laboral	4
Tabla 1.2. Valores límites de referencia para el índice WBGT (ISO 7243)	9
Tabla 2.1 Altura de las mediciones de temperatura de acuerdo con la posición del trabajador	19
Tabla 2.2 Consumo metabólico en kcal/min de acuerdo con el tipo de trabajo	20
Tabla 2.3 Consumo metabólico en kcal/min por la posición y movimiento del cuerpo	21
Tabla 3.1 Evaluación cualitativa de los factores de riesgo que potencian el riesgo de estrés térmico	33
Tabla 3.2. Datos experimentales obtenidos del medidor de estrés térmico usado en la sala de calderos.....	34
Tabla 3.3 Resultados de la evaluación de estrés térmico mediante el índice WBGT	36
Tabla 3.4 Datos de entrada correspondientes a la fibra de vidrio para realizar la simulación	39
Tabla 3.5 Datos usados para obtener la temperatura de globo mediante extrapolación.....	42
Tabla 3.6 Resultados del índice WBGT antes y después de la simulación con las medidas de control en la fuente.....	42
Tabla 3.7 Datos de entrada correspondientes a las láminas de yeso y a las placas de poliestireno expandido para realizar la simulación.....	45
Tabla 3.8 Datos usados para obtener la temperatura de globo mediante interpolación.....	48
Tabla 3.9 Resultados del índice WBGT antes y después de la simulación con las medidas de control en el medio	49
Tabla 3.10 Datos para el desarrollo del cálculo del régimen trabajo – descanso sugerido para los operadores de calderos.	50
Tabla AIII.1 Descripción de las actividades realizadas por los calderistas, tiempo de duración y su respectiva estimación de consumo metabólico	69

Tabla AV.1. Datos de temperatura registrados por el programa de simulación luego de aplicar los aislamientos térmicos en la fuente.	71
Tabla AVI.1. Datos usados para obtener la temperatura de globo mediante extrapolación de los datos obtenidos luego de la simulación de las medidas de control	72
Tabla AVI.2 Datos y desarrollo del cálculo del nuevo índice WBGT luego de la simulación de las medidas de control en la fuente.	72
Tabla AVIII.1. Datos de temperatura registrados por el programa de simulación luego de aplicar los aislamientos térmicos en el medio.....	74
Tabla AIX.1. Datos usados para obtener la temperatura de globo mediante interpolación de los datos obtenidos luego de la simulación de las medidas de control	75
Tabla AIX.2. Datos y desarrollo del cálculo del nuevo índice WBGT luego de la simulación de las medidas de control en el medio	75

INDICE FIGURAS

Figura 2.1 Parámetros para la evaluación de riesgos laborales de acuerdo al Ministerio de Relaciones Laborales (Chica, 2016, p34)	17
Figura 2.2 Captura de pantalla de la interfaz de usuario de la aplicación Energy 2D.....	23
Figura 3.1 Tabulación de las respuestas de los trabajadores en cuanto a su percepción de las condiciones de su lugar de trabajo.....	26
Figura 3.2 Tabulación de las respuestas de los trabajadores en cuanto a su percepción a los descansos que pueden tomar durante su jornada laboral.....	27
Figura 3.3 Tabulación de las respuestas de los trabajadores en cuanto a la comodidad al realizar sus actividades.....	28
Figura 3.4 Tabulación de las respuestas de los trabajadores en cuanto al riesgo de sufrir accidentes.	28
Figura 3.5 Tabulación de las respuestas de los trabajadores de acuerdo con su percepción de la autonomía que tienen para decidir el ritmo de su trabajo.	29
Figura 3.6 Tabulación de las respuestas de los trabajadores de acuerdo con las facilidades que tienen para comunicarse en su entorno laboral.....	30
Figura 3.7 Tabulación de las respuestas de los trabajadores de acuerdo con la facilidad para tomar decisiones en base a las instrucciones que poseen.	30
Figura 3.8. Equipo usado durante la medición de estrés térmico en la sala de calderos.....	34
Figura 3.9 Simulación de la situación inicial sin medidas de control en la fuente	38
Figura 3.10 Escala de colores que se presentan en el panel de simulación de acuerdo con el incremento de temperatura.....	38
Figura 3.11 Simulación del escenario esperado luego de la aplicación de medidas de control en la fuente	40
Figura 3.12 Gráfica Temperatura vs Tiempo de la simulación luego de colocar los aislamientos térmicos en las fuentes de calor.	40
Figura 3.13 Simulación de la situación inicial sin medidas de control en el medio	44
Figura 3.14 Simulación de la situación esperada luego de la aplicación de medidas de control en el medio.....	46

Figura 3.15 Gráfica Temperatura vs Tiempo de la simulación de transferencia de calor a través de una pared.....	47
Figura AII.1 Registro de las temperaturas medidas experimentalmente durante el estudio de estrés térmico en la sala de calderos.....	68
Figura AIV.1. Gráfica de Temperatura vs Tiempos en la simulación antes de aplicar los aislamientos térmicos en la fuente	70
Figura AVII.1. Gráfica de temperatura vs tiempo en la simulación sin aplicar los aislamientos térmicos en el medio	73

INDICE DE ANEXOS

ANEXO I ENCUESTA REALIZADA A LOS CALDERISTAS PARA CONOCER SU PERCEPCIÓN DE LAS CONDICIONES DE SU PUESTO DE TRABAJO..	61
ANEXO II GRÀFICO DE LAS MEDICIONES DE TEMPERATURA REGISTRADAS POR EL MEDIDOR DE ESTRÉS TÉRMICO	68
ANEXO III CÁLCULO DEL CONSUMO METABÓLICO DEL OPERADOR DE CALDEROS	69
ANEXO IV GRÀFICA DE LAS MEDICIONES DE TEMPERATURA EN LA SIMULACIÓN SIN APLICAR LOS AISLAMIENTOS TÉRMICOS	70
ANEXO V DATOS DE LA MEDICIÓN DE TEMPERATURA EN LA SIMULACIÓN LUEGO DE APLICAR LOS AISLAMIENTOS TÉRMICOS	71
ANEXO VI EXTRAPOLACIÓN Y CÁLCULO DE ÍNDICE WBGT LUEGO DE LA SIMULACIÓN DE LAS MEDIDAS DE CONTROL EN LA FUENTE	72
ANEXO VII GRÀFICA DE LAS MEDICIONES DE TEMPERATURA EN LA SIMULACIÓN SIN COLOCAR UNA PARED QUE SEPARE LAS FUENTES DE CALOR DEL MEDIO LABORAL.....	73
ANEXO VIII DATOS DE LA MEDICIÓN DE TEMPERATURA EN LA SIMULACIÓN LUEGO DE APLICAR UNA BARRERA COMO AISLAMIENTO TÉRMICO EN EL MEDIO LABORAL	74
ANEXO IX INTERPOLACIÓN Y CÁLCULO DEL ÍNDICE WBGT LUEGO DE LA SIMULACIÓN DE LAS MEDIDAS DE CONTROL EN EL MEDIO.....	75

RESUMEN

En el siguiente trabajo se presenta la evaluación de las medidas de prevención y control que se eligieron como una posible alternativa para disminuir el riesgo de estrés térmico en el cuarto de máquinas de un hospital de Quito. El objetivo fue determinar si el tipo de material elegido para aislar térmicamente las fuentes de calor fue el más adecuado para mitigar las consecuencias en el trabajador sometido a un ambiente con temperaturas elevadas.

La metodología usada consideró la evaluación y medición de los peligros que inciden en la aparición del riesgo térmico en la sala de máquinas donde laboran los calderistas. Como resultado de esta primera evaluación se obtuvo que la temperatura ambiental sobrepasó los límites de temperatura permitidos para que la salud de los trabajadores no se vea afectada por el exceso de calor. Frente a esto se propuso medidas de control y prevención para mitigar el calor en la sala de calderos empezando por la intervención en la fuente, para continuar con el medio y finalmente en el receptor.

Como medida de control en la fuente se propuso recubrir con fibra de vidrio las superficies y tuberías que emitían calor y no tenían aislamiento térmico; en tanto que en el medio por donde transita el calor, en este caso el aire, se propuso colocar una pared de yeso laminado con una resistencia térmica suficiente para evitar el paso del calor y de este modo separar las fuentes de calor de las zonas de tránsito de los trabajadores. Tanto las medidas de control en la fuente, como en el medio, fueron evaluadas mediante el software Energy 2D que permitió simular el comportamiento térmico del material aislante, que es la fibra de vidrio, y de la pared de yeso laminado de acuerdo con las características de cada uno. De manera complementaria, se propuso un régimen de trabajo-descanso para que los operadores conozcan el tiempo máximo que puede permanecer en la sala de máquinas sin que su salud se vea perjudicada.

También se conoció que el tipo de actividad que realizaban los calderistas era ligera y que la duración de las actividades era mayor a la recomendada por lo

que se requirieron realizar descansos breves por cada hora de trabajo.

En cuanto a los materiales propuestos para mitigar el calor irradiado, tanto en la fuente como en el medio, se concluyó que las características y propiedades de cada material aislante permitieron disminuir la temperatura del lugar de trabajo hasta niveles recomendados, según los datos obtenidos por la simulación.

INTRODUCCIÓN

En el informe “Trabajar en un planeta MÁS CALIENTE: El impacto del estrés térmico en la productividad laboral y el trabajo decente” se indica que la tendencia, en la mayor parte de los países, es que cuanto mayor sea el número de horas de trabajo perdidas como resultado del estrés térmico, menor será la cobertura de los sistemas de protección social. Por esta razón, se requiere mayor énfasis en mejorar las condiciones laborales, especialmente cuando existe una sobre exposición a altas temperaturas. El informe también concluye que es necesario mejorar la capacidad de adaptación de los trabajadores al aumento de las temperaturas (OIT, 2019).

El estrés térmico por calor en el ámbito laboral es un problema conocido especialmente en países con climas tropicales (Gutierrez et al., 2018); Ecuador al ser un país tropical no está exento de esta problemática que afecta tanto a la salud general del trabajador como a su productividad y rendimiento laboral. En este sentido el objetivo del presente trabajo es evaluar las medidas de control que se podrían ejecutar para mitigar el calor excesivo en el medio laboral y de este modo precautelar el bienestar del trabajador.

De acuerdo con el trabajo: “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” de (Robalino, 2015) quien estudió las condiciones térmicas de trabajo de los operadores de calderas, en un hospital en la ciudad de Guaranda, provincia de Bolívar, Ecuador, se sabe que el 80% de los trabajadores que operan calderas en este hospital están sobreexpuestos a altas temperaturas lo cual ha generado ausentismo laboral, disminución en la atención y la memoria y bajo rendimiento en sus actividades. Con estos datos se evidencia la importancia de realizar un estudio de estrés térmico por calor al que están expuestos estos trabajadores, así como también el análisis de las medidas correctivas necesarias.

Entre las medidas propuestas en otro trabajo para disminuir el riesgo de estrés térmico en la sala de máquinas de un hospital está la instalación de un sistema de ventilación con un caudal que permita un número adecuado de renovaciones de aire para la sala de calderos. Siendo esta la única referencia en cuanto al control de estrés térmico en el cuarto de máquinas de un hospital, las medidas propuestas en el presente trabajo constituyen una alternativa para el estudio y control del estrés térmico al que están expuestos los operadores de calderos porque se busca disminuir o eliminar el riesgo térmico desde su origen; minimizando de este modo la probabilidad de que se dé un incremento de temperatura no deseado en el entorno laboral.

En torno a este panorama el siguiente trabajo recomienda algunas de las opciones para reducir el riesgo de estrés térmico y sus efectos en el trabajador y de este modo alinearse a las principales acciones que ha tomado la OIT en el Ecuador como son: fomentar políticas de desarrollo productivo en el ámbito laboral, promover metodologías para las inspecciones de control de las condiciones del trabajo, y también hacer promoción de la importancia de la seguridad y salud laboral (OIT, 2018);

1 MARCO TEÓRICO

1.1 ESTRÉS TÉRMICO

1.1.1 DEFINICIÓN

El estrés térmico es la carga neta de calor a la que está expuesto un trabajador. Cuando el operario recibe una cantidad excesiva de calor tiende a acumular en su cuerpo este exceso de energía; esta condición de calor excesivo se da debido a la interacción de los siguientes factores: condiciones ambientales del lugar de trabajo, el tipo de actividad que se realiza y el tipo de vestimenta que lleva la persona. Específicamente, dentro de las condiciones ambientales locativas que inciden en el aumento del calor están las altas temperaturas, alta humedad, calor radiante, ventilación insuficiente, etc.

La actividad que realiza el trabajador puede ir desde una carga laboral ligera hasta moderada y en ciertos casos hasta pesada; para determinar qué tipo de actividad realiza el operario se toma en cuenta la posición del cuerpo, los movimientos de manos y pies, el desplazamiento del trabajador y la elevación y traslado de cargas manualmente.

Otro factor para considerar es la ropa de trabajo o vestimenta que usan los operarios durante su jornada laboral, es decir dependiendo del tipo de fibra y del grosor de la tela se producirá un mayor o menor aislamiento contra la pérdida de calor corporal.

La temperatura corporal ideal está entre los 36 °C y 38 °C; sin embargo, cuando el trabajador labora bajo condiciones de estrés térmico y los mecanismos fisiológicos del cuerpo se ven alterados, el organismo reacciona al aumento de temperatura intentando buscar un equilibrio térmico mediante la sudoración, vasodilatación periférica e incluso las excretas para perder el exceso de calor. Sobrepasar los niveles de temperatura recomendados se podrían producir

distintos daños a la salud de acuerdo con la cantidad de calor que se ha acumulado en el cuerpo (Sánchez, 2015).

1.1.2 FACTORES QUE INCIDEN EN LA APARICIÓN DE ESTRÉS TÉRMICO

CONDICIONES AMBIENTALES: es un conjunto de parámetros que caracterizan a una locación específica. Los conceptos que se explican a continuación sirvieron para un mejor entendimiento del estrés térmico en el lugar de trabajo.

TEMPERATURA: Es una magnitud que permite conocer el nivel de energía térmica presente en el aire del lugar en donde el trabajador realiza sus actividades. Esta magnitud se mide con un termómetro y se debe cuidar que este instrumento tenga una calibración adecuada (Mondelo, 2004, pag 40)

HUMEDAD ABSOLUTA (Ha) Y HUMEDAD RELATIVA (Hr): La humedad absoluta es la cantidad de vapor de agua contenido en un determinado volumen de aire, Mientras que la humedad relativa es la relación porcentual entre la cantidad de vapor contenida en el aire (Ha) y la máxima cantidad de vapor que el aire de la locación podría contener. Cuando la Hr es igual a 100% indica que el aire está saturado, es decir lleno de vapor de agua, por lo tanto, no es posible un intercambio de calor entre la piel y el aire del ambiente laboral debido a que no existe un gradiente que permita la evaporación del sudor del trabajador.

Para medir la humedad del aire se puede usar un higrómetro o también se puede estimar este valor mediante tablas o diagramas psicrométricos (Mondelo, 2004, pag 41).

VENTILACIÓN: Se entiende como la intensidad media de la velocidad del aire sobre todas las direcciones y es importante porque ayuda a disipar el calor producido por el cuerpo del trabajador cuando suda (Mondelo, 2004, pag 176).

ACTIVIDAD QUE REALIZA EL TRABAJADOR: este parámetro depende de la posición, desplazamientos y movimientos corporales que realice el trabajador. El gasto energético total diario de un individuo es toda la energía que el organismo consume durante todas sus actividades incluido el reposo. Este gasto de energía total está conformado por la tasa metabólica basal (TMB) y el gasto metabólico ligado a una actividad física (GEAF). La tasa metabólica basal es la cantidad mínima de energía requerida por el organismo para que mantenga un funcionamiento normal y representa entre el 60% y 70% del gasto metabólico diario (Blasco, 2015).

El calor metabólico que produce una persona al realizar una determinada actividad es el resultado de la sumatoria del metabolismo basal más las tasas metabólicas determinadas por la postura del cuerpo, el tipo de actividad que se está realizando, el movimiento que la persona ejecuta y la rapidez con la que el trabajador tiene que realizar sus actividades. Este calor metabólico total se determina también dependiendo el estado físico del trabajador y si está aclimatado o no al sitio de trabajo (Floría, 2007, pag 428).

ACLIMATACIÓN AL CALOR: es un proceso que permite al organismo tolerar paulatinamente el desarrollo de actividades en un ambiente caluroso. Esta tolerancia al calor no se consigue de forma inmediata, sino luego de varias repeticiones de las actividades realizadas recurrentemente en el medio al que se quiere adaptar. El objetivo de la aclimatación es conseguir hacer más soportable la exposición a una carga climática; mientras que el principal beneficio de este proceso es la reducción en la incidencia y/o la gravedad de los síntomas de malestar causados por el calor. Para que una aclimatación al calor sea completa se requiere de hasta 14 días, pero los sistemas del cuerpo se adaptan al calor a velocidades diferentes (Armstrong, 1998).

Para estimar el gasto metabólico se pueden utilizar tablas que según la norma ISO 7243 indican diferentes valores de acuerdo con la descripción de la intensidad del trabajo realizado. Estos valores se muestran a continuación en la tabla 1.1

Tabla 1.1 Gasto metabólico del trabajador de acuerdo con el tipo de actividad que realiza durante su jornada laboral

INTENSIDAD DEL TRABAJO	DESCRIPCIÓN	METABOLISMO [W/M2]
Descanso	-	$M < 65$
Ligero	Sentado con comodidad, trabajo manual: escritura, costura, contabilidad, inspección, clasificación, conducir en condiciones normales, maniobrar un pedal o interruptor. De pie: taladradora, fresadora, bobinado, enrollado de pequeños revestimientos. Marcha ocasional con velocidad de hasta 3,5 km/h	$65 < M < 130$
Moderado	Trabajo mantenido de brazos y manos; maniobras sobre camiones, tractores o máquinas; acoplamiento de vehículos, enyesado, recolección de frutas y legumbres; empuje o tracción de carretillas. Marcha a una velocidad entre 3,5 y 5,5 km/h	$130 < M < 200$
Pesado	Trabajo intenso con brazos y tronco; transporte de materiales pesados, excavar, martillar, laminación o cincelado de madera dura, segar a mano. Empuje o tracción de carretillas muy pesadas, colocación de piezas de hormigón. Marcha a una velocidad entre 5,5 y 7 km/h.	$200 < M < 260$
Muy pesado	Actividad muy intensa a marcha rápida; trabajos con hacha, palear o excavar intensamente, subir escaleras o rampas. Andar o correr a una velocidad mayor a 7 km/h	$M > 260$

Ropa de trabajo y vestimenta del trabajador: es un factor que modifica la interrelación entre el organismo y el medio porque actúa como una barrera que influye en la percepción del calor que tiene el operador. El principal mecanismo de enfriamiento del cuerpo es la transpiración. Para que este proceso se dé exitosamente se requiere que la temperatura del aire y la humedad ambiental sean bajas, además de que el aire debe circular alrededor de la piel para que se

pueda dar el intercambio de calor mediante evaporación y convección. En este último punto radica la importancia de las características de la ropa y prendas de protección que lleva el trabajador puesto que podrían impedir la liberación de calor del organismo hacia el ambiente.

La capacidad que tienen las prendas de vestir para aislar térmicamente al cuerpo se denomina resistencia térmica del vestido (Falagan, 2005) y se mide en unidades llamadas "clo" que en unidades del sistema internacional es el $\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/W}$. 1 clo es el aislamiento necesario para mantener térmicamente confortable a una persona que realiza una actividad sedentaria que implica menos de 60 W/m^2 a una temperatura de $21 \text{ } ^\circ\text{C}$ (Rubio, 2015).

Es importante tomar en cuenta que, de acuerdo con el material del que está fabricada la ropa, el aire quedará atrapado en las tramas de las fibras del tejido, por lo cual se recomienda usar varias prendas de vestir en lugar de una sola prenda que sea gruesa. En conclusión, bajo condiciones calurosas la ropa de trabajo y demás indumentaria que use el trabajador debe permitirle perder el exceso de calor y a la vez no debe dificultar la realización de sus tareas.

1.2 MÉTODOS DE EVALUACIÓN DEL ESTRÉS TÉRMICO

1.2.1 VALORACIÓN DEL RIESGO DE ESTRÉS TÉRMICO: ÍNDICE WBGT

Este método de valoración del índice WBGT, que por sus siglas en inglés es Wet Bulb Globe Temperature, sigue las recomendaciones de la Norma Técnica de Prevención 322; que de aquí en adelante se la mencionará como NTP 322.

Para el cálculo del índice WBGT se utiliza los siguientes parámetros ambientales que de acuerdo con (González, 2007, pag 409) se definen de la siguiente manera:

- **Temperatura de globo (TG):** es la temperatura aparente que depende de la temperatura radiante media, temperatura ambiental y velocidad del aire.

Esta temperatura se mide con un termómetro cuyo bulbo está dentro de una esfera de cobre pintada de color negro y de un espesor muy fino.

- **Temperatura natural húmeda (THN):** es la temperatura que se percibe de acuerdo con la cantidad de humedad en el medio.
- **Temperatura seca del aire (TA):** es la temperatura del aire.

Estas variables se utilizan de acuerdo con las condiciones en el ámbito laboral; es decir si las actividades se realizan con la presencia o no de radiación solar y también si es en el interior o exterior de edificaciones,

1.2.2 DETERMINACIÓN DEL METABOLISMO ENERGÉTICO.

Este proceso se desarrolla en la NTP 323 que se basa en la norma ISO 8996. En esta última se revisan varios métodos para determinar el gasto energético; entre los métodos descritos están la consulta de tablas, la medida de la variación del gasto energético con el tiempo y determinación del consumo metabólico mediante medición de parámetros fisiológicos. Ambos métodos se describen brevemente a continuación.

- **Estimación del consumo metabólico a través de tablas**

Usar este método implica aceptar valores estandarizados para distintos tipos de actividad, según la profesión, esfuerzo, postura, movimiento y simultáneamente se debe suponer que la población en estudio tiene características similares a la población que se utilizó para definir los valores dados en las tablas; asumir estos valores genera desviaciones importantes respecto a la realidad, sin embargo, este procedimiento es de fácil aplicación y por lo tanto más utilizado (Henao, 2008).

- **Variación del gasto energético con el tiempo**

Este método se aplica cuando las condiciones de trabajo varían a lo largo de la jornada laboral, por lo tanto, las tablas no son de aplicación directa.

Para el cálculo del gasto energética se requiere multiplicar los valores de consumo energético con el tiempo de duración de cada actividad. Una vez conocidos los valores de consumo metabólico y los tiempos se utiliza la ecuación 1.1 que se muestra a continuación:

$$M = \frac{\sum_{i=1}^n M_i t_i}{T} \quad [1.1]$$

Fuente: Norma técnica de prevención 322. Valoración del riesgo de estrés térmico: índice WBGT.

$$\text{Siendo: } T = \sum_{i=1}^n t_i \quad [1.2]$$

Donde:

M: consumo metabólico medio durante el periodo de tiempo T

M_i: consumo metabólico durante el tiempo t_i

t_i: tiempo que dura una actividad determinada dentro de la jornada laboral

n: es el número de datos del consumo metabólico para cada actividad consecutiva realizada en la jornada laboral.

- **Determinación del consumo metabólico a través de la medición de parámetros fisiológicos.**

Este método utiliza la medición del consumo de oxígeno o la medición de la frecuencia cardíaca. Para el primer caso se asume una relación casi lineal entre el consumo de oxígeno y el nivel del metabolismo. El consumo de 1 litro de oxígeno corresponde a 4,85 kcal. En el caso de la frecuencia cardíaca en donde se considera el aumento de la irrigación sanguínea de acuerdo con el aumento en la exigencia al realizar un trabajo.

Todos los métodos anteriores se pueden agrupar de acuerdo con su nivel de precisión y dificultad de la siguiente manera:

NIVEL I: Los datos obtenidos son imprecisos y con riesgos de errores importantes en relación con la medición del metabolismo a través de la medición de parámetros fisiológicos.

Método IA: Este método presenta tablas que indican valores de gasto energético en función del tipo de actividad

Método IB: Este método presenta tablas que indican valores de gasto energético en función de las profesiones.

NIVEL II: La precisión de este método es de +/- 15% en relación con el método en donde se mide el metabolismo a través de parámetros fisiológicos.

Método IIA: Este método presenta tablas que indican los valores de gasto energético a partir de componentes de la actividad (estudio de tiempo requerido).

Método IIB: Este método presenta tablas que estiman el gasto energético por el tipo de actividad (estudio de tiempo requerido).

Método IIIB: Este método presenta la medición de la frecuencia cardíaca en condiciones determinadas.

NIVEL III: En este método se utiliza la medición de consumo de oxígeno porque existe una relación casi lineal entre este parámetro y el nivel del metabolismo; también se requiere un estudio del tiempo que duran las actividades del trabajador

El metabolismo energético se expresa normalmente en unidades de energía como son las kilocalorías (kcal) o Joules (J). En otros casos suele medirse el metabolismo energético en unidades de potencia como los vatios (w). En el presente trabajo se usarán kilocalorías como unidades.

La equivalencia que más se usa es:

$1 \text{ w/m}^2 = 1,553 \text{ kcal/hora}$ (para una superficie corporal estándar de $1,8 \text{ m}^2$) (INSHT, 1991).

1.2.3 LÍMITES PERMISIBLES (TLV) PARA LA EXPOSICIÓN A LOCACIONES CON RIESGO DE ESTRÉS TÉRMICO

De acuerdo con la ISO 7243 los valores límite de referencia para el índice WBGT dependen del consumo metabólico del trabajador al realizar sus actividades y si

éste último está o no aclimatado al lugar de trabajo; estos valores se reflejan en la tabla 1.2.

Tabla 1.2 Valores límites de referencia para el índice WBGT (ISO 7243)

Consumo metabólico kcal/hora	WBGT Límite °C			
	Persona aclimatada		Persona no aclimatada	
	V=0	V≠0	V=0	V≠0
≤ 100	33	33	32	32
100÷200	30	30	29	29
200÷310	28	28	26	26
310÷400	25	26	22	23
≥ 400	23	25	18	20

Fuente: Norma técnica de prevención 322. Valoración del riesgo de estrés térmico: índice WBGT.

El valor de WBGT límite permitido está expresado en °C y es análogo a los TLV's que tiene cada sustancia química; en el caso de estrés térmico permite determinar si la exposición al calor podría ser perjudicial o no para el trabajador. Adicionalmente este valor límite permite determinar un régimen de trabajo y descanso cuando las condiciones de calor son desfavorables.

Solo cuando el valor calculado de WBGT es mayor al valor límite recomendados se puede concluir que el trabajador está expuesto a estrés térmico y se requieren establecer medidas técnicas y/o administrativas para mejorar esas condiciones.

1.3 RIESGOS EN CALDEROS

Un caldero de vapor es un equipo térmico con el cual se aprovecha la energía calorífica de un combustible para generar vapor de agua. Este vapor usará para suministrar calor a diferentes procesos industriales. Debido a la complejidad de este equipo resulta indispensable considerar el factor de seguridad para los operarios de calderos debido a que se manejan altas presiones y temperaturas (Sarmiento, 2015).

El vapor generado por los calderos es transportado por medio de tuberías, las mismas que absorben una parte del calor que transita por ellas; y este calor a su vez puede ser transmitido hacia los alrededores.

Cuando existe diferencia de temperatura entre dos cuerpos, el calor se empieza a transmitir desde el cuerpo de mayor temperatura hacia el de menor temperatura hasta alcanzar el equilibrio térmico. Como se menciona en (Henao, 2008) el calor se puede transferir de las siguientes formas: conducción, radiación y convección. A continuación, se describe brevemente cada uno de estos.

- **Conducción:** el calor se propaga cuando existe una diferencia de temperatura entre dos cuerpos sólidos en contacto, o bien de un extremo a otro de un mismo cuerpo cuando existe un diferencial de temperatura. Por este medio se puede perder el 3% del calor corporal; sin embargo, si el cuerpo entra en contacto con agua fría la pérdida de calor es al menos 100 veces mayor que por aire frío.
- **Radiación:** el calor se transmite por medio de rayos infrarrojos sin la necesidad que un material lo transmita. En el cuerpo la radiación emitida depende del número de objetos más fríos y distantes. Este mecanismo representa aproximadamente el 60% de la pérdida del calor corporal.
- **Convección:** la transferencia de calor se realiza de forma masiva entre dos zonas con temperaturas diferentes, la corriente de calor se da por medio de un fluido (agua o aire). En el caso de los operadores de calderos las partículas de aire ganan energía calórica al interactuar con la superficie corporal; cabe mencionar que este intercambio de calor puede darse de manera natural o forzada. Este mecanismo permite hasta un 12% de pérdida de calor corporal.

En caso del cuerpo humano la pérdida de calor se realiza también, además de los mecanismos anteriores, mediante evaporación que es una estrategia termorreguladora que usa la evaporación del sudor para enfriar la piel; pero al

mismo tiempo se debe usar como mecanismo compensador el aporte de líquidos e iones. (Yeison, Picón; Javier, Orozco; Jessica, Molina; Mabel, 2020).

Como se menciona en el trabajo “Condiciones de seguridad en calderas de vapor de empresas afiliadas a una administradora de riesgos profesionales en Antioquia” de (Sepúlveda M & Ramírez G, 2011) las calderas constituyen los riesgos potenciales más graves para la seguridad del trabajador y para la seguridad de los procesos que se desarrollan en una empresa.

De acuerdo al trabajo de (Toro-Cataño et al., 2017) en donde se caracteriza los riesgos ambientales y de seguridad de calderas en pequeñas y medianas empresas, se indica que el 62% de las calderas presentó un nivel de riesgo no aceptable en cuanto a la seguridad del trabajador; esto cuando realizan actividades de operación, vigilancia, mantenimiento e inspección para el funcionamiento de las calderas. El mismo autor indica que el contacto con superficies calientes o con sustancias corrosivas, las fugas en los conductos de vapor, fallas en las válvulas de seguridad, incorrecta operación y mantenimiento, falta de registro de operaciones e incidentes son solo algunos de los factores de riesgo que podrían generar un accidente como incendio o explosión.

1.4 MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y CONTROL PARA MITIGAR EL ESTRÉS TÉRMICO

Para controlar la excesiva exposición a calor en el ambiente laboral se puede implantar diferentes medidas con el objetivo de prevenir alteraciones a la salud relacionadas al calor. En primera instancia se debe aplicar medidas sobre la fuente o foco emisor de calor, en caso de que estas medidas no sean suficientes se puede adoptar medidas complementarias en el medio y finalmente en el receptor.

1.4.1 MEDIDAS EN LA FUENTE

En este caso se debe identificar si la fuente que emite calor es interna o externa al establecimiento de trabajo. En uno u otro caso se deben medir y evaluar los riesgos térmicos para determinar las consecuencias en los trabajadores.

- **Fuentes de calor internas**

Dentro de las instalaciones de trabajo las principales fuentes que emiten calor son: hornos, reactores químicos o calderos con sus respectivos circuitos hidráulicos, tuberías y válvulas. Estos equipos son fuentes de calor porque mediante su funcionamiento se genera energía térmica.

- **Fuentes de calor externas**

La temperatura del aire y la temperatura radiante son las principales fuentes de calor externas que pueden afectar a los trabajadores. Estas temperaturas pueden variar por la emisión de calor desde equipos de trabajo como motores, superficies calentadas por la radiación solar o también debido a la radiación solar que recibe directamente el trabajador (OIT, 2019).

Si la fuente de calor son equipos que generan energía térmica se puede elegir aquellos que emitan bajas cantidades de calor. Del mismo modo se puede procurar que las emisiones de calor de estos equipos sean fuera del ambiente laboral. Cuando la fuente de calor proviene de radiaciones solares o condiciones climáticas que no se pueden controlar directamente se puede optar por medidas de prevención de tipo organizativo, por ejemplo: planificar el trabajo diario de acuerdo con previsiones meteorológicas y evitar que se realicen las actividades laborales durante las horas de mayor radiación solar.

1.4.2 MEDIDAS EN EL MEDIO

En este caso se interviene en el lugar de trabajo para disminuir la acumulación

de calor en el medio. Esto se hace mediante: instalación de ventiladores, equipos climatizadores localizados, persianas, estores, toldos o cualquier tipo de apantallamiento o barrera frente a las fuentes que emiten calor (OSALAN, n.d.).

1.4.3 MEDIDAS EN EL RECEPTOR

En este caso se usa prendas de protección individual. Para esto se analiza la vestimenta que debería usar el trabajador o cualquier otro tipo de accesorio que permita enfriar el cuerpo. También se recomienda el diseño de un régimen de trabajo-descanso que permita a los trabajadores tener un receso adecuado entre sus actividades laborales. Con esto se puede evitar que los operarios de calderos realicen sus tareas cuando existan condiciones térmicas adversas en el medio laboral.

1.5 SIMULACIÓN DE PROCESOS

La simulación es una herramienta para analizar el diseño y operación de sistemas y procesos. Con el desarrollo de una simulación se pueden resolver problemas teóricos y prácticos sin que el proceso en estudio se lleve a cabo en la realidad. Para realizar una simulación se sigue un proceso para diseñar y desarrollar un modelo computarizado del sistema en estudio. El objetivo de la simulación es entender el comportamiento del sistema o evaluar varios escenarios con los que podría operar el sistema (Coss, 2003).

1.5.1 SIMULACIÓN DE TRANSFERENCIA DE CALOR.

La transferencia de calor es energía en tránsito siempre que exista una diferencia de temperatura entre dos o más cuerpos (Incropera & Witt, 1999). La simulación de transferencia de calor es una herramienta que facilita el análisis de las variables de influencia en este fenómeno y a la vez permite optimizar recursos experimentales y compactar los resultados de los ensayos. El principal beneficio

de la simulación es la extrapolación de los resultados obtenidos en modelos hacia prototipos reales cuando es posible (Torres & Grau, 2007).

Los mecanismos físicos por los cuales se transfiere calor se explicaron brevemente en la sección 1.3 y son la base para usar el modelo adecuado que proporcione los datos acerca de la cantidad de energía que se transfiere de un cuerpo a otro,

Para este caso de estudio se usa la transferencia de calor por conducción a través de una superficie plana unidimensional. El flujo de calor en este escenario está dado bajo el modelo de la ley de Fourier, y se calcula mediante la ecuación 1,1 que se muestra a continuación:

$$q_x'' = -k \frac{dT}{dx} \quad [1.3]$$

(Incropera & Witt, 1999)

Donde:

q_x'' es el flujo de calor por unidad de área

k es el coeficiente de conductividad térmica y es característica de cada material

dt es el gradiente de temperatura

dx es el diferencial del área unitaria por donde se transfiere el calor

2 PARTE EXPERIMENTAL

2.1 IDENTIFICACIÓN DE LOS FACTORES DE RIESGO QUE GENERAN ESTRÉS TÉRMICO.

- **Evaluación de las condiciones de trabajo**

Para el análisis del puesto de trabajo de los calderistas, se realizaron tres visitas a las instalaciones donde desarrollan sus actividades los trabajadores. Una de estas visitas se realizó al inicio de la jornada nocturna, mientras que el resto se realizaron en la jornada diurna.

Durante la primera visita diurna se realizó una entrevista directa y estructurada al trabajador de turno para conocer acerca de su horario de trabajo, las actividades que realiza durante su jornada, tiempos de descanso, tiempos asignados para la alimentación, ropa de trabajo, prendas de protección y su percepción sobre las condiciones ambientales de su puesto de trabajo.

El cuestionario usado en la entrevista se encuentra en el Anexo I. Este banco de preguntas es un cuestionario con respuestas dicotómicas o selección múltiple pero que a la vez permite receptar comentarios extras del entrevistado. El cuestionario se elaboró en base a los 11 primeros criterios de evaluación de la norma técnica de prevención 387 Evaluación de las condiciones de trabajo: método del análisis ergonómico del puesto de trabajo. Los criterios 12, 13 y 14 no se tomaron en cuenta para la evaluación porque incluían parámetros como iluminación en el puesto de trabajo y ruido que no son objeto de estudio del presente trabajo; la parte de ambiente térmico tampoco se utilizó porque esta evaluación se realiza detalladamente más adelante.

Este método es un procedimiento mixto, en donde el técnico realiza la valoración en conjunto con el trabajador para conocer su percepción del puesto de trabajo (LLaneza, 2008). Esto permite tener una descripción sistemática de la tarea y puesto de trabajo mediante la observación directa de las labores que realiza el operador y también con una entrevista sencilla. La importancia de esta entrevista

es conocer las actividades que realizan los trabajadores, el tiempo de duración y la posición en que desarrollan sus labores para estimar el consumo metabólico del trabajador y luego con esto el índice WBGT.

En la segunda visita diurna se observó directamente el desarrollo de las actividades de los trabajadores. Se tomaron fotografías de la interacción del trabajador con su entorno para tener evidencias del tipo de ropa de trabajo que se utiliza y de las condiciones de las instalaciones en donde se labora.

Finalmente, en la visita nocturna se entrevistó al trabajador antes de empezar su turno. Se le realizaron las mismas preguntas que se le hicieron al personal que asiste a la jornada diurna.

- **Valoración cualitativa de los peligros que permitieron identificar el riesgo de estrés térmico**

Para realizar esta evaluación se solicitó la colaboración del técnico de seguridad del hospital para que aporte con su criterio técnico al momento de designar un valor a los parámetros de evaluación que fueron los siguientes: temperatura, humedad y ventilación insuficiente. De acuerdo con (Chica, 2016) estos factores potencian el riesgo de estrés térmico. También se contó con el acompañamiento de un trabajador para que indiquen su percepción en cuanto a los factores de riesgo en estudio.

En la evaluación se utilizó la matriz de triple criterio del Ministerio de Relaciones Laborales del Ecuador mostrada en la figura 2.1.

CUALIFICACIÓN O ESTIMACIÓN CUALITATIVA DEL RIESGO - METODO TRIPLE CRITERIO											
PROBABILIDAD DE OCURRENCIA			GRAVEDAD DEL DAÑO			VULNERABILIDAD			ESTIMACION DEL RIESGO		
Baja	Media	Alta	ligeramente dañino	Dañino	Extremadamente dañino	Mediana gestión (acciones puntuales, aisladas)	Incipiente gestión (protección personal)	Ninguna gestión	Riesgo moderado	Riesgo importante	Riesgo intolerable
1	2	3	1	2	3	1	2	3	4 Y 3	6 Y 5	9, 8 Y 7

Figura 2.1 Parámetros para la evaluación de riesgos laborales de acuerdo al Ministerio de Relaciones Laborales (Chica, 2016, p34)

Los parámetros que se utiliza en esta matriz fueron:

Probabilidad de ocurrencia del riesgo: alta (3), media (2) o baja (1); gravedad del daño que puede ser: muerte o daños superiores (3), lesiones con incapacidades no permanentes (2) o lesiones con heridas leves (1) y finalmente la vulnerabilidad del riesgo ante medidas adoptadas analizando si existe ninguna gestión (3), incipiente gestión (2) o ninguna gestión (1).

Para emitir un criterio para la valoración se siguió las siguientes estimaciones cualitativas descritas por (Ortiz, 2013):

Para el valor de probabilidad de ocurrencia se tiene:

- Probabilidad alta o valor 3: cuando el resultado es más que probable y esperado si la situación de riesgo ocurre,
- Probabilidad media o valor 2: cuando el resultado es posible y nada extraño. Tiene una probabilidad de ocurrencia del 50%
- Probabilidad baja o valor 1: el resultado esperado sería una coincidencia rara. Tiene una probabilidad de ocurrencia entre el 5% y 20%. No ha sucedido en muchos años de exposición al riesgo, pero es concebible.

Para la gravedad del daño se tiene:

- Extremadamente dañino o valor 3: cuando debido a la exposición al riesgo se produce muerte o daños por 1 hasta 5 o más nóminas mensuales, también cuando se producen lesiones incapacitantes permanentes.
- Dañino o valor 2: cuando debido a la exposición al riesgo se produce lesiones con incapacidades no permanentes y/o daños entre el 10% y 100% de una nómina mensual.
- Ligeramente dañino o valor 1: cuando debido a la exposición al riesgo se produce lesiones con heridas leves, contusiones, golpes y/o daños menores al 10% de una nómina mensual.

Para la vulnerabilidad del riesgo luego de la adopción de medidas se tiene:

- Ninguna gestión o valor 3: cuando la situación de riesgo ocurre continuamente o muchas veces al día y no se toman medidas de control en la fuente, ni en el medio, ni en el trabajador.
- Incipiente gestión o valor 2: cuando las medidas de control que se adoptan han reducido la frecuencia en la ocurrencia de accidentes a menos de una vez por semana,
- Mediana gestión o valor 1: cuando las medidas de control aplicadas en la fuente, en el medio y/o en el trabajador permite que la ocurrencia de incidentes y accidentes sean reportados, registrado y controlados.

Con la explicación anterior de los criterios para valorar cualitativamente los factores de riesgo, el equipo evaluador calificó cada factor de riesgo de acuerdo con cada parámetro de la matriz de la figura 2.1. Luego se realizó la sumatoria de los valores obtenidos en cada parámetro de evaluación y se obtuvo una estimación del riesgo de estrés térmico para los calderistas. La interpretación de esta sumatoria se encuentra en la columna ESTIMACIÓN DEL RIESGO de la figura 2.1.

2.2 EVALUACIÓN DEL RIESGO DE ESTRÉS TÉRMICO

Para realizar la valoración del riesgo de estrés térmico en el área en donde

funcionan los calderos se siguieron las indicaciones de la Norma Técnica de Prevención (NTP) 322: “Valoración del riesgo de estrés térmico: índice WBGT”, del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo; en esta norma se aplica el cálculo de índice WBGT y la estimación del consumo metabólico como lo indica la American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH).

- Determinación del índice WBGT

La evaluación se realizó dentro de la sala de máquinas sin la presencia de radiación solar; y como se menciona en la norma NTP 322 por las condiciones del lugar de trabajo se usó la siguiente ecuación:

$$WBGT = 0,7 THN + 0,3 TG \quad [2.1]$$

Fuente: Norma técnica de prevención 322. Valoración del riesgo de estrés térmico: índice WBGT.

Los parámetros ambientales que se midieron fueron: la temperatura de globo (TG) y la temperatura húmeda natural (THN) a con el equipo tipo QuesTemp °36, S/N TKG110009; Código Interno: EM-TM-01-00, Sonda de aire, S/N WPG110006; Código Interno: EM-TM-01-02. El equipo estaba debidamente calibrado de acuerdo con el certificado de calibración: UNTL/00518/21, válido hasta ABRIL 2023. El calibrador utilizado fue un verificador de campo AMP s/n; código interno: EA-TM-01-01.

De acuerdo con la posición en la que el operador realiza su trabajo se tomó las mediciones de temperatura. Como se detallan en la tabla 2.1

Tabla 2.1 Altura de las mediciones de temperatura de acuerdo con la posición del trabajador

	Trabajo de pie	Trabajo sentado
ALTURA DE LAS MEDICIONES	0,1 m	0,1 m
	1,1 m	0,6 m
	1,7 m	1,1 m

Como la temperatura en el ambiente de trabajo fue homogénea bastó con realizar una medición a la altura del abdomen y utilizar la ecuación 2.1

- Determinación del consumo metabólico.

De acuerdo con la norma NTP 322, otra variable que se requiere para estimar el riesgo de estrés térmico es la cantidad de calor que produce el cuerpo por unidad de tiempo cuando el trabajador realiza una determinada actividad, esta variable se denomina consumo metabólico.

El consumo metabólico se estimó tomando en cuenta las actividades, movimientos, posición del cuerpo y desplazamientos que realiza el trabajador durante la jornada laboral; se llevó el registro de cada actividad mediante fotografías. Adicionalmente, se registró el tiempo que los operadores de calderos utilizaban para realizar cada actividad y con estos datos se calculó el porcentaje de tiempo necesario para realizar las diferentes actividades laborales. Con los datos obtenidos de cada actividad se le asignó un valor promedio de consumo metabólico de acuerdo con los datos de la tabla 2.2 en donde se indica la estimación del consumo metabólico [M] (ACGIH) de la norma NTP 322 y que se muestran a continuación:

Tabla 2.2 Consumo metabólico en kcal/min de acuerdo con el tipo de trabajo

Tipo de trabajo	Valor medio (kcal/min)	Valor límite (kcal/min)
Manual ligero	0,4	0,2 – 1,2
Manual pesado	0,9	0,7 – 2,5
Con un brazo ligero	1,0	0,7 – 2,5
Con un brazo pesado	1,8	
Con dos brazos ligero	1,5	1,0 – 3,5
Con dos brazos pesado	2,5	
Con el cuerpo ligero	3,5	2,5 – 2,5
Con el cuerpo moderado	5,9	
Con el cuerpo pesado	7,0	
Con el cuerpo muy pesado	9,0	

Fuente: Norma técnica de prevención 322. Valoración del riesgo de estrés térmico: índice WBGT.

En la tabla 2.2 se muestra el valor aproximado del consumo metabólico de acuerdo con las características del trabajo que realiza el operador. Para los cálculos del índice WBGT del presente trabajo se usó los valores medios de la columna dos de la tabla anterior.

De acuerdo con la descripción que se hizo del puesto de trabajo también se tomó en cuenta la posición y movimiento del cuerpo para la estimación del consumo metabólico. Los valores que se usan para cada caso se detallan en la tabla 2.3.

Tabla 2.3 Consumo metabólico en kcal/min por la posición y movimiento del cuerpo

Posición y movimiento del cuerpo	(kcal/min)
Sentado	0,3
De pie	0,6
Caminando en terreno llano	2,0 – 3,0
Caminando en pendiente	+ 0,8 por m de desnivel

Fuente: Norma técnica de prevención 322. Valoración del riesgo de estrés térmico: índice WBGT.

Una vez asignados los valores en kcal/min a las diferentes actividades que realizan los calderistas durante su jornada laboral se realizó una sumatoria de todos estos, más el valor del metabolismo basal que es igual a 1 kcal/min. El resultado final se reportó en kcal/hora. En la tabla 2.4 se muestran los valores límites de referencia para el índice WBGT según la ISO 7243 que se hace referencia de la norma NTP 322.

Tabla 2.4 Valores índice de referencia para el índice WBGT (ISO 7243)

Consumo metabólico kcal/hora	WBGT límite °C			
	Persona aclimatada		Persona no aclimatada	
	V=0	V≠0	V=0	V≠0
≤ 100	33	33	32	32
100 ÷ 200	30	30	29	29

Tabla 2.4 Valores índice de referencia para el índice WBGT (ISO 7243) (continuación...)

200÷310	26	26	26	26
310÷400	25	26	22	23
≥ 400	23	25	18	20

Fuente: Norma técnica de prevención 322. Valoración del riesgo de estrés térmico: índice WBGT.

El valor límite obtenido de la tabla 1.2 se comparó con el resultado del valor del índice WBGT calculado mediante la ecuación [2.1]; solo si este último valor calculado es mayor al valor límite de referencia normalizado en la ISO 7243 se pudo decir que existió estrés térmico en el área de trabajo en estudio.

2.3 EVALUACIÓN DE LAS MEDIDAS DE CONTROL Y/O CORRECCIÓN.

Una vez identificado y evaluado el riesgo de estrés térmico se plantearon las siguientes medidas de prevención y control en la fuente, en el medio y en el receptor.

- **Medida de control en la fuente: Aislamiento de las tuberías que irradian calor**

Para evaluar si el material usado para aislar térmicamente las tuberías era el adecuado, se midió la temperatura de la tubería con un termómetro infrarrojo.

Con este dato de temperatura inicial se realizó la simulación de transferencia de calor con el material recomendado de acuerdo con la consulta bibliográfica y fichas técnicas. La simulación se realizó mediante la aplicación Energy 2D, instalado en una LAPTOP -C2MC7C23 con un sistema operativo Windows 11 Home Single Language de 64 bits.

Para la elaboración de la interfaz de usuario se usaron las figuras geométricas

que venían predeterminadas en la aplicación Energy 2D. Estas figuras permitieron recrear tanto los equipos que irradiaban calor como los materiales que se simularían para disminuir el paso de calor al medio laboral. En la figura 2.2 se muestra la interfaz en donde se construyó el escenario en estudio y los elementos geométricos que la aplicación permite usar.

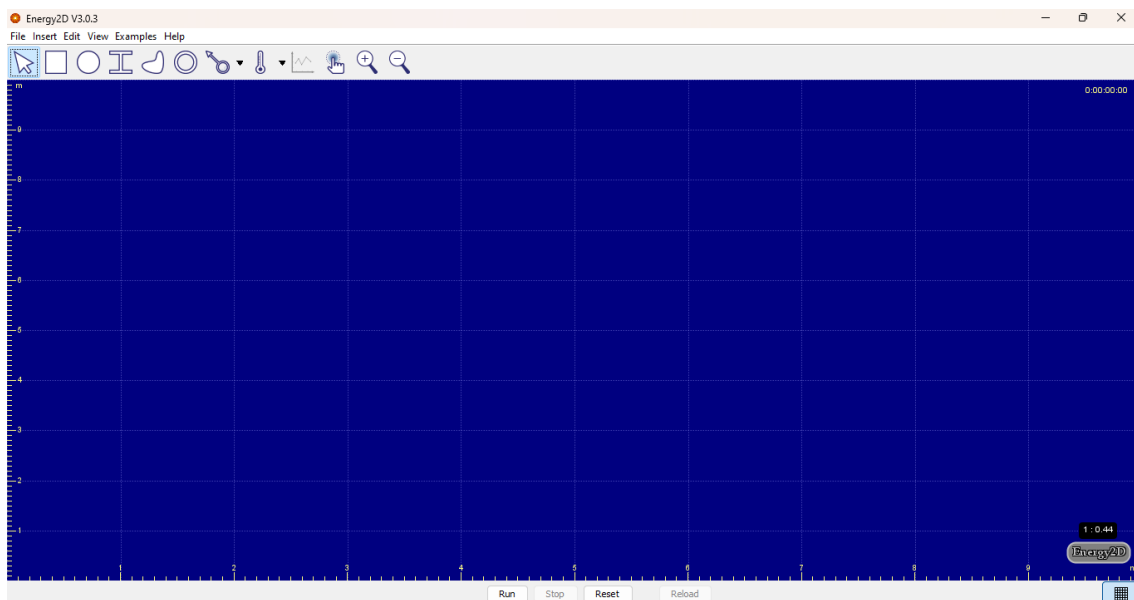


Figura 2.2 Captura de pantalla de la interfaz de usuario de la aplicación Energy 2D.

Los datos de entrada para la simulación fueron la temperatura inicial del ambiente y de las fuentes de calor, el coeficiente de conductividad térmica, el espesor y la densidad del material aislante a ser evaluado.

Una vez realizada la simulación se obtuvo una temperatura del ambiente laboral diferente al valor de temperatura obtenido del medidor de estrés térmico. Con esto se determinó si el tipo de material y su grosor era o no el adecuado para mitigar el calor que irradian las tuberías. Como dato de salida se obtuvo la temperatura final del ambiente luego de aplicar los aislamientos. Este nuevo dato de temperatura simulada se usó para calcular el nuevo índice WBGT, luego de aplicar las barreras para atenuar el calor y de esta manera conocer si nivel de riesgo térmico ha disminuido.

Para el cálculo del nuevo valor WBGT se requerían los valores de temperatura húmeda natural THN (o temperatura de bulbo húmedo) y la temperatura de globo

TG de acuerdo con el valor de temperatura de bulbo seco TA simulado.

Para la de bulbo húmedo se usó la carta psicrométrica porque permite conocer la relación entre condiciones de humedad, temperatura de bulbo seco, temperatura bulbo húmedo entre otros.

En el caso del valor de la temperatura de globo se realizó una interpolación, cuando el valor buscado se encontraba dentro de otros valores de temperatura que reportó el medidor de estrés térmico; o por el contrario se realizó una extrapolación cuando el valor de temperatura requerido se hallaba fuera del rango de temperaturas indicadas por el medidor de estrés térmico. Las fórmulas y desarrollo de estos cálculos se encuentran en el anexo VI.

- **Medida de control en el medio. Diseño de una pared para separar las fuentes de calor de las zonas de tránsito de los operadores.**

Para evaluar esta medida de corrección, se utilizó las medidas y características de una pared de yeso laminado, que de acuerdo con bibliografía y fichas técnicas se utilizó para separar instalaciones interiores y a la vez disminuir el paso de calor. Al igual que en la evaluación del material aislante en la fuente se utilizó como datos de entrada, en la aplicación de simulación, la temperatura inicial, la conductividad térmica, el coeficiente de conductividad y el espesor de esta pared. El software utilizado fue el mismo que se detalló en el ítem anterior.

- **Medida de control en el receptor.**

Se diseñó el régimen trabajo – descanso para que el trabajador pueda alternar los tiempos de actividad y de relajación durante su jornada laboral; es decir el tiempo aproximado en el que el trabajador puede desarrollar sus actividades sin comprometer su salud. Este régimen se diseñó con base a la ecuación 2.1 tomada de la NTP 322. Esta ecuación relaciona los índices WBGT de la zona de trabajo y el índice WBGT de la zona de descanso con sus respectivos valores límites permitidos en ambas zonas; estos datos se encuentran en la tabla 1.2. Una vez evaluado el riesgo de estrés térmico en el área de trabajo mediante el

análisis del índice WBGT, se usaron estos valores en la ecuación 2.2 para determinar el tiempo que el trabajador debía realizar una pausa fuera del área de trabajo luego de haber laborado por una hora.

$$ft = \frac{(A-B)}{(C-D)+(A-B)} \times 60 \text{ (minutos/hora)} \quad [2.2]$$

Fuente: Norma técnica de prevención 322. Valoración del riesgo de estrés térmico: índice WBGT.

Siendo:

ft: fracción de tiempo de trabajo respecto al total

A= WBGT límite en el descanso (M<100kcal/h)

B= WBGT en la zona de descanso

C= WBGT en la zona de trabajo

D= WBGT límite en el trabajo

3 RESULTADOS

3.1 EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES DE TRABAJO MEDIANTE LA OBSERVACIÓN DIRECTA DE LAS INSTALACIONES Y ACTIVIDADES QUE REALIZAN LOS CALDERISTAS

De las visitas realizadas a la sala de máquinas en donde operan los calderos y de las entrevistas realizadas a los operadores, se obtuvieron los siguientes resultados:

En cuanto a las condiciones de trabajo solo el 33% de los trabajadores consideraron que cuentan con los equipos de trabajo necesarios, todos los trabajadores indican que tienen el espacio suficiente para realizar sus labores y del mismo modo todos señalan que no tiene un área de descanso disponible. Estos datos se recopilaron de la encuesta realizada y se muestran en la figura 3.1 a continuación.

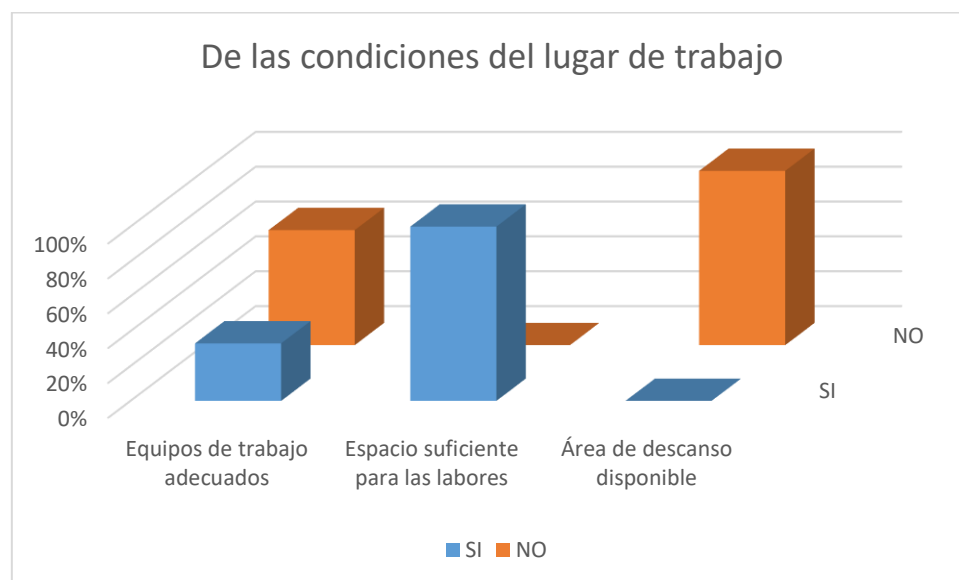


Figura 3.1 Tabulación de las respuestas de los trabajadores en cuanto a su percepción de las condiciones de su lugar de trabajo.

En cuanto a la actividad física que realizan los operadores, la primera pregunta interroga sobre la intensidad de las actividades que realizan los calderistas

dentro de la jornada laboral. Todos los trabajadores manifestaron que la intensidad de trabajo es baja y que no representa un mayor sobreesfuerzo físico. Adicional a esto, un 70% de los trabajadores indican que pueden tomar los descansos que crean convenientes durante su jornada laboral. Estos resultados se muestran en la figura 3.2



Figura 3.2 Tabulación de las respuestas de los trabajadores en cuanto a su percepción a los descansos que pueden tomar durante su jornada laboral.

De la pregunta del levantamiento de cargas, todos los calderistas mencionaron que no realizan esta actividad.

Cuando se preguntó acerca de la postura y movimientos que se realizan en las actividades laborales, todos los trabajadores indicaron que su postura es natural pero un poco limitada durante el ejercicio de sus labores. El 33% de los trabajadores manifestaron que tienen una postura que tensiona su cuello y hombros. En la figura 3.3 se muestra el compendio de los resultados de esta categoría.

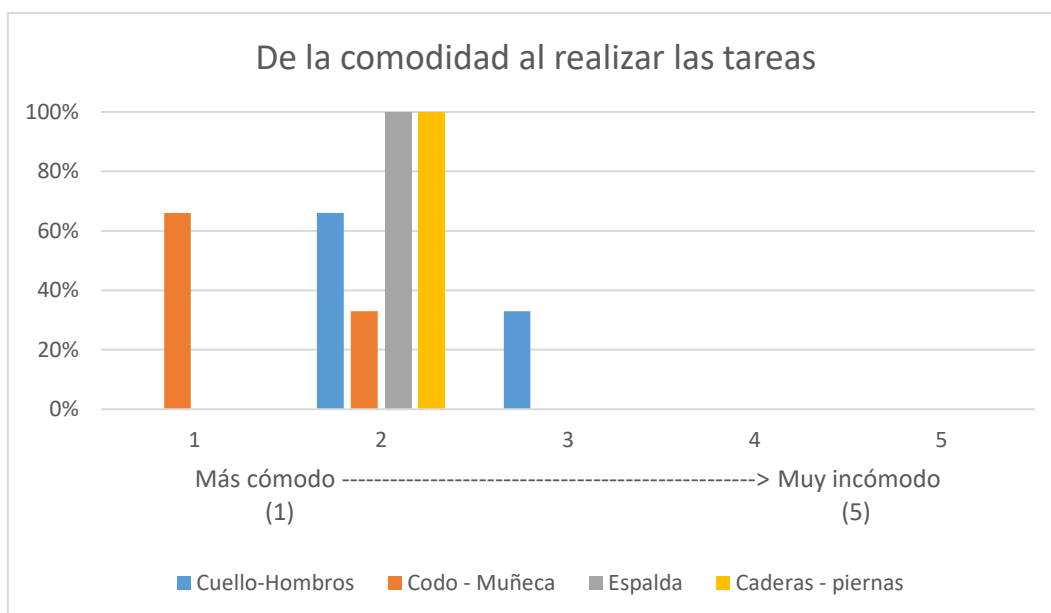


Figura 3.3 Tabulación de las respuestas de los trabajadores en cuanto a la comodidad al realizar sus actividades.

Del riesgo de sufrir accidentes en la sala de calderos, el 100% de los trabajadores afirmaron que pueden sufrir lesiones durante sus actividades; el 66% de ellos indicó que estas lesiones están relacionadas con intoxicaciones, caídas y atrapamientos por el desplome de objetos. Los resultados de esta pregunta se presentan en la figura 3.4 a continuación.

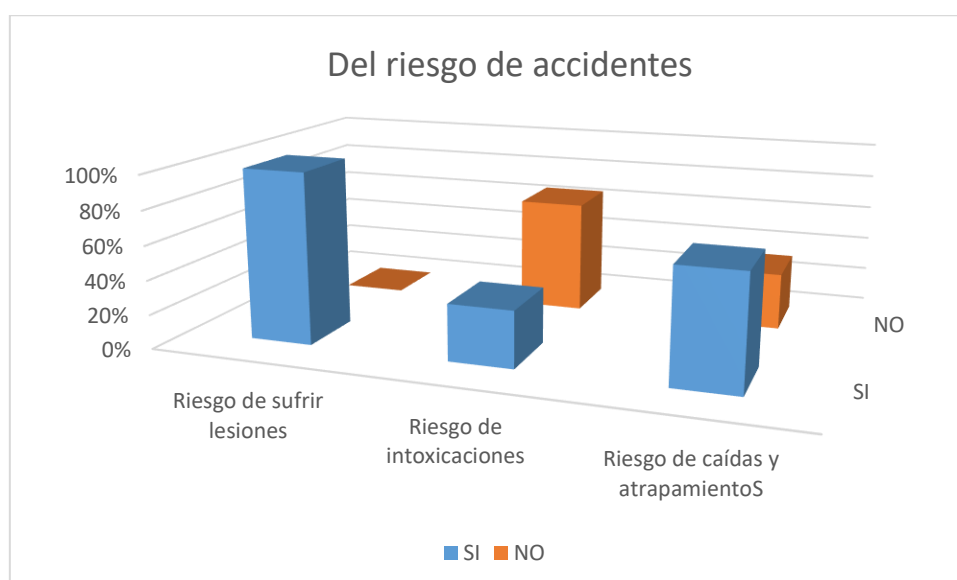


Figura 3.4 Tabulación de las respuestas de los trabajadores en cuanto al riesgo de sufrir accidentes.

En cuanto a la pregunta 6, en donde se averigua sobre el contenido de la tarea

y el nivel de responsabilidad que implica la correcta ejecución de esta, se obtuvo como resultado que los calderistas ejecutan actividades de importancia pero que no tienen mayor incidencia en la planificación. En relación con esta pregunta, se analizó también la autonomía que tiene el trabajador para controlar el tiempo de ejecución de su trabajo. El 66% de los operadores se respondió que sus tareas son ocasionalmente restrictivas y que sus actividades requieren de atención. Este resultado se muestra en la figura 3.5.

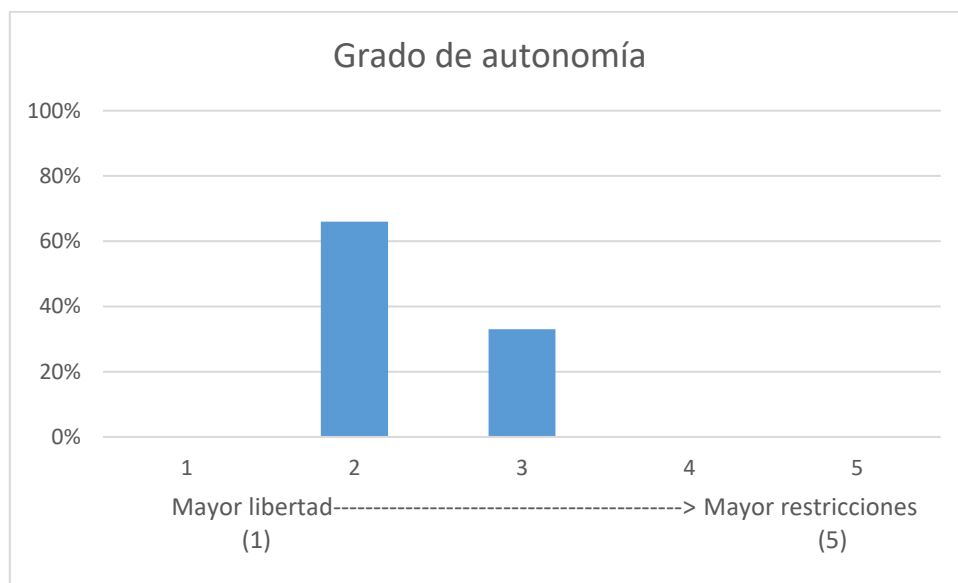


Figura 3.5 Tabulación de las respuestas de los trabajadores de acuerdo con su percepción de la autonomía que tienen para decidir el ritmo de su trabajo.

De la facilidad para comunicarse con sus superiores y compañeros, el 66% de los operadores manifestaron que la comunicación es posible, pero que se limita y dificulta por la naturaleza del lugar de trabajo. Del mismo modo un 66% de los trabajadores indicaron que su trabajo incluye tareas de las cuales se tiene la información necesaria para poder ejecutarlas con facilidad. Estos resultados se muestran en las figuras 3.6 y 3.7.

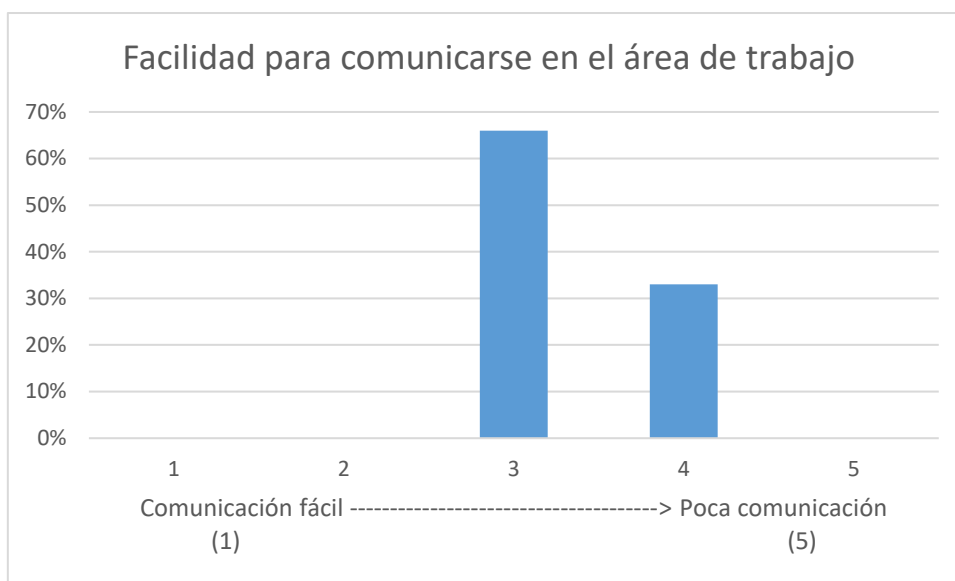


Figura 3.6 Tabulación de las respuestas de los trabajadores de acuerdo con las facilidades que tienen para comunicarse en su entorno laboral.

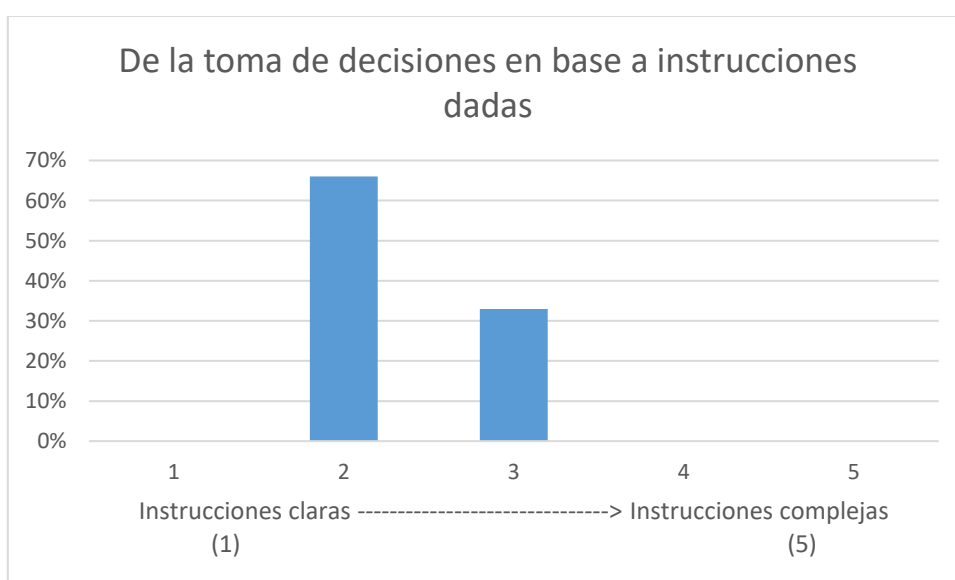


Figura 3.7 Tabulación de las respuestas de los trabajadores de acuerdo con la facilidad para tomar decisiones en base a las instrucciones que poseen.

Finalmente, en cuanto a la repetitividad de las tareas, todos los trabajadores creen que sus tareas se repiten cada 10 o 30 minutos. Y en cuanto a la atención que se requiere para llevar a cabo las actividades laborales todos respondieron que necesitan una gran cantidad de atención.

En la encuesta realizada hubo un ítem en donde se pidió información acerca del departamento o zona de trabajo. La respuesta se indica en el siguiente resumen:

El Departamento de Mantenimiento del hospital en estudio está conformado por la parte administrativa y la parte operativa. Dentro de la parte operativa los funcionarios están divididos en dos grupos. El primero encargado de asegurar el correcto funcionamiento de las instalaciones del hospital en la parte eléctrica, la parte hidrosanitaria y del mobiliario en general. El otro grupo lo constituyen los calderistas, quienes son los encargados de mantener el correcto funcionamiento de los calderos y de esta manera asegurar el suministro de agua caliente y vapor para los diferentes servicios que lo requieren.

En cuanto a la descripción de la tarea que realizan los operadores de calderos manifestaron lo siguiente:

El horario de trabajo de los calderistas está dividido en dos jornadas, una diurna y una nocturna cada una con una duración de doce horas. La jornada diurna inicia a las 7:00 y termina 19:30 mientras que la jornada nocturna empieza a las 19:00 y termina a las 7:30 del día siguiente. Los treinta minutos adicionales corresponde a la jornada de la comida y receso. Entre las actividades que realizan los calderistas está el control y monitoreo de parámetros para el correcto funcionamiento del caldero. A su vez, dentro de esta actividad se encuentra la revisión y registro de los indicadores electrónicos de presión, temperatura y niveles de agua y combustible. Estos indicadores están automatizados para emitir una alerta cuando los niveles de presión, agua y combustible no son los correctos para que el caldero funcione de manera adecuada. Esta actividad se realiza tres veces durante la jornada laboral.

Adicionalmente, los calderistas mencionaron que abren manualmente las válvulas de vapor para poder abastecer de vapor a las marmitas del servicio de nutrición, las secadoras de ropa y a las autoclaves de la central de esterilización. Al momento esta actividad no está automatizada debido a la falta de presupuesto y de un proyecto que impulse este mejoramiento. Las válvulas que permiten el paso de vapor se encuentran a 1,30 metros del piso. La válvula que controla el flujo de vapor para calentar el agua se mantiene abierta las 24 horas, mientras que las otras válvulas se abren a las 6:00 y se cierran a las 19:00.

El personal encargado de calderos también realiza la purga de los calderos. Esta actividad implica descargar el agua contenida dentro del caldero para prevenir las incrustaciones sobre las paredes del equipo. Estas incrustaciones se dan cuando la concentración de sólidos disueltos en el agua se aproxima a los límites de operación. El control de la calidad del agua permite también un uso eficiente de la energía para generar vapor. Esta actividad se realiza dos veces al día manualmente y en cuclillas.

Todas las actividades anteriores se realizan en un lapso de 90 a 120 minutos y, de acuerdo con la información de los trabajadores, no tienen un área de aclimatación para evitar cambios bruscos de temperatura, puesto que al ingresar a la sala de calderos experimentan un alza de temperatura súbita y del mismo modo al salir de esta área calurosa se enfrentan a un ambiente más frío.

3.2 VALORACIÓN CUALITATIVA DE LOS FACTORES DE RIESGO QUE POTENCIAN LA OCURRENCIA DEL RIESGO DE ESTRÉS TÉRMICO

De la valoración cualitativa de los factores de riesgo se obtuvieron los resultados presentados en la tabla 3.1. En ella se observa que la humedad y la ventilación insuficiente son factores que generan un riesgo importante, mientras que la temperatura elevada significa un riesgo intolerable para los trabajadores que se desempeñan en la sala de calderos. Estos datos son congruentes con los resultados obtenidos en el trabajo de (Chica, 2016) en donde indica que estos tres parámetros son los que intervienen para que el riesgo de estrés térmico sea intolerable. El análisis del resultado de la valoración cualitativa de estos parámetros muestra una primera aproximación al riesgo de estrés térmico que puede darse en la sala de máquinas del hospital.

Tabla 3.1 Evaluación cualitativa de los factores de riesgo que potencian el riesgo de estrés térmico

FACTORES DE RIESGO	PROBABILIDAD DE OCURRENCIA	GRAVEDAD DEL DAÑO	VULNERABILIDAD	ESTIMACIÓN DEL RIESGO	INTERPRETACIÓN
Humedad	2	2	2	6	Riesgo importante
Temperatura elevada	2	2	3	7	Riesgo intolerable
Ventilación insuficiente	1	2	2	5	Riesgo importante

3.3 EVALUACIÓN DEL RIESGO DE ESTRÉS TÉRMICO MEDIANTE EL ÍNDICE WBGT

Como se muestra en la figura 3.8 la evaluación se realizó en la mañana, durante un día parcialmente nublado en el interior de la sala de calderos y con la compuerta de ventilación parcialmente abierta. De los tres calderos existentes en la sala de máquinas, solo uno estaba en funcionamiento, fue en los alrededores de este caldero donde se tomaron las mediciones de temperatura.



Figura 3.8. Equipo usado durante la medición de estrés térmico en la sala de calderos

Se realizaron dos registros de mediciones durante el mismo día y se usaron los datos de temperatura más elevadas que podrían afectar al trabajador. Las mediciones de temperatura registradas por el equipo medidor de estrés térmico se detallan en la tabla 3.2 a continuación:

Tabla 3.2. Datos experimentales obtenidos del medidor de estrés térmico usado en la sala de calderos

Fecha de la medición		18/7/2022				
Temperatura de bulbo seco: 35,64 °C						
Parámetro medido	Temperatura de bulbo húmedo [°C]	Temperatura de globo [°C]	Humedad %	WBGT [°C]	Velocidad del viento m/s	
Hora						
10:22	25,95	35,80	43	28,91	0,26	
10:23	26,57	35,98	42	29,39	0,31	
10:24	26,64	36,29	44	29,54	0,29	
10:25	26,78	36,69	42	29,75	0,24	

Tabla 3.2. Datos experimentales obtenidos del medidor de estrés térmico usado en la sala de calderos (continuación...)

10:26	26,93	36,32	42	29,75	0,25
10:27	26,44	36,88	44	29,57	0,28
10:28	26,58	37,24	43	29,78	0,17
10:29	26,76	37,87	43	30,09	0,33
10:30	27,17	38,34	43	30,52	0,19
10:31	27,41	38,91	42	30,86	0,24
10:32	27,59	38,41	42	30,84	0,2
10:33	27,15	38,69	42	30,61	0,21
10:34	27,39	38,05	41	30,59	0,29
10:35	27,56	38,24	41	30,76	0,24
10:36	27,48	38,51	40	30,79	0,29
10:37	27,65	38,47	40	30,90	0,32
10:38	27,58	38,45	39	30,84	0,42
10:39	27,56	38,25	39	30,77	0,26
10:40	27,58	38,20	39	30,77	0,42
10:41	28,04	39,93	39	31,61	0,34
10:42	28,47	39,67	39	31,83	0,27
PROMEDIO	27,20 ± 0,59	37,86 ± 1,16	41,4 ± 1,72	30,40 ± 0,74	0,30 ± 0,07

De este conjunto de datos se obtuvo un promedio de cada categoría dando como resultado lo siguiente: temperatura de bulbo húmedo (THN): 27,20 °C; temperatura de globo (TG): 37,86 °C; humedad (H): 41,4 %; velocidad del viento: 0,3 m/s. Estos datos se usaron en la ecuación 2.1 y se calculó el valor de WBGT inicial obteniendo como resultado 30,40 °C. Para el análisis de este resultado se lo comparó con el valor límite permitido correspondiente. Este valor límite depende del consumo metabólico que tiene el trabajador mientras realiza sus funciones.

Para determinar el consumo metabólico se analizó la potencia con que el operador realiza cada actividad; el detalle de este cálculo se encuentra en el Anexo III. Luego de este cálculo se obtuvo un valor de 147,16 kcal/h como gasto

metabólico del trabajador durante su jornada laboral. Este resultado indica que el trabajo es ligero y que la tasa metabólica es baja.

Tanto el gasto metabólico como el valor WBGT calculado se muestran en la tabla 3.3 a continuación:

Tabla 3.3 Resultados de la evaluación de estrés térmico mediante el índice WBGT

Actividad realizada	Gasto metabólico [kcal/h]	WBGT calculado	WBGT límite permitido NTP 322	Dosis	Riesgo
Supervisión y operación de calderas	147,16	30,40 ± 0,74 °C	30 °C	101%	Alto

Adicionalmente en la tabla 3.3 se colocó el valor límite WBGT igual a 30 °C que se tomó de la tabla 1.2 de acuerdo con el gasto metabólico calculado anteriormente. En la tabla 3.3 se muestra también la dosis a la que está expuesta el trabajador, esta dosis se calculó con la ecuación 3.1 a continuación:

$$Dosis = \frac{WBGT \text{ calculado}}{WBGT \text{ límite permitido}} \times 100 \% \quad [3.1]$$

Si el resultado de la dosis es igual o mayor a 100% el riesgo es alto; si el resultado de la dosis está entre 50% y 99% el riesgo es medio y si la dosis es menor a 50% el riesgo es bajo.

Para el análisis del riesgo de estrés térmico se comparó el valor WBGT calculado con el valor límite permitido, esta comparación mostró que el índice WBGT calculado fue mayor al límite recomendado; por lo tanto, se puede concluir que en la sala de máquinas existe riesgo de estrés térmico. Sin embargo, dado la desviación estándar de las mediciones, se podría tener un valor de WBGT calculado mínimo de hasta 29,66 °C; aunque este valor es menor al límite de temperatura permitido no se podría decir por completo que no existe riesgo térmico, porque de acuerdo con el cálculo de la dosis, en este caso se tendría

una dosis de 99%, lo cual indicaría un riesgo térmico medio, pero no despreciable. Para el caso de temperaturas mayores al valor promedio, el cálculo de la dosis sería mayor a 100%, con lo que se podría concluir que el riesgo de estrés térmico sería alto.

Finalmente se concluye que la exposición del trabajador a las condiciones de temperatura y humedad en la sala de calderos mencionadas anteriormente genera un riesgo térmico de medio a alto que es observable.

Al comparar estos resultados con bibliografía se corrobora que el riesgo de estrés térmico es de medio a alto. De acuerdo con (Falagan, 2005), bajo estas condiciones de gasto metabólico y temperatura, se está laborando en una zona de riesgo en donde el equilibrio térmico no es posible ya sea debido al tipo de carga metabólica de la actividad que se realiza o a las condiciones ambientales del lugar de trabajo.

3.4 PROPOSICIÓN DE MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y CONTROL PARA EL RIESGO TÉRMICO EN LA SALA DE CALDEROS.

3.4.1 MEDIDAS DE CONTROL EN LA FUENTE

Para el aislamiento de las tuberías que emiten calor se usó la fibra de vidrio. Este material fue elegido porque tiene propiedades térmicas que lo hace buen aislante térmico, esto debido a su alta proporción de superficie sobre peso, además de otras características como: baja densidad, resistencia química, relación precio - beneficio, incombustible, gran flexibilidad y estabilidad dimensional. Este material además tiene recubrimiento de lámina de aluminio que actúa como barrera ante el vapor (Suresh, 2019).

La situación inicial que se representó en la aplicación de simulación Energy 2D sin aplicar el material aislante se muestra en la figura 3.13 que se presenta a

continuación:

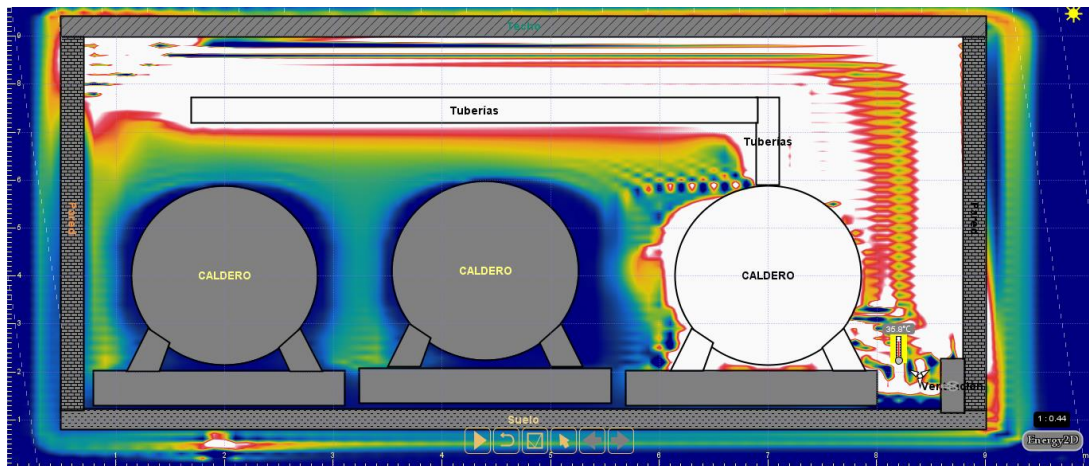


Figura 3.9 Simulación de la situación inicial sin medidas de control en la fuente

En la figura 3.9 se muestra la representación que se hizo de los tres calderos de la sala de máquinas y de las tuberías que conducen el vapor. La aplicación muestra un color dependiendo de la temperatura que se registra en un determinado espacio del panel de simulación. De acuerdo con la aplicación, los colores van cambiando respecto a la variación de temperatura en un rango de 8 °C como se presenta en la figura 3.10 a continuación:

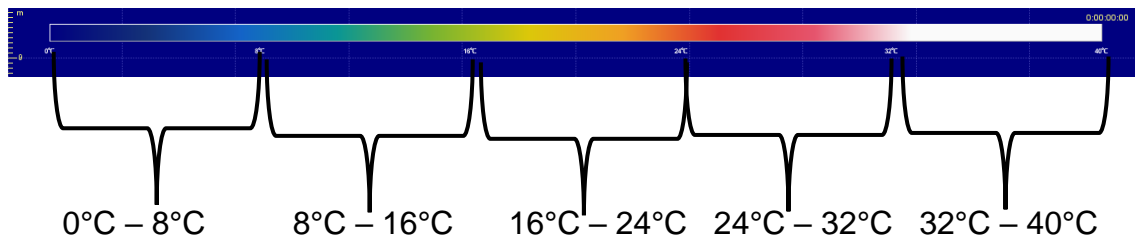


Figura 3.10 Escala de colores que se presentan en el panel de simulación de acuerdo con el incremento de temperatura.

En la figura 3.9 el único caldero que estaba en funcionamiento, con sus respectivas tuberías, se presentan de color blanco porque se les definió como fuentes de calor y están a una temperatura mayor a 24 °C. Los calderos fuera de funcionamiento tienen un color gris porque no emiten ningún tipo de energía.

Una vez conocida la situación inicial en la figura 3.9, se realizó una nueva simulación en la aplicación Energy 2D, pero agregando a la situación inicial las

figuras que representan la fibra de vidrio y la lámina de aluminio. Cada una de estas estructuras tienen propiedades térmicas que se usaron como datos de entrada para la simulación. Esta información se obtuvo de fichas técnicas de cada material de (Kraft, 2017) y del trabajo Aislantes térmicos: Criterios de selección por requisitos energéticos de (Palomo, 2017). Los datos de entrada de cada material aislante se muestran en la tabla 3.4 a continuación:

Tabla 3.4 Datos de entrada correspondientes a la fibra de vidrio para realizar la simulación

FIBRA DE VIDRIO	Datos de entrada
Conductividad térmica	0,03 W/mK
Densidad	20 kg/m ³
Espesor	6 cm
LÁMINA DE ALUMINIO	Datos de entrada
Conductividad térmica	230 W/mK
Calor específico	0,980 J/kgK
Densidad	2,7 kg/m ³
Espesor	2 mm

Para diferenciar las estructuras que representan los aislantes térmicos en el panel de simulación se les asignó un color distintivo. La fibra de vidrio se representó de color celeste y para la lámina de aluminio se usó el color negro para distinguir el recubrimiento.

Una vez realizados estos cambios en la situación inicial se ejecutó la simulación y se obtuvo la figura 3.11:

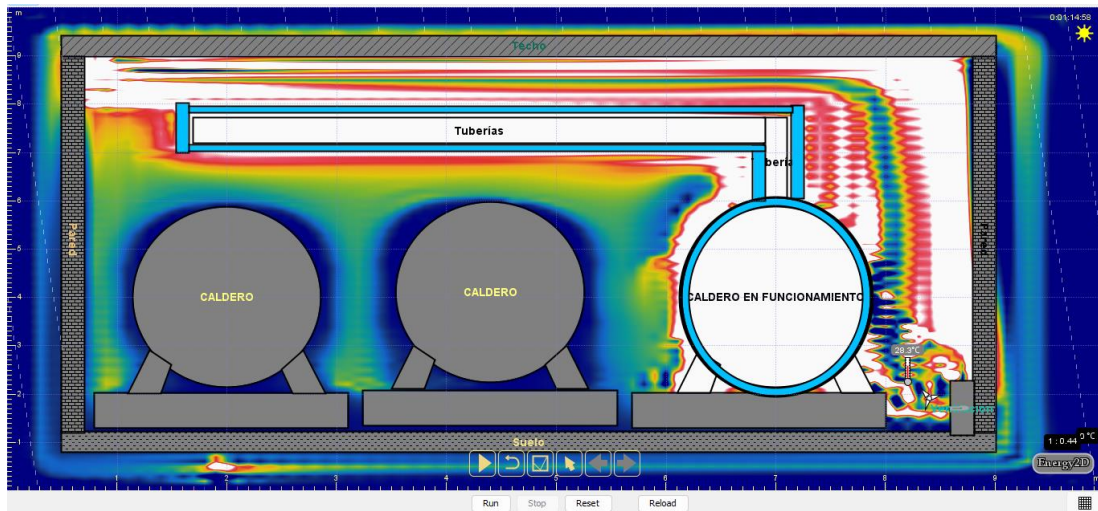


Figura 3.11 Simulación del escenario esperado luego de la aplicación de medidas de control en la fuente

En la figura 3.11 se observa un cambio de colores de acuerdo con el mismo criterio de variación de temperatura que se indica en la escala de la figura 3.10.

Cuando se realizó la simulación de la situación inicial se colocó un termómetro simulado a una distancia de 1,2 metros del suelo. Este termómetro se mantuvo en la misma posición cuando se ejecutó la simulación con los aislamientos térmicos.

La simulación se ejecutó hasta que se observó un cambio de 1°C en las mediciones de temperatura como se muestra en la figura 3.12 :

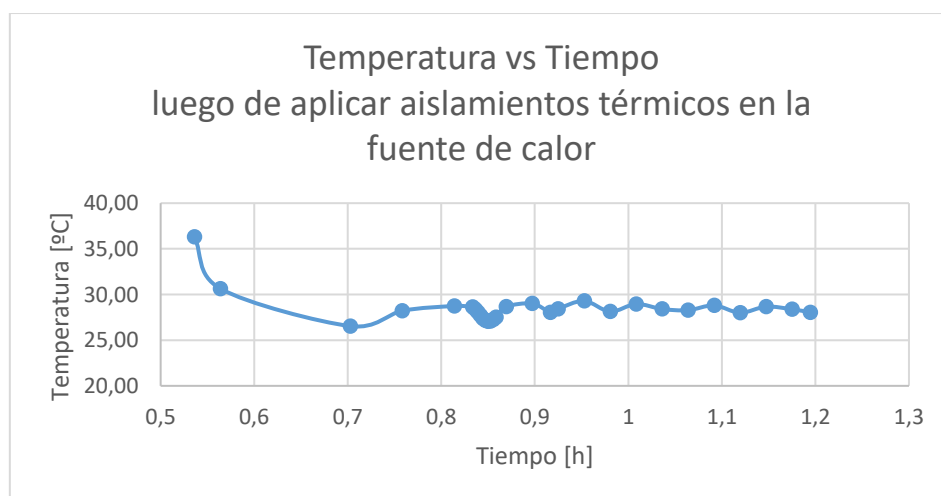


Figura 3.12 Gráfica Temperatura vs Tiempo de la simulación luego de colocar los aislamientos térmicos en las fuentes de calor.

En la figura 3.12 se observa una estabilización de la temperatura a partir del $t=0,96$ horas. El rango de temperatura luego de este tiempo fue de 28°C a 29°C , con una desviación estándar de $\pm 0,37^{\circ}\text{C}$. Antes de colocar los aislamientos la temperatura reportada fue de 34°C a 35°C con una desviación estándar de $\pm 1,33^{\circ}\text{C}$ (Ver figura AIV 1); por lo que se puede decir que la temperatura ambiental con aislamientos térmicos en la fuente disminuyó en relación con la situación inicial.

Los datos completos de la estabilización de temperatura luego de aplicar los aislamientos se encuentran en el anexo V. De este grupo de datos se obtuvo una temperatura del ambiente promedio de $28,55^{\circ}\text{C} \pm 0,37^{\circ}\text{C}$. Este valor corresponde a la temperatura de bulbo seco (TA_2). A partir de este valor se evaluó nuevamente el riesgo de estrés térmico mediante el cálculo del índice WBGT pero con el uso de aislamientos térmicos en las fuentes de calor. De aquí en adelante el índice WBGT calculado luego de aplicar las medidas de control en la fuente se le denominará como $WBGT_2$.

Este índice $WBGT_2$ se calculó con la ecuación 2.1. En esta ecuación se necesitan los valores de temperatura húmeda natural THN_2 (o temperatura de bulbo húmedo) y la temperatura de globo TG_2 . El valor de THN_2 fue de $18,2^{\circ}\text{C}$ y se obtuvo de la carta psicrométrica.

Para conocer la temperatura de globo TG_2 se realizó una extrapolación de los datos de la tabla 3.2 en donde se detallan los datos de temperatura obtenidos del medidor de estrés térmico. De este grupo de datos se eligió los valores próximos al valor de temperatura de bulbo seco (TA_2) obtenido en la simulación discutida en párrafos anteriores. Los valores usados en la extrapolación se muestran en la tabla 3.5; mientras que el desarrollo de la extrapolación se encuentra en el anexo VI.

Tabla 3.5 Datos usados para obtener la temperatura de globo mediante extrapolación.

Temperatura de bulbo seco [Ts]	Temperatura de globo [Tg]	
TA ₂ = 28,55 °C	TG ₂ =?	
33,64 °C	35,80 °C	Datos obtenidos con el medidor de estrés térmico
35,64 °C	37,86 °C	

El resultado de la extrapolación fue 30,58 °C que corresponde a la temperatura de globo TG₂. Finalmente, con los datos de TG₂ y THN₂ se calculó el WBGT₂ con la ecuación 2.1 obteniendo como resultado 21,91 °C. Los datos para el desarrollo de este cálculo se encuentran en la Tabla AVI.2.

Al comparar los valores WBGT antes de colocar los aislamientos con el índice WBGT₂, es decir después de la simulación de transferencia de calor con la colocación de los aislantes térmicos en la fuente, se puede observar que WBGT es mayor a WBGT₂, esto indica que el riesgo de estrés térmico disminuye cuando se coloca la fibra de vidrio más una lámina de aluminio como barrera para aislar térmicamente las fuentes de calor. La comparación de estos resultados se puede observar en la tabla 3.6 a continuación:

Tabla 3.6 Resultados del índice WBGT antes y después de la simulación con las medidas de control en la fuente

	SITUACIÓN INICIAL	SITUACIÓN FINAL 2
Gasto metabólico [kcal/h]	147,16	147,16
WBGT calculado	WBGT =30,40 °C	WBGT ₂ = 21,91 °C
WBGT limite NTP 322	30°C	30°C
Dosis	101%	73%
Riesgo	R= Alto	R ₂ = Medio

Como se observa en la tabla anterior el índice WBGT₂ calculado luego de la simulación es menor a los valores límites permisibles de temperatura recomendados en la NTP 322. Adicionalmente al realizar el cálculo de la dosis, como se explicó en el apartado 3.3, se obtuvo un resultado igual a 73% que nos

indica que luego de aplicar los aislamientos térmicos en las fuentes de calor, el riesgo térmico al que están expuestos los calderistas disminuyó desde alto a medio.

El cálculo del WBGT₂ muestra una temperatura en la sala de máquinas de 21,91°C luego de aplicar los aislamientos; al comparar este resultado con los datos de la Evaluación del bienestar térmico en locales de trabajo cerrados de (Armendáriz, 2018), en donde indica que el rango de temperatura aceptable está entre 14 °C y 25 °C; se puede indicar que, con la colocación del aislamiento térmico propuesto en las fuentes de calor, se podría lograr un ambiente térmico recomendado para el desarrollo de las actividades laborales de los calderistas.

3.4.2 MEDIDAS DE CONTROL EN EL MEDIO.

Con esta propuesta, se buscó separar las fuentes de calor, de las zonas de tránsito de los trabajadores. Este objetivo se logró mediante el diseño de una pared que tenía una resistencia térmica suficiente al paso del calor y, con esto, evitar cambios bruscos de temperatura, tanto al ingresar al área de calderos como luego al salir nuevamente de esta área, durante los descansos.

El diseño de esta pared contempla una estructura de perfiles de acero sobre la cual se fijaron dos placas de yeso laminado en los perfiles de la estructura; para mejorar el aislamiento térmico, entre ambas placas se colocó paneles de un material aislante; en este caso el poliestireno expandido.

De acuerdo con el MANUAL TÉCNICO INSTALACIÓN DE SISTEMAS EN PLACAS DE YESO (Gyptec Iberica, 2017) las láminas de yeso laminado son cada vez más utilizados en la construcción de tabiques para interiores. Entre las cualidades que tiene este material están: es un material reciclable, tienen diferentes tipos de bordes que se ajustan a las necesidades de construcción, buena resistencia a la flexión, alta dureza superficial, absorbe o libera humedad de acuerdo con el porcentaje de humedad del ambiente, tiene estabilidad dimensional porque es un material prácticamente inerte y además es un material

incombustible.

En cuanto al poliestireno expandido se debe mencionar que: es un termoplástico muy versátil, que funciona como un excelente aislante térmico y acústico porque contiene hasta un 98% de aire encapsulado. Este material tiene las siguientes propiedades que lo hacen la mejor opción para el presente trabajo: es dúctil, absorbe energía producida por golpes o vibraciones, es completamente inerte a los metales, resiste a la intemperie, no se enmohece, ni se descompone (Billmayer, 1975), (ANAPE, 2022).

Al igual que como se procedió en el apartado 3.4.1 se analizó las condiciones de temperatura en el medio laboral simulado luego de colocar la pared de yeso laminado estándar tipo A en la aplicación de simulación Energy 2D.

Primero se representó la situación inicial en la aplicación de simulación Energy 2D sin colocar la pared de yeso laminado más los paneles de poliestireno expandido. Esta situación inicial se muestra la figura 3.13 que se presenta a continuación:

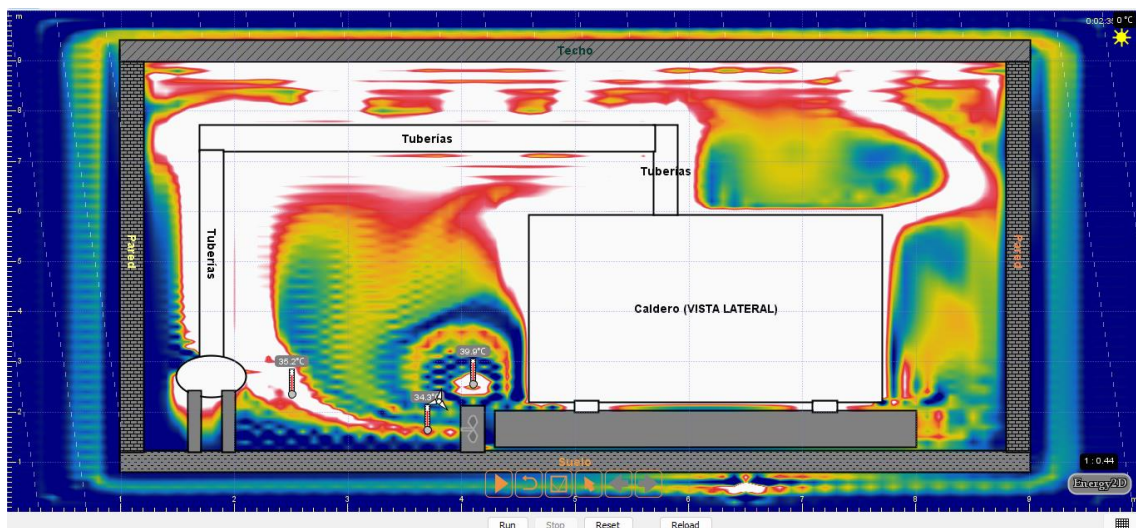


Figura 3.13 Simulación de la situación inicial sin medidas de control en el medio

Al igual que en la figura 3.9, en la figura 3.13 el caldero que estaba en funcionamiento, con sus respectivas tuberías, se representan de color blanco porque son una fuente de calor y además están a una temperatura mayor a 24 °C. Los colores que se observan en la figura 3.13 van cambiando de acuerdo

con la variación de temperatura que se indica en la escala de la figura 3.10.

Luego de conocer la situación inicial en la figura 3.13 se realizó una nueva simulación en la aplicación Energy 2D, pero con figuras que representan las láminas de yeso y las placas de poliestireno expandido. Cada una de estas estructuras tienen propiedades térmicas que se usaron como datos de entrada para la simulación. Esta información se obtuvo de fichas técnicas en (Gyptec Iberica, 2017) para el caso de las láminas de yeso y de la ficha técnica de (IDAE, 2007) para las placas de poliestireno expandido. Los datos de entrada de cada material aislante se muestran en la tabla 3.7 a continuación:

Tabla 3.7 Datos de entrada correspondientes a las láminas de yeso y a las placas de poliestireno expandido para realizar la simulación

LÁMINAS DE YESO	Datos de entrada
Conductividad térmica	0,21 W/mK
Densidad	700 kg/m ³
Espesor	18 mm
PLACAS DE POLIESTIRENO EXPANDIDO	Datos de entrada
Conductividad térmica	0,038 W/mK
Densidad	15 kg/m ³
Espesor	50 mm

Para diferenciar las estructuras que representan las láminas de yeso y las placas de poliestireno se les asignó una textura y un color distintivo. La lámina de yeso se representó de color celeste y el panel de poliestireno que estaba entre estas láminas se representó de color morado.

Una vez realizados estos cambios en la situación inicial se ejecutó la simulación y se obtuvo la figura 3.14:

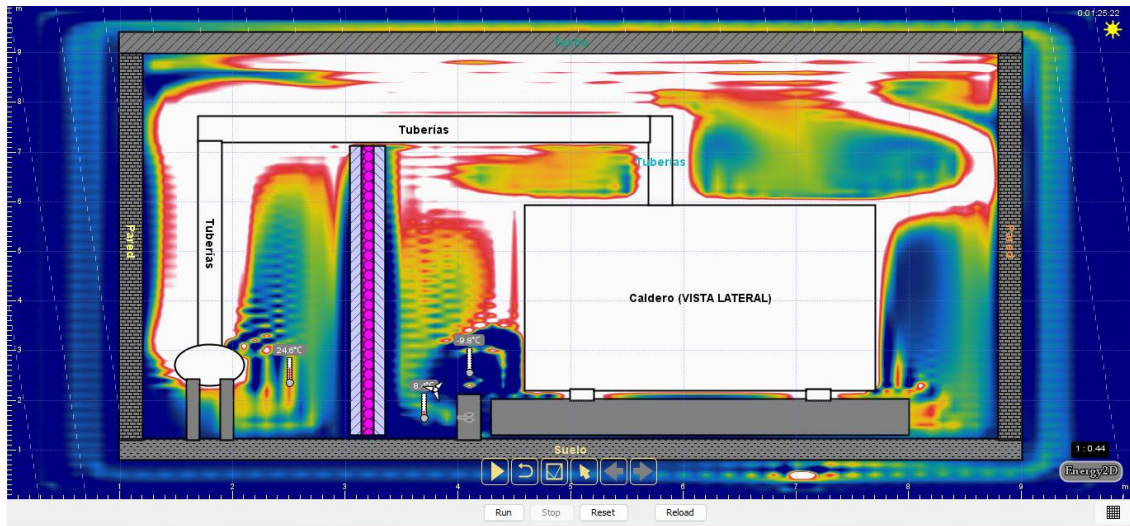


Figura 3.14 Simulación de la situación esperada luego de la aplicación de medidas de control en el medio.

En este caso de simulación, se usó la vista lateral del caldero, de las tuberías y de la pared compuesta por las láminas de yeso y una placa de poliestireno expandido, para un mejor entendimiento de la transferencia de calor a través de superficies planas.

En la figura 3.14 se observa un cambio de colores de acuerdo con el mismo criterio de variación de temperatura que se indica en la escala de la figura 3.10.

De la simulación de transferencia de calor a través de la pared aislante, se utilizó los datos de temperatura del termómetro que se encuentra al lado izquierdo de la pared que separó la fuente de calor del medio laboral, porque en este lugar es en donde los trabajadores transitan y realizan la mayor parte de sus actividades. De este análisis se obtuvo la figura 3,15 que se muestra a continuación:

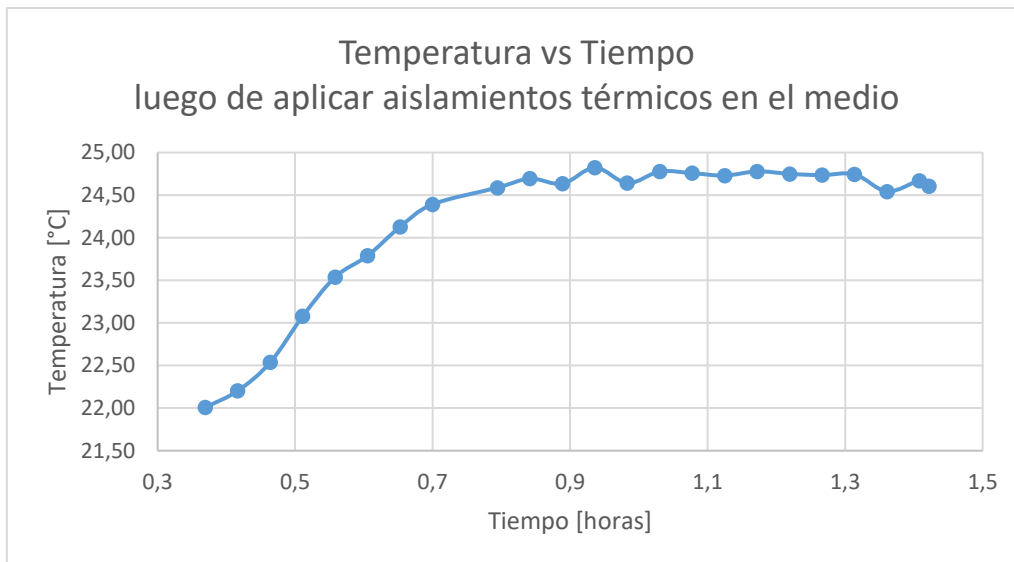


Figura 3.15 Gráfica Temperatura vs Tiempo de la simulación de transferencia de calor a través de una pared

En la figura 3.15 se observa un cambio de temperatura de 2°C a partir de $t = 1,28$ horas. El rango de temperatura luego de este tiempo fue de 22 °C a 24 °C. Este rango de temperatura estuvo entre los valores más altos reportados y se usaron porque para el análisis de estrés térmico siempre debe tomar en cuenta el escenario más exigente; es decir la temperatura más alta que podría hacer del ambiente laboral un lugar con temperaturas desfavorables para el trabajador.

En la figura 3.15 se observa también que el aire caliente se dirige hacia la parte superior de las instalaciones de los calderos porque el aire caliente es menos denso que el aire frío y tiende a subir; además la presencia de la barrera térmica en el medio laboral evitó el sobrecalentamiento de las zonas de tránsito de los trabajadores.

Antes de colocar la barrera térmica en el medio laboral la temperatura reportada osciló entre 34 °C a 35 °C, incertidumbre de $\pm 1,33^{\circ}\text{C}$, incluso llegando hasta picos de 39 °C (Ver figura AVII.1); ante lo expuesto anteriormente se puede decir que la temperatura ambiental luego de la colocación de una barrera térmica disminuyó en relación con la situación inicial.

Los datos completos de los cambios de temperatura luego de aplicar los

aislamientos se encuentran en el anexo VII. De este grupo de datos se obtuvo una temperatura del ambiente promedio de $24,18 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,87^{\circ}\text{C}$. Este valor corresponde a la temperatura de bulbo seco (TA_3). A partir de este valor se evaluó nuevamente el riesgo de estrés térmico mediante el cálculo del índice WBGT cuando se colocó una barrera térmica entre las fuentes de calor y el medio laboral en donde se desempeñan los calderistas. De aquí en adelante el índice WBGT calculado luego de aplicar las medidas de control en el medio se le denominará como $WBGT_3$.

Este índice $WBGT_3$ se calculó con la ecuación 2.1. En esta ecuación se necesitan los valores de temperatura húmeda natural THN_3 (o temperatura de bulbo húmedo) y la temperatura de globo TG_3 . El valor de THN_3 que fue igual a $15,8^{\circ}\text{C}$ y se obtuvo de la carta psicrométrica.

Para conocer la temperatura de globo TG_3 se realizó una interpolación de los datos de la tabla 3.2 en donde se muestran los valores de temperatura obtenidos del medidor de estrés térmico. De este grupo de datos se eligió los valores próximos al valor de temperatura de bulbo seco (TA_3) obtenido en la simulación discutida en párrafos anteriores. Los valores usados en la interpolación se muestran en la tabla 3.8; mientras que el desarrollo de la interpolación se encuentra en el anexo IX.

Tabla 3.8 Datos usados para obtener la temperatura de globo mediante interpolación.

	Temperatura de bulbo seco [T_s]	Temperatura de globo [T_g]
Datos obtenidos del medidor de estrés térmico	23,95	29,32
	$TA_3 = 24,18$	$TG_3 = ?$
Datos obtenidos del medidor de estrés térmico	24,58	29,88

El resultado de la interpolación fue $29,52 \text{ }^{\circ}\text{C}$ que corresponde a la temperatura

de globo TG_3 . Finalmente, con los datos de TG_3 y THN_3 se calculó el $WBGT_3$ con la ecuación 2.1 obteniendo como resultado $19,92\text{ }^\circ\text{C}$. Los datos para el desarrollo de este cálculo se encuentran en la tabla AIX.2 del anexo IX.

Al comparar los valores WBGT sin el uso de una barrera térmica en el medio laboral con el índice $WBGT_3$ se puede observar que WBGT es mayor a $WBGT_3$, esto indica que el riesgo de estrés térmico disminuye cuando se coloca una pared compuesta de dos láminas de yeso, entre las cuales está una placa de poliestireno expandido. Esta barrera sirve para separar las fuentes de calor del medio en donde transitan los trabajadores. La comparación de estos resultados se puede observar en la tabla 3.9 a continuación:

Tabla 3.9 Resultados del índice WBGT antes y después de la simulación con las medidas de control en el medio

	CONDICIÓN INICIAL	CONDICIÓN FINAL 3
Gasto metabólico [kcal/h]	147,16	147,16
WBGT medido	WBGT =30,4	$WBGT_3=19,92$
WBGT limite 2393	30	30
Dosis	101%	66%
Riesgo	Alto	Medio

Como se observa en la tabla anterior el índice $WBGT_3$ calculado luego de la simulación es menor a los valores límites permisibles de temperatura recomendados en la NTP 322. Adicionalmente al realizar el cálculo de la dosis, como se explicó en el apartado 3.3, se obtuvo un resultado igual a 66% que nos indica que luego de colocar una barrera térmica en el medio laboral, el riesgo térmico al que están expuestos los calderistas disminuyó desde alto a medio.

3.4.3 CÁLCULO DE UN REGIMEN DE TRABAJO DESCANSO

De manera complementaria a las medidas de control en las fuentes de calor y en el medio laboral, analizadas anteriormente para reducir el riesgo térmico; se elaboró el régimen de trabajo – descanso denominado como (ft) con la ecuación

2.3 y con los datos de la tabla 3.10 de la siguiente manera:

Tabla 3.10 Datos para el desarrollo del cálculo del régimen trabajo – descanso sugerido para los operadores de calderos.

Parámetros requeridos para elaborar el régimen trabajo - descanso			Fuente
A) Límite en descanso	WBGT=	33 °C	Dato de la tabla 1.2
B) Zona descanso	WBGT=	29 °C	Dato del medidor de estrés térmico
C) Zona trabajo	WBGT=	30,40 °C	Dato calculado
D) Límite en el trabajo ISO 7243	WBGT=	30 °C	Dato de la tabla 1.2

Estos valores de A, B, C, D se sustituyeron en la ecuación 2.3 como se muestra a continuación:

$$ft = \frac{(A-B)}{(C-D)+(A-B)} \times 60 \text{ (minutos/hora)}$$

$$ft = \frac{(33-29)}{(30,40-30)+(33-29)} \times 60 \text{ (minutos/hora)}$$

$$ft = 54,5 \left(\frac{\text{minutos}}{\text{hora}} \right) \cong 54 \text{ minutos de trabajo y los 6 restantes son para descanso}$$

El resultado de $ft= 54$ minutos/hora nos indica que por cada hora de trabajo durante la jornada laboral se recomienda a los operarios realizar sus diferentes actividades durante 54 minutos y luego tener una pausa de al menos 6 minutos en la zona de descanso. De acuerdo con las recomendaciones del Decreto Ejecutivo 2393 (IESS, 2011) cuando la carga de trabajo es liviana, cada hora durante la jornada debe dividirse en 75% de la hora para trabajo continuo y el 25% restante debe destinarse para el descanso.

De acuerdo con el análisis del puesto de trabajo de los calderistas, las actividades que realizan dentro de la sala de máquinas les toma casi más de dos horas de trabajo continuo. Es por esto que de acuerdo a las recomendaciones del Decreto Ejecutivo 2393 y con el resultado del cálculo de ft , los calderistas deberían realizar sus labores dentro de la sala de máquinas hasta por 45 minutos

y hasta un máximo de 54 minutos y no omitir el tiempo de descanso recomendado puesto que actualmente las actividades dentro de la zona de estudio se realizan por casi más dos horas ininterrumpidamente.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- El análisis del índice WBGT en el medio laboral donde se desempeñan los calderistas permitió concluir que existe riesgo de estrés térmico de medio a alto en la sala de calderos; esto debido a las incertidumbres en las mediciones de temperatura.
- El tipo de actividad que realizan los calderistas es ligera porque no implica el traslado ni levantamiento de cargas, ni la realización de actividades en posiciones forzosas, el análisis del tipo de actividad con su respectiva duración permitió conocer que el gasto metabólico para este tipo de trabajadores fue de 147,16 kcal/h.
- Los aislamientos térmicos en las fuentes de calor permitieron disminuir la temperatura del medio laboral, con estas medidas de control en la fuente se pudo disminuir el riesgo de estrés térmico desde alto hasta medio.
- La barrera térmica colocada entre las fuentes de calor y el medio por donde transitan los trabajadores permitió controlar el paso de calor hacia estas zonas de tránsito, debido a que el aire caliente acumulado se elevaba y se alejaba de estas zonas.
- La duración de las actividades de los calderistas dentro de las instalaciones es mayor a la recomendada por el cálculo del régimen trabajo – descanso, por lo cual se está sobreexponiendo al personal a temperaturas elevadas.
- Aunque el tipo de trabajo de los calderistas es ligero el régimen trabajo – descanso muestra la necesidad de hacer pausas y descansos breves por cada hora de trabajo. Estas pausas son importantes para permitir que el

cuerpo se refresque y que la temperatura corporal del trabajador no se eleve hasta límites peligrosos.

RECOMENDACIONES

- Evaluar el índice WBGT de la sala de máquinas cuando estén en funcionamiento los tres calderos y para cada jornada de trabajo, es decir durante el día y la noche.
- Evaluar la incidencia de la velocidad del aire en el análisis del índice WBGT; es decir tomar las mediciones de temperatura con la compuerta de ventilación completamente abierta.
- Analizar la relación entre el grosor de las placas de fibra de vidrio con la disminución del riesgo de estrés térmico, así como también la factibilidad del uso de otros materiales aislantes.
- Estudiar la posibilidad de automatizar los procesos de apertura de válvulas de vapor para así evitar ingresos reiterados a zonas con altas temperaturas.

BIBLIOGRAFÍA

- ANAPE. (2022). *Propiedades biológicas del EPS*. Propiedades Biológicas Del EPS. Recuperado de: <https://anape.es/producto/> (Diciembre, 2022)
- Armendáriz, P. (2018). Evaluación del Bienestar Térmico en Locales de Trabajo Cerrados Mediante los Índices Térmicos PMV y PPD. *Centro Nacional de Nuevas Tecnologías*, 2–16. Recuperado de : [https://www.insst.es/documents/94886/0/Evaluación+del+Bienestar+térmico+en+locales+de+trabajo+cerrados+mediante+los+índices+térmicos+PMV+y+PPD/f21b631c-4495-4556-a53a-2c85949a209e#:~:text=\(*\)+La+Guía+Técnica+del,+y+27+°C+en+verano.&text=Real+Decreto+486%2F](https://www.insst.es/documents/94886/0/Evaluación+del+Bienestar+térmico+en+locales+de+trabajo+cerrados+mediante+los+índices+térmicos+PMV+y+PPD/f21b631c-4495-4556-a53a-2c85949a209e#:~:text=(*)+La+Guía+Técnica+del,+y+27+°C+en+verano.&text=Real+Decreto+486%2F) (Diciembre, 2022)
- Armstrong, L. E. (1998). Acimatación al Calor. *Encyclopedia of Sports Medicine and Science*, 1–5. Recuperado de: <https://g-se.com/acimatacion-al-calor-147-sa-g57cfb271099ec> (Octubre, 2022)
- Billmayer, F. (1975). *Ciencia de los polímeros*. Recuperado de: https://www.google.com.ec/books/edition/Ciencia_de_los_polímeros/Fe0FEAAQBAJ?hl=es&gbpv=1&dq=poliestireno&pg=PA412&printsec=frontcover (Enero, 2023)
- Blasco, R. (2015). Basal Metabolic Rate; evaluation methods and applications. *Nutricion Hospitalaria*, 21(1), 243–251. Recuperado de: <https://doi.org/10.14642/RENC.2015.21.sup1.5071> (Noviembre, 2022)
- Chica, G. (2016). *Implementación De Medidas En Prevención Y Control Del Riesgo Estrés Térmico En La Planta De Utilidades De La Refinería De Esmeraldas*. (Proyecto de titulación previo a la obtención del título de Magister en Seguridad Industrial y Salud Ocupacional no publicado). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.

Coss, R. (2003). *Simulación. Un enfoque práctico*. Noriega Editores. Recuperado de:

<https://books.google.com.py/books?id=iY6dI3E0FNUC&printsec=copyright#v=onepage&q&f=false> (Noviembre, 2022)

Falagan, M. (2005). *Higiene Industrial Aplicada "Ampliada."* Recuperado de: <https://es.scribd.com/document/231768694/17-Higiene-Industrial-Aplicada-Ampliada> (Diciembre, 2022)

Floría, P. (2007). *Gestión de la Higiene Industrial de la Empresa*. Recuperado de: https://www.google.com.ec/books/edition/Gesti3n_de_la_higiene_industrial_en_la/dXmm_dQ4GdAC?hl=es&gbpv=1&dq=calor+metabolico&pg=PA428&printsec=frontcover (Diciembre, 2022)

González, D. (2007). *Ergonomía y Psicología* (F. Confemetal (ed.)). Recuperado de: https://www.google.com.ec/books/edition/Ergonomía_y_psicología/oDBwCTg13HIC?hl=es&gbpv=1&dq=temperatura+de+globo&pg=PA409&printsec=frontcover (Noviembre, 2022)

Gutierrez, R., Guerra, K., & Gutierrez, M. (2018). *Evaluación de Riesgo por Estrés Térmico en Trabajadores de los Procesos de Incineración y Secado de una Empresa de Tableros Contrachapados*. Recuperado de: https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642018000300133 (Marzo, 2022)

Gyptec Iberica. (2017). *Manual técnico de instalación de sistema en placas de yeso*. 136. Recuperado de: https://gyptec.eu/es/documentos/Gyptec_ManualTecnico_2edicion.pdf (Agosto, 2022)

Henao, F. (2008). *Riesgos físicos III: Temperaturas extremas y ventilación* - Página 44. Recuperado de: <https://books.google.com.co/books?id=otg3DgAAQBAJ&printsec=copyright#v=onepage&q&f=false> (Noviembre, 2022)

IDAE (2007). *Guía Técnica para la Rehabilitación de la Envolvente Térmica de los Edificios Soluciones con Aislamiento de Poliéstireno Expandido (EPS)*. 1–67. Recuperado de: www.idae.es (Diciembre, 2022)

IESS. (2011). Decreto Ejecutivo 2393 REGLAMENTO DE SEGURIDAD Y SALUD DE LOS TRABAJADORES Y MEJORAMIENTO DEL MEDIO AMBIENTE DE TRABAJO. *less*, 2–94.

Incropera, F., & Witt, D. De. (1999). *Fundamentos de transferencia de calor*. (4ta ed.). México. Pearson.

INSHT. (1991). *NTP 323: Determinación del metabolismo energético*.

Kraft, R.-C. O. N. P. (2017). *Aislante De Fibra De Vidrio*. 95–96. Recuperado de: www.knauf.mx (Octubre, 2022)

LLaneza, J. (2008). *Ergonomía y psicología aplicada*. Recuperado de: https://books.google.com.ec/books?id=KOoQjcw2ZZUC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_vpt_read#v=onepage&q&f=false (Noviembre, 2022)

Mondelo, P. (2004). *Ergonomía 2: Confort y estrés térmico* (U. P. de C. I. D. Politecnica (ed.)). Recuperado de: <https://books.google.es/books?id=dEFpBgAAQBAJ&lpg=PP2&ots=5PISP-9abO&dq=estrés térmico&hl=es&pg=PP2#v=onepage&q=estrés térmico&f=false> (Septiembre, 2022)

OIT. (2018). Ecuador y el Trabajo Decente. *Organizacion Internacional Del Trabajo*. Recuperado de: https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---americas/---ro-lima/documents/publication/wcms_644921.pdf (Enero, 2022)

- OIT. (2019). *Trabajar en un planeta MÁS CALIENTE El impacto del estrés térmico en la productividad laboral y el trabajo decente*. Recuperado de: https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---dgreports/---dcomm/---publ/documents/publication/wcms_768707.pdf (Abril, 2022)
- Ortiz, B. (2013). *Estimación de la exposición a los factores de riesgo laboral y su posible asociación con las variables socio-demográficas en los servidores administrativos de la Universidad Central del Ecuador*. (Informe Final del Trabajo de Postgrado, previo a la obtención del Título de Magister en Seguridad y Salud Laboral no publicado) Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador.
- OSALAN. (n.d.). *Estrés térmico, recomendaciones*. Recuperado de: https://www.osalan.euskadi.eus/contenidos/nota_prensa/recomendaciones_estres_termico/es_notas1/adjuntos/recomendaciones_estres_termico.pdf (Julio, 2022)
- Palomo, M. (2017). Aislantes térmicos: Criterios de selección por requisitos energéticos. *Universidad Politécnica De Madrid*, 65. Recuperado de: http://oa.upm.es/47071/1/TFG_Palomo_Cano_Marta.pdf (Octubre, 2022)
- 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*. (Trabajo estructurado de manera independiente previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico no publicado) Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador.

- Rubio, D. (2015). *DETERMINANTES DE RIESGO Y EXPOSICIÓN A CARGA TÉRMICA EN LOS TRABAJADORES DEL ÁREA DE CUARTOS FRÍOS EN UNA EMPRESA FAENADORA DE POLLOS*. 120(11), 259. (Tema de trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al grado de Magister en Seguridad y Prevención de Riesgos del Trabajo no publicado) Universidad Técnica Equinoccial, Quito, Ecuador.
- Sánchez, J. A. (2015). El Estrés Térmico Laboral: ¿Un Nuevo Riesgo con Incidencia Creciente? *Salud Ocupacional*, 5(3), 5–10. Recuperado de: <http://revistasoj.s.unilibrecali.edu.co/index.php/rcso/article/download/258/286> (Septiembre, 2022)
- Sarmiento, G. (2015). *Manual de operación de calderas: Aprende como trabajar con calderas*. Recuperado de: https://www.google.com.ec/books/edition/Manual_de_Operacion_de_Calderas/wx8GswEACAAJ?hl=es (Agosto, 2022)
- Sepúlveda M, D., & Ramírez G, J. (2011). Condiciones de seguridad en calderas de vapor de empresas afiliadas a una administradora de riesgos profesionales en Antioquia, 2009. *Rev. Fac. Nac. Salud Pública*, 29(2), 145–152. Recuperado de: http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-386X2011000200004&script=sci_arttext (Julio 2022)
- Suresh, L. (2019). *Fibra de vidrio*. Recuperado de: [http://147.96.70.122/Web/TFG/TFG/Memoria/LAKSHA SURESH SADHWANI.pdf](http://147.96.70.122/Web/TFG/TFG/Memoria/LAKSHA_SURESH_SADHWANI.pdf) (Octubre, 2022)
- Toro-Cataño, D. A., Ramírez-García, J., & Sepúlveda-Mejía, D. L. (2017). Riesgos ambientales y de seguridad en calderas a carbón de las pequeñas y medianas empresas «PYME», ubicadas en el municipio de Itagüí, Antioquia. *Revista de Salud Pública*, 19(4), 437–445. Recuperado de: <https://doi.org/10.15446/rsap.v19n4.59008> (Diciembre, 2022)

Torres, R., & Grau, J. (2007). *Mecánica de Fluidos y Transferencia de Calor con COMSOL MULTIPHYSICS* (A. S. Científico (ed.)).

Yeison, Picón; Javier, Orozco; Jessica, Molina; Mabel, F. (2020). *Control central de la temperatura corporal y sus alteraciones: fiebre, hipertermia e hipotermia*. 23, 118–130. Recuperado de: <https://docs.bvsalud.org/biblioref/2020/04/1087985/3714.pdf#:~:text=Existe> n mecanismos de regulación que, medio externo y el cuerpo. (Julio, 2022)

ANEXOS

ANEXO I

ENCUESTA REALIZADA A LOS CALDERISTAS PARA CONOCER SU PERCEPCIÓN DE LAS CONDICIONES DE SU PUESTO DE TRABAJO.

ENTREVISTA PARA CONOCER LAS CONDICIONES DE TRABAJO		
Compañía		
Título del puesto		
Departamento/Zona		
Descripción de la tarea		
1 Del lugar de trabajo		
¿Los equipos, mobiliario y herramientas de trabajo son las necesarias y adecuadas para realizar sus labores?	SI	NO
¿El área en donde cumple sus actividades tiene las dimensiones suficientes para facilitar los movimientos que exige el trabajo?	SI	NO

¿Su trabajo le exige mantener posturas incómodas durante un tiempo prolongado?	SI	NO
¿Tiene un área de descanso exclusiva fuera de las instalaciones del cuarto de máquinas?	SI	NO

2 Actividad física general

La intensidad del trabajo que realiza es:	ALTA	MEDIA	BAJA
¿Puede realizar las pausas o descansos que crea convenientes para regular la intensidad del trabajo?	SI	NO	

3 Levantamiento de cargas

¿Su trabajo implica levantamiento y traslado de cargas por encima de sus codos ?	SI	NO
--	----	----

4 Postura de trabajo y movimientos

Elija un nivel del 1 al 4 para la postura de las siguientes partes de su cuerpo mientras realiza sus actividades laborales
Siendo 1 una postura libre y relajada y 5 una postura muy incómoda

Nivel	1 Libre y relajado	2 Postura natural pero limitada	3 Postura en tensión	4 Postura torcida y curvada, los brazos están elevados	5 Postura forzada con ambos brazos elevados
Cuello-Hombros					
Codo - Muñeca					
Espalda					
Caderas - piernas					

5 Riesgo de accidente

¿Cree usted que tiene riesgo de sufrir una lesión repentina durante su turno de trabajo?	SI	NO
¿Cree usted que tiene riesgo de intoxicarse por la inhalación de los gases de combustión de los calderos?	SI	NO

¿Cree usted que tiene riesgo de sufrir caídas o atrapamientos por el desplome de objetos?

SI

NO

6 Contenido de la tarea

¿Cuál es el nivel de responsabilidad que implica su tarea para el correcto funcionamiento de los calderos?

Siendo 1 una responsabilidad alta y de gran repercusión para la empresa y 4 una responsabilidad baja

Nivel				
	2	3		5
1	El trabajador realiza tareas de importancia y valor	El trabajador realiza tareas de importancia pero de menor contenido	El trabajador ejecuta solo una parte del contenido de la tarea	El trabajador ejecuta un tarea simple que no está inmersa en la planificación

7 Grado de autonomía

¿Tiene la facilidad de decidir en cuanto al tiempo para ejecutar sus actividades?

Siendo 1 tener la libertad de elegir el ritmo de trabajo y 4 cuando existe una mayor restricción para realizar las actividades

Nivel				
1	2			
La tarea no se ve restringido por la exigencia de una máquina	La tarea tiene exigencias de manera ocasional y requiere de algo de atención	3	4	5
		La tarea tiene exigencias de forma habitual	La tarea está mayormente restringida por una máquina	La tarea está completamente restringida por una máquina

8 Comunicación del trabajador y contactos personales

¿Tiene facilidad y oportunidad para comunicarse con sus superiores y otros compañeros de trabajo?

Siendo 1 muy alta la probabilidad de comunicarse entre compañeros y 4 cuando las comunicaciones se ven imposibilitadas.

Nivel

1	2	3	4	5
Comunicación fluida y espontánea	Comunicación sin dificultad a excepción de los mensajes complejos	Comunicación posible pero con dificultades	Comunicación ocasional y restringida	Comunicación imposibilitada

9 Toma de decisiones

¿El nivel de formación que tiene le permite tomar decisiones para un correcto funcionamiento de los calderos?

Siendo 1 una buena formación con instrucciones claras y 4 cuando la información e instrucciones son complejas y pueden contener errores

Nivel				
1	2	3	4	5

10 Repetitividad del trabajo

¿Con qué frecuencia se repite un ciclo de trabajo dentro de su jornada laboral?

Siendo 1 cuando el ciclo de trabajo se repite luego de 30 minutos o más y 4 si el ciclo de trabajo se repite con una frecuencia menor a 30 segundos				
Nivel				
1	2	3	4	5
30min	10 - 30 min	5 - 10 min	30 segundos - 5 min	< 30 segundos
11 Atención				
¿Cuál es el grado de atención que requiere sus operaciones como calderista?				
Siendo 1 un grado de atención superficial y 4 cuando se requiere una atención muy grande				
Nivel				
1	2	3	4	5
Superficial	Ligera	Media	Grande	Muy grande

ANEXO II

GRÁFICO DE LAS MEDICIONES DE TEMPERATURA REGISTRADAS POR EL MEDIDOR DE ESTRÉS TÉRMICO

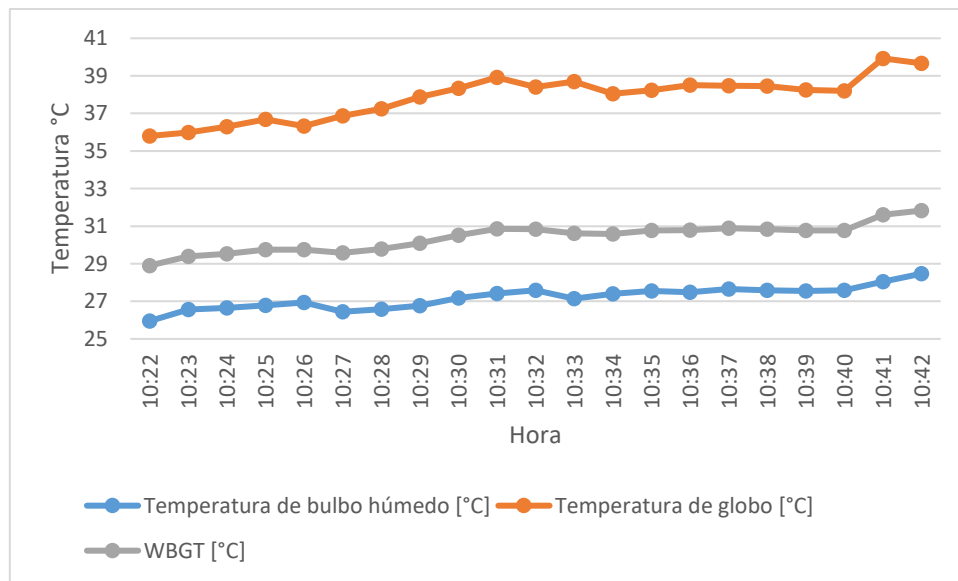


Figura AII.1 Registro de las temperaturas medidas experimentalmente durante el estudio de estrés térmico en la sala de calderos

ANEXO III

CÁLCULO DEL CONSUMO METABÓLICO DEL OPERADOR DE CALDEROS

Tabla AIII.1 Descripción de las actividades realizadas por los calderistas, tiempo de duración y su respectiva estimación de consumo metabólico

Descripción de la actividad	Tipo de actividad	Tiempo que dura la actividad [minutos]	Porcentaje	Estimación del consumo metabólico [kcal/min]
Revisión de válvulas y manómetros	Con dos brazos ligero	2,35	15%	1,5
	Caminando en terreno llano	8,01	51%	2
Registro de novedades	De pie	1,35	9%	0,6
	Con un brazo ligero	0,96	6%	1
Purga	Arrodillado	3,06	19%	0,5
	Total	15,73	100%	

Tabla AIII.2 Desarrollo del cálculo del consumo metabólico que tiene el operador de calderos.

CÁLCULO DEL CONSUMO METABÓLICO	Unidades [kcal/min]	
Con dos brazos ligero	1,5 x 0,15	
Caminando en terreno llano	2 x 0,51	
De pie	0,6 x 0,09	
Con un brazo ligero	1 x 0,06	
Arrodillado	0,5 x 0,19	
Metabolismo basal	1	
Sumatoria	2,45	[kcal/min]
	147,16	[kcal/h]

ANEXO IV

GRÀFICA DE LAS MEDICIONES DE TEMPERATURA EN LA SIMULACIÓN SIN APLICAR LOS AISLAMIENTOS TÈRMICOS

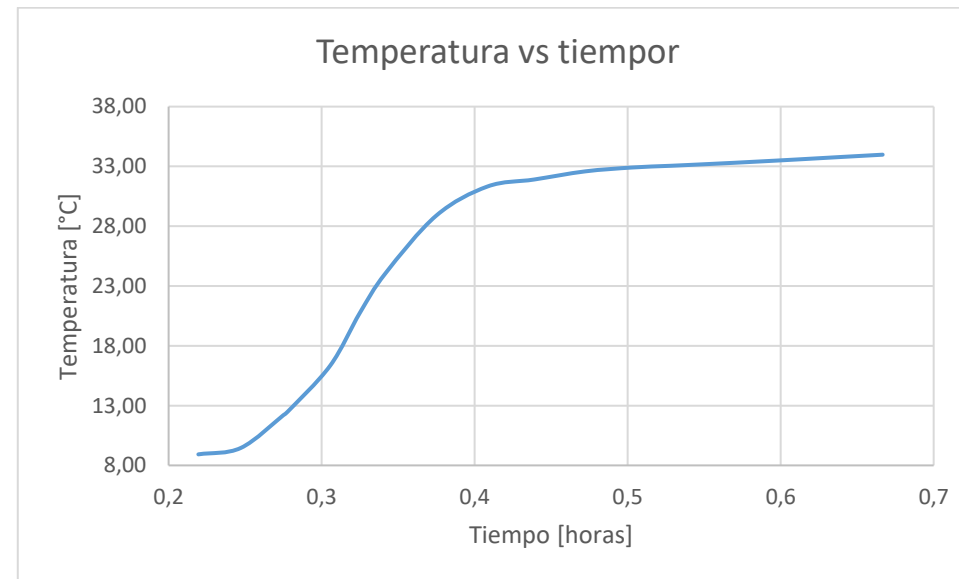


Figura AIV.1. Gráfica de Temperatura vs Tiempos en la simulación antes de aplicar los aislamientos térmicos en la fuente

ANEXO V

DATOS DE LA MEDICIÓN DE TEMPERATURA EN LA SIMULACIÓN LUEGO DE APLICAR LOS AISLAMIENTOS TÉRMICOS

Tabla AV.1. Datos de temperatura registrados por el programa de simulación luego de aplicar los aislamientos térmicos en la fuente.

Nro de medición	Tiempo [horas]	Temperatura [°C]
1	0,81	28,145317
2	0,81	28,739325
3	0,82	29,048565
4	0,83	29,065296
5	0,83	28,650820
6	0,88	29,118322
7	0,92	28,056183
8	0,96	29,080751
9	0,98	28,161106
10	1,00	28,678568
11	1,02	28,988043
12	1,04	28,191933
13	1,06	28,186462
14	1,08	28,856684
15	1,10	28,467855
16	1,13	28,028126
17	1,14	28,598507
18	1,17	28,633663
19	1,18	28,147848
20	1,20	28,183384
21	1,22	28,651247
22	1,25	28,394667
	Promedio	28,548758 ±0,37

ANEXO VI

EXTRAPOLACIÓN Y CÁLCULO DE ÍNDICE WBGT LUEGO DE LA SIMULACIÓN DE LAS MEDIDAS DE CONTROL EN LA FUENTE

Tabla AVI.1. Datos usados para obtener la temperatura de globo mediante extrapolación de los datos obtenidos luego de la simulación de las medidas de control

Temperatura de bulbo seco [Ts]	Temperatura de globo [Tg]
28,55 °C	?
33,64 °C	35,80 °C
35,64 °C	37,86 °C

Desarrollo del cálculo de la extrapolación.

$$\frac{(X - 35,80)}{(28,55 - 33,64)} = \frac{(35,80 - 37,86)}{(33,64 - 35,64)}$$

$$X = 35,80 - \frac{(-5,09)(-2,06)}{(-2,01)}$$

$$X = 30,58 \rightarrow \text{Temperatura de globo luego de la simulación.}$$

Con este valor se realizó el siguiente cálculo de índice WBGT.

Tabla AVI.2 Datos y desarrollo del cálculo del nuevo índice WBGT luego de la simulación de las medidas de control en la fuente.

Temperatura de bulbo seco [Ts]	28,55 °C
Temperatura de bulbo húmedo [Th]	18,2 °C
Temperatura de globo [Tg]	30,58 °C
WBGT=0,7(18,20)+0,3(30,58)	
WBGT	21,91 °C

ANEXO VII

GRÀFICA DE LAS MEDICIONES DE TEMPERATURA EN LA SIMULACIÓN SIN COLOCAR UNA PARED QUE SEPRE LAS FUENTES DE CALOR DEL MEDIO LABORAL

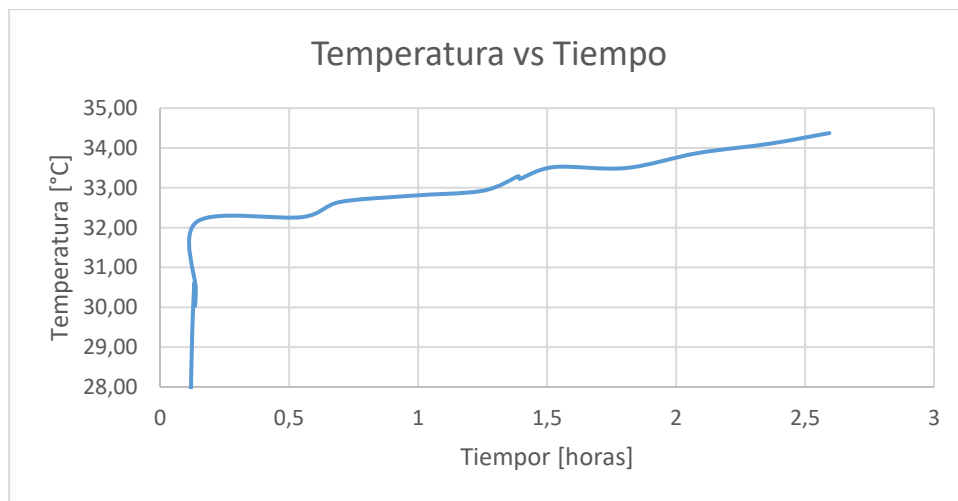


Figura AVII.1. Gráfica de temperatura vs tiempo en la simulación sin aplicar los aislamientos térmicos en el medio

ANEXO VIII

DATOS DE LA MEDICIÓN DE TEMPERATURA EN LA SIMULACIÓN LUEGO DE APLICAR UNA BARRERA COMO AISLAMIENTO TÉRMICO EN EL MEDIO LABORAL

Tabla AVIII.1. Datos de temperatura registrados por el programa de simulación luego de aplicar los aislamientos térmicos en el medio.

Nro de medición	Tiempo [horas]	Temperatura [°C]
1	0,37	22,008314
2	0,42	22,203485
3	0,46	22,537275
4	0,51	23,079210
5	0,56	23,539260
6	0,61	23,789093
7	0,65	24,128845
8	0,70	24,391817
9	0,75	24,193914
10	0,79	24,587902
11	0,84	24,693710
12	0,89	24,634127
13	0,94	24,823364
14	0,98	24,641006
15	1,03	24,777410
16	1,08	24,757858
17	1,13	24,729832
18	1,17	24,779066
19	1,22	24,749367
20	1,27	24,734896
21	1,31	24,744280
22	1,36	24,542933
23	1,41	24,670656
24	1,42	24,604225
	Promedio	24,180910±0,87

ANEXO IX

INTERPOLACIÓN Y CÁLCULO DEL ÍNDICE WBGT LUEGO DE LA SIMULACIÓN DE LAS MEDIDAS DE CONTROL EN EL MEDIO

Tabla AIX.1. Datos usados para obtener la temperatura de globo mediante interpolación de los datos obtenidos luego de la simulación de las medidas de control

Temperatura de bulbo seco Ts	Temperatura de globo Tg
23,95	29,32
24,18	?
24,58	29,88

$$\frac{(X - 29,32)}{(24,18 - 23,95)} = \frac{(29,88 - 29,32)}{(24,58 - 23,95)}$$

$$X = 29,32 + \frac{(0,23)(0,56)}{(0,63)}$$

$X = 29,52 \rightarrow$ Temperatura de globo luego de la simulación.

Con este valor se realizó el siguiente cálculo de índice WBGT.

Tabla AIX.2. Datos y desarrollo del cálculo del nuevo índice WBGT luego de la simulación de las medidas de control en el medio

	Temperatura °C
Temperatura de bulbo seco Ts	24,18
Temperatura de bulbo húmedo Th	15,80
Temperatura de globo Tg	29,52
WBGT=0,7(15,80)+0,3(29,52)	
WBGT=0,7Th+0,3Tg	19,92